

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA
SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

ESTUDIO ECOLÓGICO DE UNA POBLACIÓN DE *Dioon sonorensis* (De Luca,
Sabato & Vázq.Torres) Chemnick, T.J.Greg. & Salas-Mor., DE LA SIERRA DE
MAZATÁN EN EL ESTADO DE SONORA



TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

CON OPCIÓN EN:

RECURSOS NATURALES TERRESTRES

PRESENTA:

GARZA CEBALLOS ANDREA

Universidad de Sonora

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

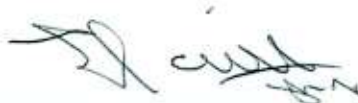
Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la Tesis de Andrea Garza Ceballos la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el Título de Licenciado en Biología con Opción en Recursos Naturales Terrestres.



Dr. Francisco E. Molina Frenner
Director de Tesis



Dra. María Cristina Peñalba Garmendia
Sinodal Secretario



Dr. José Raúl Romo León
Sinodal



M.C. Florentino Garza Salazar
Suplente

DEDICATORIA

Con cariño a mi familia y a mis amigos que ya son familia. Por ser mi base, apoyarme incondicionalmente a pesar de mis altibajos, por creer en mí cuando me costaba trabajo. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora por mi formación profesional, por darme la oportunidad de ser parte de la institución, por permitirme conocer a grandes personas.

Al laboratorio de Ecología Molecular y Funcional de la Estación Regional Noroeste de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme llevar a cabo mi tesis profesional.

A mi director de tesis, el **Dr. Francisco E. Molina Frenar** por confiar en mí, por su conocimiento, su infinita paciencia, su apoyo, tiempo y consejos brindados durante la realización de mi tesis.

A mi comité de tesis; la **Dra. Maria Cristina Peñalba Garmendia**, el **Dr. Raul Romo León** y el **Mtro. Florentino Garza Salazar** por sus aportes a mi tesis, por su tiempo y apoyo.

A **José Fulgencio Martínez Rodríguez**, técnico del Laboratorio de Ecología Molecular y Funcional del Instituto de Ecología de la UNAM, por su apoyo con el trabajo en campo y de laboratorio.

A mis papás, mi hermana, mi tía Rosamaría y Raisa por su apoyo incondicional.

A mis amigos y maestros de vida por ser, estar y permitirme aprender de ellos.

CONTENIDO

FORMATO DE APROBACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
II. 1. Biodiversidad de plantas de México y Sonora	4
II. 2. Endemismos en México	5
II. 3. Biología de la conservación	6
II. 4. Amenazas a la biodiversidad	7
II. 5. Plantas Mexicanas en peligro de extinción	9
II. 6. Cícadas	10
II. 7 Cícadas de México	11
II. 8. Polinización de cícadas	12
II. 9. Ecología de cícadas	13
II. 10. Estudios sobre <i>Dioon sonorensis</i>	15
III. JUSTIFICACIÓN	18
IV. HIPÓTESIS	19
V. OBJETIVOS	20

V. 1. Objetivo general	20
V. 2. Objetivos específicos	20
VI. METODOLOGIA	21
VI. 1. Área de estudio	21
VI. 2. Vegetación del área de estudio	23
VI. 3. Selección de la población (Cañada de la Leona)	25
VI. 4. Censo de campo	25
VI. 5. Estimación de la densidad	26
VI. 6. Estructura de tamaños	26
VI. 7. Agrupaciones de individuos	26
VI. 8. Disposición espacial	26
VI. 9. Preferencia de micro-hábitat	27
VII. RESULTADOS	29
VII. 1. Análisis de densidad	29
VII. 2. Análisis de estructura de tamaños	29
VII. 3. Análisis de agrupamientos	30
VII. 4. Análisis de la disposición espacial	31
VII. 5. Análisis de Preferencia de micro-hábitat	32
VIII. DISCUSIÓN	34
VIII. 1. Densidad	34
VIII. 2. Estructura de la población	34
VIII. 3. Agrupaciones	36
VIII. 4. Disposición espacial	37
VIII. 5. Micro-hábitat	37

IX. CONCLUSIONES

39

X. LITERATURA CITADA

40

LISTA DE TABLAS

Tabla I	Número registrado de individuos de <i>D. sonorensis</i> en los cuadrantes del sitio de estudio.	29
Tabla II	Tabla de valores para el análisis de la disposición espacial.	32
Tabla III	Número esperado de individuos en cada tipo de sustrato si la distribución fuese al azar, en base al porcentaje observado de los diferentes tipos de sustrato en el área ocupada por la población y número de individuos observado en la población, así como su porcentaje	33

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Mapa de Sierra de Mazatán donde se muestra la ubicación de la población estudiada de *Dioon sonorensis* (modificado de CONANP 2012) 21
- Figura 2 Estructura de tamaños (longitud del tallo) de la población estudiada de *D. sonorensis* de la población Cañada de la Leona. 30
- Figura 3 Distribución del número de tallos por agrupación en la población de *D. sonorensis* de la Cañada de la Leona. 31

RESUMEN

Dioon sonorensis es una cícada endémica a los estados de Sonora y Sinaloa, clasificada en peligro de extinción por la NOM-ECOL-059-2010. Los estudios ecológicos previos se restringen a la región de Álamos, Sonora, y por tanto nuestro conocimiento sobre la ecología de la especie en la zona norte de su distribución es muy limitado. En esta tesis se aborda el estudio de algunos aspectos ecológicos de una población de *Dioon sonorensis* de la Sierra de Mazatán conocida como Cañada de la Leona. El objetivo fue describir algunas propiedades ecológicas de la población; específicamente la densidad, estructura de tamaños, patrón de agrupamiento, disposición espacial y determinar si los individuos tienen preferencia por un microhábitat particular. Se ubicaron 4 cuadrantes contiguos de 50 m x 50 m, donde se contabilizaron el total de individuos, registrando su diámetro basal, altura del tallo, número de hojas verdes, cobertura, así como si se encontraban en substrato de suelo o hendidura de roca, agrupados con otros individuos o solitarios. Se registró un total de 238 individuos en la hectárea que forman los 4 cuadrantes. La población está constituida por individuos que van desde plántulas hasta plantas con tallos mayores de 1.20 m. Las plántulas representaron un porcentaje bajo (2.71%), mientras que los individuos con tallos sumergidos representaron la categoría de tamaño más frecuente (53.10%) en la población. El 62.79% de la población se encontró en agrupaciones de dos hasta doce individuos, probablemente de origen clonal. La distribución espacial fue agregada, y probablemente el mecanismo responsable sea la reproducción clonal. Los individuos se distribuyeron principalmente en grietas de rocas, lo que puede representar un microhábitat favorable para su establecimiento.

I. INTRODUCCIÓN

Se estima que nuestro planeta alberga a 391,000 especies de plantas vasculares, de las cuales la mayoría son angiospermas. De este conjunto de especies, se estima que una de cada cinco se encuentra en alguna categoría de riesgo de extinción (RGB Kew, 2016).

A nivel mundial, la flora de México es considerada como una de las más ricas y variadas. Existen en nuestro país aproximadamente 23,314 especies de plantas, incluyendo helechos, gimnospermas y angiospermas (Villaseñor, 2016). Las causas de esta riqueza obedecen a varios factores como su situación geográfica, lo accidentado de su fisiografía, sus climas variados, así como también a las intensas migraciones recibidas tanto de Norteamérica como de América del Sur (Sarukhán, et al., 2009). Además de su riqueza (ocupa el quinto lugar mundial en riqueza de especies), otro aspecto relevante de la flora de México es su alta proporción de especies endémicas al país, ya que cerca de 40% de la flora vascular que alberga se distribuye solamente en territorio mexicano (CONABIO, 2006).

La flora de nuestro país enfrenta diversas amenazas; algunos de los factores que ponen en peligro la viabilidad de algunas especies de la flora de México son la deforestación y pérdida de hábitat por cambio de uso de suelo, sobre-explotación de recursos, extracción ilegal para su venta en el mercado nacional e internacional de plantas y especies invasoras que desplazan a especies nativas (CONABIO, 2006). Dichos factores ponen en distinto grado de riesgo a las especies de plantas dependiendo de la sensibilidad de éstas y el grado de disturbio antropogénico (CONABIO, 2006).

Para proteger a las especies que se encuentran en riesgo, México tiene varios instrumentos legales tales como la NOM-059-SEMARNAT-2010. Esta es una norma que enlista a todas las especies de México en alguna categoría de riesgo y establece restricciones a las actividades humanas en zonas que presenten especies incluidas en la lista (SEMARNAT, 2010). En México existen cuatro categorías para clasificar el grado de riesgo en el cual se encuentra cada especie. Estas son: sujeta a protección especial (PR), amenazada (A), en peligro de extinción (P) y probablemente extinta en el medio silvestre (E). La NOM-059-SEMARNAT-2010 incluye a un

total de 2631 especies, de las cuales 994 son plantas situadas en alguna categoría de riesgo. En esta lista, las familias con mayor número de especies de plantas son las cactáceas, seguida de las orquídeas y las cícadas (SEMARNAT, 2010).

Algunas de las causas por las cuales muchas especies se encuentran en peligro de extinción son la extracción y el tráfico ilegal; la magnitud de los procesos que ponen en riesgo a algunas especies de plantas está muy por encima de las capacidades gubernamentales para detenerlo. Se ha documentado que para las cactáceas, el tráfico ilegal representa un comercio de 7 a 8 millones de especímenes por año; otras especies de plantas comercializadas comúnmente de forma ilegal son las orquídeas, las palmas y las cícadas (Naranjo y Dirzo, 2009).

El aprovechamiento de la biodiversidad y de los ecosistemas a menudo trae consigo cambios significativos, transformándolos en sistemas de producción intensiva y extensiva; de esta manera, se modifica la capacidad natural que tienen de brindar otros beneficios ecosistémicos, los cuales no siempre son valorados en nuestro país (CONABIO y SEMARNAT, 2009). El aumento de la población humana, genera cada vez mayor presión sobre los recursos naturales, provocando cambio de uso de suelo, deforestación, sobre-explotación de recursos e introducción de especies invasoras. Debido a este aumento se requieren más recursos y servicios ecosistémicos ya que esta presión genera un mayor impacto sobre los ecosistemas alterando su dinámica y la regeneración de las especies (CONABIO, 2006). Algunas características de las especies en riesgo de extinción contribuyen a su vulnerabilidad, tales como: requerimientos de hábitat específico, distribución restringida, sensibilidad al cambio climático, sensibilidad a la fragmentación y presión de caza; el conocimiento sobre estos factores puede anticipar las necesidades para el manejo de poblaciones de especies vulnerables (Primack, et al., 2001).

Las cícadas son un grupo de gimnospermas particularmente amenazadas por la demanda en el mercado ilegal de plantas de ornato, tanto a nivel global como nacional. Estas especies son extraídas de su ambiente natural y son vendidas en el mercado internacional, afectando seriamente a las poblaciones naturales (Naranjo y Dirzo, 2009). Todas las especies de los géneros *Dioon*, *Zamia* y *Ceratozamia*, pertenecientes a la familia *Zamiaceae*, que se distribuyen en México, se encuentran en alguna categoría de riesgo (SEMARNAT 2010).

Dioon sonorensis es una cícada endémica al estado de Sonora y Sinaloa, que se encuentra en la categoría de peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Actualmente no hay suficiente información sobre su ecología que permita implementar planes para su conservación; en esta tesis se aborda el estudio de algunos aspectos ecológicos de una población de *Dioon sonorensis* de la Sierra de Mazatán.

II. ANTECEDENTES

II. 1. Biodiversidad de plantas de México y Sonora

La flora vascular de México tiene un total de 23,314 especies; de éstas, se estima que 1039 especies son helechos y licofitas, 149 son gimnospermas y 22,126 son angiospermas. Por su número de especies, México se ubica en la cuarta posición a nivel mundial en riqueza de plantas (Villaseñor, 2016).

Esta riqueza de plantas vasculares y la de otros grupos taxonómicos hacen de México un país megadiverso. La variada topografía y su historia geológica crean una gran diversidad ecológica en el país; a esto se añade el hecho de que en México se encuentran dos regiones biogeográficas, la neártica y la neotropical, que aportan diferentes elementos y hacen de México un país rico en especies (Sarukhán et al., 2009).

Para la flora de Sonora se tienen registrados 3659 taxones específicos e infraespecíficos en 188 familias y 1107 géneros, documentados con ejemplares de herbario. Las 3483 especies (3237 nativas) incluyen 104 variedades, 43 subespecies y 30 híbridos entre especies, y solo 78 taxones (68 especies, 8 subespecies y 2 variedades en 26 familias) son endémicos del territorio (sin islas) de Sonora. La flora abundante y distintiva es reflejo de la gran diversidad de hábitats y la complejidad de los climas locales y regionales, resultado de una compleja evolución de la biota y el paisaje. Se estima que la diversidad es comparable con Chihuahua, Baja California y Arizona (Van Devender et. al, 2010).

II. 2. Endemismos en México

Muchas familias y géneros de plantas tienen sus centros de diversificación en México; alrededor del 50% de las plantas vasculares en México y más de 200 géneros son endémicos del país (Rodríguez y López-Toledo, 2016).

Por mencionar algunos de los ejemplos de endemismos en México, se tiene que para las coníferas existen 94 especies, siendo 43 endémicas al país. Dentro de las coníferas, el género *Pinus* cuenta con 22 especies endémicas, *Juniperus* con 10, *Abies* con 5, *Callitropsis* con 3 y *Picea* con 3. Estos endemismos hacen de México un centro secundario de diversificación del género *Pinus*, con 49 de las 120 especies en el mundo (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Para el caso de las angiospermas, se calcula que para los encinos (género *Quercus*) se tienen 109 especies endémicas al país; de éstas, 47 pertenecen a la sección *Quercus*, 61 a la sección *Lobatae* y una a *Protobalanus* (Valencia, 2004); este alto nivel de endemismo hace que México sea un centro de diversificación secundaria para el género *Quercus* (Govaerts y Frodin, 1989 en Valencia, 2004).

Otro buen ejemplo de endemismos lo constituye la familia Cactaceae; esta familia es originaria del continente americano y apareció hace cerca de 80 millones de años. México es el país con mayor riqueza de especies al contar con 913 taxones, de los cuales el 80 por ciento son endémicos del país (Gibson y Nobel, 1986; Jiménez, 2011).

La familia Asparagaceae [que incluye a la anteriormente denominada familia Agavaceae (APG IV (2016))] tiene también un alto porcentaje de endemismo; el género *Agave* es endémico de América, de él se conocen 200 especies y 150 de ellas se encuentran solo en México (García-Mendoza, 2007).

Finalmente, México es también la región más diversa y con el mayor número de endemismos (88.9%) de las cícadas de la familia Zamiaceae en el Neotrópico (Nicolalde-Morejón et al., 2014).

II. 3. Biología de la conservación

Existen diferentes maneras de definir a la biología de la conservación; biología se refiere al estudio de los organismos vivos, que incluye su estructura, funcionamiento, origen y evolución, clasificación, interrelaciones y distribución (Martín y Hine, 2008) así como el ambiente en el que viven. La conservación, según la Ley General de Vida Silvestre de la legislación de México, se define como: la protección, el cuidado, manejo y mantenimiento de los ecosistemas, los hábitats, las especies y las poblaciones de la vida silvestre dentro o fuera de sus entornos naturales, de manera que se salvaguarden las condiciones naturales para su permanencia a largo plazo. Por lo tanto, se podría decir que la biología de la conservación trata del estudio de la estructura, funcionamiento, origen, evolución, clasificación, interrelaciones, la distribución y el ambiente en que que viven los organismos vivos para su protección, cuidado, manejo y mantenimiento. La biología de la conservación busca la preservación de tres aspectos en la vida en la Tierra: diversidad biológica, integridad ecológica, y salud ecológica. A su vez, la biodiversidad incluye varios componentes de los sistemas biológicos en sus distintos niveles de organización: genes, poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y paisajes. La integridad ecológica nos habla de un buen funcionamiento de los sistemas biológicos y una salud ecológica está marcada por su resiliencia y capacidad de persistir en el tiempo (Callicot et al., 1999; Primack et al., 2001).

Primack et al. (2001) mencionan que la biología de la conservación surge como una ciencia multidisciplinaria, la cual tiene dos objetivos principales: el primero es la investigación de los efectos de la actividad humana sobre los demás seres vivos, las comunidades biológicas y los ecosistemas. El segundo objetivo es el desarrollo de aproximaciones prácticas para prevenir la degradación del hábitat y la extinción de especies; y aplicar la restauración de ecosistemas y la reintroducción de poblaciones con el objetivo de reestablecer relaciones sustentables entre las comunidades humanas y los ecosistemas.

II. 4. Amenazas a la Biodiversidad

Las actividades humanas ejercen una marcada influencia en la disminución del número de especies, el tamaño y la variabilidad genética de las poblaciones silvestres, y en la pérdida irreversible de hábitats y ecosistemas, por lo que ponen en riesgo a la biodiversidad de México (Peña y Neyra, 1998; CONABIO, 2014). Entre las principales amenazas derivadas de las actividades antropogénicas se encuentra la deforestación, la cual tiene como consecuencia la pérdida de la biodiversidad y pérdida de los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas (SEMARNAT, 2012). La pérdida y fragmentación del hábitat están consideradas como causas principales de la actual crisis de biodiversidad, cuando la vegetación original de una zona es eliminada, ya sea por fenómenos naturales, cuando existe un régimen de perturbación natural, o por las actividades humanas. Con frecuencia quedan pequeños manchones relativamente intactos inmersos en una matriz degradada o con usos del suelo distintos a los de la cubierta original. A estos fragmentos se les puede denominar “islas” de vegetación y albergan un menor número de especies nativas en comparación con una superficie equivalente sin fragmentar (Hansson et al., 1995; Santos et al., 2006; SEMARNAT, 2012).

La distribución de las especies se encuentra restringida por barreras geográficas así como por factores bióticos y abióticos (Smith y Smith 2009). Este conjunto de factores es lo que ha permitido procesos evolutivos. Actualmente, el patrón de distribución puede ser alterado por la sociedad moderna, al transportar especies a diferentes regiones del planeta; las especies que son introducidas no siempre se establecen, debido a que los nuevos ambientes no son adecuados para ellas. Sin embargo, hay especies que sí logran adaptarse a estas nuevas regiones y comúnmente desplazan a las especies nativas de su nicho; a estas especies se les denomina especies invasoras y estas especies son una de las principales causas de extinción de especies silvestres (Primack et al., 2001).

La sobreexplotación de recursos es otra causa que pone a las especies en riesgo. Este proceso a menudo ocurre cuando se usa de forma desmedida una especie no explotada previamente o que solo es de utilización local. En México, la sobreexplotación por parte del hombre, incluye

actividades legales como la pesca e ilegales como la extracción y el tráfico de especies amenazadas (Peña y Neyra, 1998; Primack et al., 2001).

En el informe de la situación en México por SEMARNAT (2012) existen inventarios de uso de suelo disponibles desde hace 40 años aproximadamente; éstos no son comparables al ser diferentes fuentes de información, pero se identifican tendencias. En el informe se compara una Carta de Vegetación Primaria Potencial que describe la vegetación probable que cubría el territorio nacional antes de las actividades humanas más intensas con la Serie I (foto aérea de los años 70) para los años setenta se representaba una pérdida neta de poco más de 23 millones de hectáreas de selvas, casi 13 millones de bosques, 5.5 millones de matorrales y cerca de 6.4 millones de pastizales. En las últimas décadas (Series II, III y IV) se registran pérdidas mayores a las 100 mil hectáreas anuales. En el caso de selvas y matorrales, las pérdidas son particularmente importantes, ya que las selvas y los matorrales son dos ecosistemas ricos en biodiversidad y, en particular, porque los matorrales concentran una gran cantidad de especies endémicas (SEMARNAT, 2012).

Para el caso del estado de Sonora, la biodiversidad también se encuentra amenazada por el impacto derivado de las actividades humanas tales como la agricultura, ganadería, extracción forestal, minería y el desarrollo urbano (Martínez-Yrizar et al., 2010). Un caso particular de amenaza son los desmontes para la siembra del zacate buffel, lo cual ha provocado un ciclo de fuego que es ajeno a la dinámica ecológica del desierto y otras comunidades nativas (Martínez-Yrizar et al., 2010).

Las áreas destinadas a las actividades agropecuarias ocupan el mayor porcentaje de los usos de suelo del territorio mexicano, por lo que las decisiones y promoción de políticas públicas sobre los sistemas productivos ganaderos y agrícolas impactan considerablemente en la biodiversidad. En la actualidad, las actividades extractivas y el cambio de uso de suelo en la región no han sido contrarrestados por acciones efectivas ni con apoyo permanente, así como tampoco con corredores biológicos que mantengan la dinámica funcional de los ecosistemas de Sonora (Martínez-Yrizar et al., 2010; CONABIO, 2014).

En vista de la degradación del medio ambiente del país, existe una necesidad urgente de información sólida sobre la que basar las decisiones adecuadas en relación con la conservación

y el uso sostenible. Sin esta información, muchas especies se perderán y con ello millones de años de evolución y la oportunidad de conservar servicios ambientales que son todavía desconocidos (Rodríguez y López-Toledo, 2016).

II. 5. Plantas Mexicanas en peligro de extinción

Como se mencionó anteriormente, las familias con mayor número de especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010 son las cactáceas, seguidas de las orquídeas y cícadas (SEMARNAT, 2010).

Las cactáceas se encuentran distribuidas en las regiones áridas y semiáridas en México. Son nativas del continente americano y se encuentran distribuidas desde Canadá hasta el estrecho de Magallanes en América del Sur. Las causas principales que amenazan la viabilidad de estas especies son el cambio de usos del suelo, la introducción de especies exóticas y la colecta y el tráfico ilegal de ejemplares (Bravo-Hollis, 1978). Son elementos importantes en la estructura y la dinámica de las comunidades de las zonas semidesérticas. Por lo tanto, la desaparición de ellas conlleva un proceso de empobrecimiento biológico y la pérdida de recursos útiles para las poblaciones humanas. En esta situación de riesgo se encuentran al menos el 30 por ciento de las especies de cactáceas mexicanas (Jiménez, 2011).

Las orquídeas se distribuyen en todos los continentes; incluso se encuentran orquídeas en islas de la Antártida (Pinheiro et al., 2012). La familia de las orquídeas es la familia de angiospermas que tiene el mayor porcentaje de géneros en peligro de extinción, siendo este el 6% (Hopper y Brown, 2007). Su mayor diversidad se concentra en las regiones tropicales. México alberga una notable riqueza de orquídeas y han sido registrados en el país alrededor de 1260 especies y 170 géneros y se estima que alrededor del 40% de las orquídeas mexicanas son endémicas (Salazar, 2009).

Las cícadas son gimnospermas pertenecientes al orden Cycadales. Estas llegaron a dominar el paisaje en la era Mesozoica y su distribución llegó a ser mundial, aunque hoy en día solo se encuentran en climas cálidos. Se cree que la razón por la que actualmente aún encontramos cícadas es por la evolución de compuestos secundarios de defensa contra herbívoros que les ha

permitido persistir hasta la fecha (Norstog, 1997; Brenner et al., 2003). Sin embargo, en los últimos años, este grupo enfrenta nuevas amenazas que están poniendo en riesgo su persistencia. Entre las principales amenazas del grupo, tenemos la pérdida de su hábitat y la popularidad cada vez mayor de las cícadas como plantas de ornato, con su consecuente impacto en la extracción y el tráfico ilegal (Donaldson, 2003).

II. 6. Cícadas

Las cícadas son consideradas como fósiles vivientes, ya que representan una etapa de la evolución de las plantas con semilla y su equivalente en los animales sería tener dinosaurios vivos en la actualidad. Forman un grupo de gimnospermas dioicas tropicales y subtropicales caracterizadas por tallos relativamente no ramificados, blandos y gruesos con muy poca madera desarrollada (monoxilemática), hojas grandes compuestas, y generalmente con estructuras reproductivas conocidas como estróbilos (conos) grandes, terminales o subterminales, muy a menudo de colores brillantes. Pueden ser arborescentes, con troncos de más de 10 m de alto o plantas bajas con tallos subterráneos donde sólo se aprecian las hojas (Vovides, 2000).

En general las cícadas crecen con lentitud y suelen crecer en suelos bien drenados, ya que tienen una corteza primaria medulosa, lo que las hace vulnerables a hongos del grupo de los mohos. Las semillas no tienen período inactivo; el embrión fertilizado se desarrolla lenta pero continuamente hasta la germinación, pocos meses después de la dispersión. Por esta razón la vida de las semillas es relativamente corta y está sometida a daños por desecación. Sus raíces son coraloides y contienen cianobacterias simbióticas que fijan el nitrógeno atmosférico, lo que permite a las cícadas sobrevivir en suelos pobres en nutrientes. Muchas especies se limitan a suelos pobres en nutrientes y acantilados con rocas y pendientes. Todas tienen raíces contráctiles, al menos como plantones, que llevan al sensible y creciente ápice bajo la superficie del suelo, donde este queda protegido contra las consecuencias de la sequía y de incendios (CITES, 2003).

Actualmente, el orden de los Cycadales cuenta con dos subórdenes. Cycadineae, suborden representado por una sola familia monogénica: Cycadaceae (*Cycas*) y el suborden Zamineae,

que cuenta con dos familias: Stangeriaceae conformada por los géneros: *Strangeria* y *Bowenia* y la familia Zamiaceae con dos subfamilias: Encephalarteae formada por los géneros: *Dioon*, *Encephalartos*, *Lepidozamia* y *Macrozamia* y la subfamilia Zamioideae formada por los géneros *Ceratozamia*, *Microcycas*, *Zamia* y *Chigua* (Vovides, 2000, Stevenson, 2001, Nicolalde-Morejón et al., 2014).

Australia, Sudáfrica y México son los 3 principales centros de diversidad del orden Cycadales. México posee 54 especies pertenecientes a 3 de los géneros que constituyen la familia Zamiaceae (Nicolalde-Morejón et al., 2014). Uno de los descubrimientos más significativos en la evolución de las plantas viene de la observación de que las cícadas y el género *Ginkgo* producen gametos flagelados; este descubrimiento estableció la conexión entre las plantas sin semilla y con semilla; las cícadas y *Ginkgo* representan los últimos vestigios de la producción de espermatozoides móviles en las plantas (Ikeno y Hirase, 1897).

Las cícadas son una importante reliquia del pasado y representan las plantas con semilla vivas más antiguas. Según varios autores, las cícadas datan según el registro fósil desde el Pérmico y posiblemente desde el Carbonífero: Pensilvánico (Vovides, 2000). Basados en reconstrucciones filogenéticas bayesianas, Condamine et al. (2015) sugieren que las cícadas aparecieron en el Pérmico tardío, y los principales linajes de cícadas existentes se establecieron durante el Cretácico Inferior hasta el Cretácico superior, particularmente las Zamiáceas; también mencionan que las cícadas actuales se diversificaron durante el Mioceno medio hasta el final. Las cícadas han sido fundamentales para la comprensión de la evolución de las angiospermas y gimnospermas porque tienen características morfológicas intermedias entre las plantas vasculares que se reproducen por esporas como los helechos, y las plantas más recientes, las angiospermas (Brenner et al., 2003).

II.7. Cícadas de México

México y Centro América es uno de los 3 centros de diversidad del orden Cycadales, junto con Australia y Sudáfrica. México es la región más diversa y con el mayor número de endemismos

(88.9%) de la familia Zamiaceae en el Neotrópico. Cuenta con 54 especies pertenecientes a 3 de los géneros que constituyen la familia Zamiaceae: *Ceratozamia*, *Dioon* y *Zamia*. En general, el estado de conservación de los 3 géneros es crítico, debido a lo cual, todas las especies de cícadas mexicanas se encuentran bajo alguna categoría de riesgo, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Nicolalde-Morejón, 2014).

Podemos encontrar cícadas en México en selvas tropicales altas, medianas y bajas, así como en bosques mesófilos de montaña, bosques de pino y encino, encinares y matorrales; las cícadas han sobrevivido muchas eras geológicas y han vivido en diversos ambientes (Vovides, 2000).

Actualmente las cícadas enfrentan varios problemas para su sobrevivencia, causados por el ser humano, tales como la pérdida de hábitat por deforestación, la expansión agropecuaria, la extracción y el comercio ilegal. Por lo tanto, en México como en el mundo, las cícadas son consideradas especies amenazadas y en peligro de extinción. Por esta razón cuentan con protección por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y en México están enlistadas en la NOM-059-ECOL-1994 (Vovides, 2000).

II. 8. Polinización de cícadas

Varios estudios han mostrado que los insectos son los principales polinizadores de las cícadas; coleópteros y tisanópteros intervienen en su polinización, y algunos están relacionados en interacciones especializadas con una sola especie (CITES, 2003). En 1986 se demostró por primera vez la polinización por insectos en este grupo de plantas. En la especie *Zamia furfuracea*, el escarabajo *Rhopalotria mollis* completa las fases reproductivas del ciclo de vida en esta especie. Estos escarabajos visitan los conos en la etapa adulta y salen cubiertos de polen en busca de otros conos donde realizar un nuevo ciclo de vida (Norstog et al., 1986). Debido a la polinización por escarabajos, se especula que algunos insectos y cícadas pueden haber desarrollado alguna interacción mutualista en el Triásico (252-201 Millones de años [Ma]), antes de que surgieran las angiospermas, y se cree que los compuestos secundarios defensivos

podieron haber controlado las interacciones interespecíficas; las cícadas producen varios compuestos que son aparentemente elementos cruciales en el desarrollo y mantenimiento de interacciones mutualistas (polinización) y antagónicas (herbívoros) (Schneider et al., 2002).

También se ha encontrado que tisanópteros de la especie *Cycadothrips chadwicki* presentan mutualismo obligado con la cícada *Macrozamia lucida*; éstos son atraídos o neutrales a los conos de la cícada temprano en el día, repelidos a mitad del día y atraídos después en el día. Paralelo a estas fases, los conos tienen bajas emisiones de compuestos volátiles por la mañana, por lo que retienen tisanópteros; a mitad del día tienen emisiones altas por lo que repelen tisanópteros, y más tarde tienen emisiones bajas y atraen tisanópteros. Estos cambios en la emisión de compuestos volátiles del cono explican el comportamiento de los tisanópteros. Se han documentado 3 componentes principales presentes en los volátiles de los conos: B-mirceno, B-ocimeno, alo-ocimeno. Los ocimenes atraen a los tisanópteros, mientras que el B-mirceno atrae a los tisanópteros en concentraciones bajas pero los repele a niveles más altos. Esta estrategia de polinización fue denominada “push-pull”; implica una interacción entre un antiguo linaje de gimnospermas y un clado basal de tisanópteros, por lo que se sugiere que puede representar una estrategia temprana en la evolución de la polinización de las plantas con semilla (Terry et al., 2007). El tiempo propuesto por Condamine et al. (2015) para el origen de las cícadas coincide con el del orden Thysanoptera originándose y diversificándose en el Pérmico tardío.

En cuanto a la dispersión, lo que se sabe es que las semillas de las cícadas están cubiertas con un revestimiento exterior almidonoso y aromático de color amarillo llamado sarcotesta, el cual es el equivalente ecológico de un fruto; aves, roedores, pequeños marsupiales y murciélagos que comen frutas son atraídos a ésta y actúan como agentes de dispersión (CITES, 2003; Lázaro-Zermeño et al., 2012).

II.9 Ecología de cícadas

Actualmente, todas las cícadas de México se encuentran en alguna categoría de riesgo. La lista incluye 50 especies de la Familia Zamiaceae dividiéndose de esta manera: 15 del género *Zamia*,

12 del género *Dioon* y 23 del género *Ceratozamia*. De estas cícadas sólo 5 especies no son endémicas de México (NOM-059-SEMARNAT-2010).

Las especies de cícadas varían en su forma de crecimiento, en tamaño de conos, tamaño de semilla, longevidad, polinización, agentes de dispersión, tolerancia a la sequía, tolerancia a la sombra y en su capacidad para sobrevivir a los incendios. Todos estos factores influyen en su abundancia, el lugar en que crecen, la amplitud de su distribución y el cómo responden a la recolección (CITES, 2003).

Se han llevado a cabo estudios ecológicos del género *Dioon* en el sur del país. Por ejemplo, en un estudio de 10 poblaciones de *Dioon holmgrenii*, especie en peligro de extinción y endémica al sur de Oaxaca, se encontró que la densidad promedio de individuos por hectárea fue mayor en sitios sin uso aparente (782) que en sitios con cambio de uso de suelo (353). El patrón de distribución espacial de los individuos fue principalmente agregado en el 65 % de las 10 poblaciones estudiadas de esta cícada. Notaron que el patrón de dispersión espacial de *Dioon holmgrenii* fue aleatorio en individuos reproductivos y agregado en los no reproductivos; al parecer, el patrón de dispersión espacial aleatorio ocurre en áreas con baja densidad de individuos, lo cual es atribuido a factores de perturbación más intensos y frecuentes en estas zonas. Los resultados muestran que la agricultura y el pastoreo afectan la estructura, heterogeneidad de estadios y distribución espacial (Velasco-García et al., 2016).

En Chiapas, al estudiar la estructura poblacional de *Dioon merolae*, se detectó que los individuos adultos se distribuyen principalmente en la parte alta y media de laderas de pendiente moderada (18-25°) y con orientación norte. Las plántulas por lo general se distribuyen cerca de las plantas madre. Para esta especie, los individuos de tallas pequeñas representaron el 30% de la población en la Depresión Central de Chiapas, mientras que en los Valles Centrales de Oaxaca este grupo de individuos representó solo el 11% (Lázaro-Zermeño et al., 2012).

En otro estudio sobre la estructura poblacional de *Dioon merolae*, se agruparon los 144 individuos registrados en seis clases de tamaño con base en el número de tallos conectados en la base de la planta: I (52 plantas monopódicas, 36% de la población); II (28 plantas con dos tallos, 19.4%); III (15 plantas con tres tallos, 10.4%); IV (18 plantas con cuatro tallos, 12.5%); V (16 plantas con cinco o seis tallos, 11.1%); VI (15 plantas con siete o más tallos, 10.4%). En

esta población, un número considerable de individuos estaban agrupados. Se encontró que el número de tallos por planta varió con la orientación de la ladera. González-Espinosa et al. (2012) proponen que la distribución espacial así como la inclinación de los tallos de *Dioon merolae* pueden ser adaptativos a lo largo de gradientes lumínicos (González-Espinosa et al., 2012).

Se ha sugerido que el éxito en el reclutamiento podría depender de los roedores, ya que estos consumen, dispersan y entierran las semillas, ya que por lo general las plántulas que logran sobrevivir durante los primeros dos años son semillas que fueron enterradas a cierta profundidad (Gregory y Chemnick, 2004; Gutiérrez-Ortega, 2010).

II. 10. Estudios sobre *Dioon sonorensis*

En 1984, De Luca, Sabato y Vázquez Torres consideraron que la especie *Dioon tomaselli* debería de dividirse en dos variedades: *Dioon tomaselli* var. *tomaselli* y *Dioon tomaselli* var. *sonorensis* debido a diferencias en caracteres reproductivos y vegetativos; las poblaciones de Sonora y del norte de Sinaloa fueron atribuidas a *Dioon tomaselli* var. *sonorensis*, mientras que las poblaciones de Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit y Durango fueron atribuidas a *Dioon tomaselli* var. *tomaselli*. Posteriormente, a *Dioon tomaselli* var. *sonorensis* le fue asignado el estatus de especie por Chemnick, Gregory y Salas Morales (1997) debido a diferencias en la morfología foliar. Por lo tanto, ahora se le conoce como *Dioon sonorensis*.

Para *Dioon sonorensis* existe un estudio genético donde se describe la genealogía intraespecífica de 9 poblaciones del estado de Sonora, usando los haplotipos del espacio intergénico trnL-F del ADN del cloroplasto (ADNcp). En este estudio se estimaron los niveles de diversidad genética y se observaron niveles bajos de variación dentro de las poblaciones; se identificaron al menos dos unidades evolutivas correspondientes a cada haplotipo que compone a la especie: un haplotipo del sur del estado que corresponde a las poblaciones de Álamos y un haplotipo del norte que corresponde a las poblaciones de la Sierra de Mazatán (Gutiérrez-Ortega et al., 2014).

Los estudios ecológicos de *Dioon sonorensis* se han restringido a las poblaciones del sur del estado. En un estudio por Félix (2012) se encontró que las poblaciones de esta especie son

pequeñas y crecen en parches; forman cúmulos o agrupaciones, su dispersión de semillas no es al azar ya que las semillas son arrastradas por roedores hasta las madrigueras entre rocas o al pie de árboles con raíces que les pueden dar protección. Se detectó que, en los sitios de no tan fácil acceso, los individuos de la población presentan mayor diámetro basal, así como también, que los sitios de mayor densidad se encuentran aislados o más alejados de asentamientos humanos (Félix 2012).

Se ha estudiado el tamaño y la estructura de *Dioon sonorensis* como función de 21 variables ambientales en poblaciones conocidas dentro de la Reserva Sierra de Alamos-Río Cuchujaqui. En este estudio se concluye que la persistencia de las poblaciones de esta especie está amenazada por el número reducido de adultos de las poblaciones, el hábitat de baja calidad en el que viven la mayoría de las poblaciones y, potencialmente, el efecto combinado de la baja fecundidad y el bajo reclutamiento (Yépiz et al., 2011). También se han estudiado los cambios ontogénicos en las interacciones competitivas de *Dioon sonorensis*. Se detectó que la facilitación interespecífica durante las primeras etapas de *D. sonorensis* puede promover su persistencia a pesar de la creciente competencia interespecífica en etapas posteriores de la vida. Los resultados de este estudio apoyan la hipótesis de que los hábitats rocosos marginales sirven como refugio para las cícadas frente a la competencia de angiospermas. A nivel poblacional e individual, la cícada parece estar rastreando el ambiente protegido para el cual presenta una tolerancia fisiológica estrecha, evitando el estrés por calor y sequía durante su fase de regeneración, a costa de una mayor competencia intraespecífica debido a la agregación de plántulas dentro de micro sitios favorables (Yépiz et al., 2014).

En el monitoreo del 2013 de *Dioon sonorensis* en el Área de Protección de Flora y Fauna, Sierra de Alamos-Río Cuchujaqui, se considera a *D. sonorensis* como la especie nortea más rara dentro del género *Dioon* debido su baja densidad. En este estudio se consideran como factores de riesgo la colecta indiscriminada en tiempos pasados, el disturbio antropogénico de su hábitat y el cambio de uso de suelo. Los resultados sobre su abundancia sugieren que esta especie es muy rara y se debe privilegiar su conservación. Se menciona que la estructura poblacional de *D. sonorensis* es similar a la de muchas cícadas mexicanas. La estructura indica una gran mortalidad de plántulas y estadios juveniles. Esta cícada coexiste con otras especies tales como: *Guazuma ulmifolia*, *Brahea aculeata*, *Stemmadenia tomentosa*, *Quercus tuberculata*, *Quercus*

albocincta, *Bursera stenophylla* (Área de protección de flora y fauna Sierra de Álamos Río Cuchujaquí, 2013).

Estos estudios previos representan contribuciones importantes sobre la ecología de esta especie en la región sur de su distribución en el estado de Sonora y muestran que se han documentado algunos aspectos de la ecología del haplotipo del sur de Sonora. Sin embargo, no existen antecedentes sobre la ecología de esta especie en la parte norte de su distribución y que cubran el haplotipo del norte (Gutiérrez-Ortega et al., 2014).

El conocimiento sobre la ecología de especies raras o en peligro, así como de su historia natural, es sumamente importante para su protección y manejo. Este conocimiento es clave para determinar su estatus de conservación y la evaluación de su persistencia requiere del monitoreo de sus poblaciones (Primack et al., 2001).

III. JUSTIFICACIÓN

La mayor parte de los estudios previos sobre la ecología de *Dioon sonorensis* se han llevado a cabo en la región de Álamos, Sonora. Sin embargo, nuestro conocimiento sobre la ecología de las poblaciones de la región norte de su distribución es muy limitado. En este trabajo se aborda el estudio de varios aspectos ecológicos de una población de *D. sonorensis* de la Sierra de Mazatán con el objetivo de aportar evidencia sobre el estado actual de esta especie en el límite norte de su distribución. Un estudio de este tipo sería de gran importancia para el monitoreo de *Dioon sonorensis* en el estado.

IV. HIPÓTESIS

La Sierra de Mazatán es una zona donde se encuentra una importante población de *Dioon sonorensis*, que actualmente es una especie protegida por la legislación del país. Se espera que las poblaciones de *Dioon sonorensis* de la Sierra de Mazatán, al ser de difícil acceso, alejadas de asentamientos humanos y perturbación antropogénica, muestren una estructura poblacional con evidencia de establecimiento de plántulas y juveniles. Las plantas del género *Dioon* se restringen a barrancas y grietas de roca, y en el caso de *Dioon sonorensis* presenta una distribución en parches por lo que se espera que la población presente un patrón de dispersión espacial agregado y que los individuos estén establecidos preferentemente en grietas de rocas.

V. OBJETIVOS

V. 1. Objetivo general

Describir algunas características ecológicas de una población de *Dioon sonorensis* de la Sierra de Mazatán.

V. 2. Objetivos específicos

- Estimar la abundancia de una población de *D. sonorensis* de la Sierra de Mazatán.
- Describir la estructura de tamaños de una población de *D. sonorensis*.
- Describir el patrón de agrupamiento de una población de *D. sonorensis*.
- Determinar la disposición espacial de los individuos de una población de *D. sonorensis*.
- Determinar si los individuos de la población estudiada tienen preferencia por un microhábitat particular o si se distribuyen aleatoriamente en el área de estudio.

VI. METODOLOGÍA

VI. 1. Área de estudio

La Sierra de Mazatán está ubicada en las coordenadas N 29° 01' 12" a 29 °12' 00" y W 110° 06' 36" a 110° 16' 12", dentro del estado de Sonora y se encuentra compartida en dos municipios: Ures y Mazatán. Tiene una superficie de 192 km² y es una región terrestre prioritaria de México (RTP-39) (Arriaga et al., 2000).

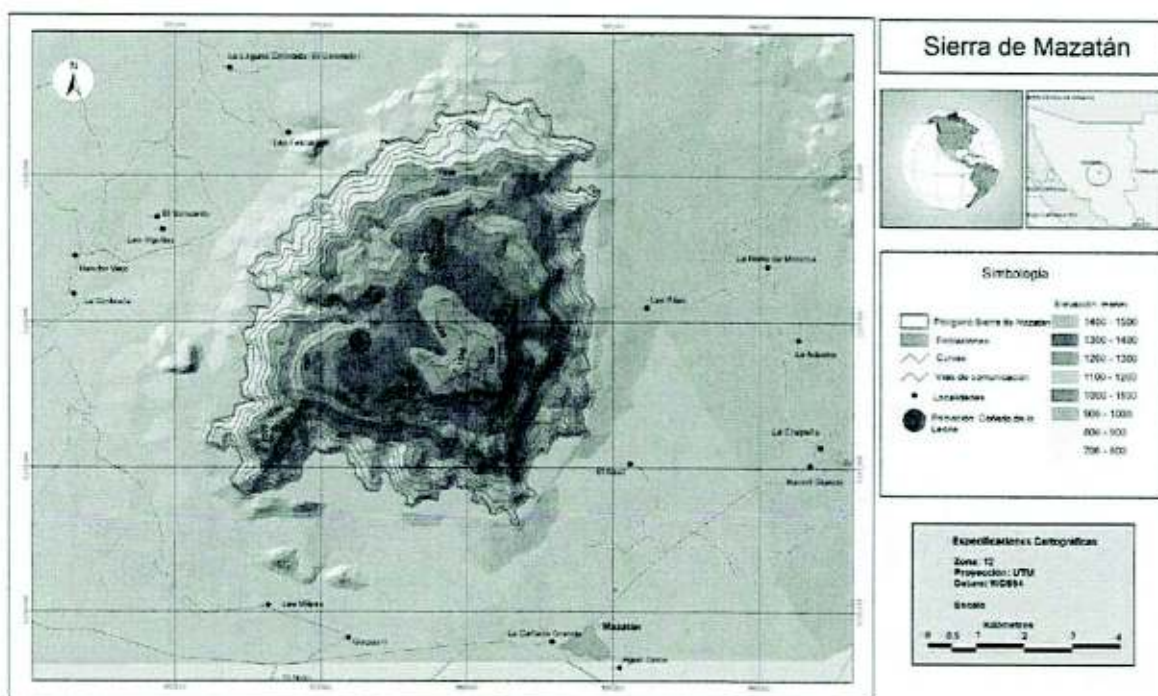


Fig.1 Mapa de Sierra de Mazatán donde se muestra la ubicación de la población estudiada de *Dioon sonorensis*. Fuente: modificado de CONANP (2012).

Se trata de un domo elipsoidal elevado, de 1520 metros de altitud y 12 kilómetros de diámetro, y forma parte del cinturón de complejos de núcleos metamórficos (MCC por sus siglas en inglés -metamorphic core complex-) que se extiende a lo largo de la cordillera del oeste de

Norteamérica de manera discontinua desde Canadá hasta México. La Sierra de Mazatán es el MCC más sureño de dicha cordillera y sus características estructurales y litológicas son similares a las encontradas en otros MCC en Sonora y Arizona. Estos complejos de núcleos metamórficos son estructuras geológicas únicas presentes en la Cordillera de Norteamérica y la estructura básica de una MCC consiste en un terreno metamórfico base y una cubierta no metamórfica (Vega y Calmus, 2003).

Las rocas predominantes en la sierra son monzogranito del Proterozoico medio y en menor proporción rocas metamórficas del Proterozoico inferior. La sierra se formó durante un evento extensional a mitad del Terciario, sobrepuesta a una corteza engrosada resultante de la Orogenia Laramide o eventos compresionales previos a ésta (Vega y Calmus, 2003).

La unidad de suelo principal presente en la sierra es el leptosol. En la parte alta de la sierra se encuentra como suelo dominante el Leptosol Calcárico Esquelético y el Phaeozem Esquelético Epilético Lítico como secundario. En la parte baja de la sierra encontramos principalmente Leptosol Eutrico Esquelético como suelo dominante y Leptosol Mólico esquelético como secundario. En una pequeña porción al suroeste, en la parte baja de la Sierra encontramos Leptosol Esquelético Lítico como suelo dominante y Regosol Calcárico Epilético como suelo secundario (INEGI, 2013).

Se dispone de datos sobre la precipitación anual en 3 localidades cercanas a la Sierra de Mazatán, pero se desconoce cómo es la precipitación en la sierra. Para la estación de Mazatán (al sur de la sierra), el promedio anual es de 520.9 mm. En cambio para la estación de Rancho Viejo (al oeste), el promedio es de 459 mm, y para la estación de Pueblo de Alamos (al norte), de 500.4 mm (CONAGUA, 2017). Se estima que la precipitación anual en la Sierra de Mazatán sea superior a estas cifras, debido a la mayor altitud de la sierra. El tipo de clima en la parte baja serrana (porción sureste) es cálido con una temperatura media anual de 23.8° C [BS0 hw (x')]; mientras que en la parte alta el tipo de clima es semicálido, con inviernos frescos donde la temperatura del mes más frío está por debajo de los 18° C [BS1 hw (x')] (Centro Ecológico de Sonora, 1993; CONANP, 2012).

VI. 2. Vegetación del área de estudio

Las principales comunidades vegetales de la sierra de Mazatán son matorral desértico sonoreense, matorral espinoso de pie de monte, bosque de encino y vegetación de galería. También se encuentran áreas de pastizal inducido en algunos claros del encinal y los mezquiales de los arroyos en las llanuras adyacentes a la sierra (Sánchez-Escalante, 2008; Sánchez-Escalante et al., 2017). A lo largo de la sierra, las comunidades van cambiando de acuerdo a la altitud, desde el matorral desértico presente en la llanura, hasta el encinar, el cual se presenta en la meseta superior de la sierra (Sánchez-Escalante, 2008).

El matorral desértico sonoreense se encuentra presente por debajo de los 500 metros de altitud y está representado por la tríada de árboles leguminosos del Desierto Sonorense, palo fierro (*Olneya tesota*), palo verde (*Parkinsonia microphylla*) y mezquite (*Prosopis velutina*). También se encuentran grandes cactus columnares como sahuaro (*Carnegiea gigantea*) y pitaya (*Stenocereus thurberi*), así como algunos arbustos o árboles bajos como ocotillo (*Fouquieria splendens*), vinorama (*Acacia constricta*), palo colorado (*Colubrina viridis*) y hierba de la flecha (*Sebastiania bilocularis*).

El matorral espinoso se encuentra desde las llanuras más bajas hasta las laderas de la sierra, en el lado oeste del área de Rancho Viejo y entre 600 y 1100 metros de altitud. Este tipo de vegetación está dominado por especies de árboles y arbustos como chirahui (*Acacia cochliacantha*), torote blanco (*Bursera fagaroides* var. *elongata*), torote prieto (*B. laxiflora*), pochote (*Ceiba acuminata*), jediondilla (*Croton flavescens*), chilicote (*Erythrina flabelliformis*), palo blanco (*Ipomoea arborescens*), sanjuanico (*Jacquinia macrocarpa* subsp. *pungens*), torota (*Jatropha cordata*), mauto (*Lysiloma divaricatum*), guayabilla (*Acacia russelliana*), etcho (*Pachycereus pecten-aboriginum*), pitayo (*Stenocereus thurberi*) y uvalama (*Vitex mollis*).

Entre los 1100 y 1200 metros comienza la transición hacia el bosque de encino, con una combinación de árboles y arbustos bajos como guajillo (*Acacia angustissima*), tepeguaje (*Lysiloma watsonii*), encino (*Quercus chihuahuensis*) y gloria (*Tecoma stans*). A los 1300 metros, en los barrancos de esta zona de transición, encontramos pequeñas poblaciones de palma

de la virgen (*Dioon sonorensis*) asociadas a pochote (*Ceiba acuminata*), sotol (*Dasyllirion wheeleri*), encino roble (*Quercus tuberculata*), y gloria (*Tecoma stans*).

En el lado oeste, a 1200 metros de altitud, el bosque de encino comienza con encino (*Quercus chihuahuensis*), mientras que el encino azul (*Q. oblongifolia*) y saucillo (*Q. viminea*) se suman a los 1300 metros. Una pequeña población de *Q. arizonica* se registró a 1490 metros, bajo las antenas del cerro El Sainito, en tanto que encino roble (*Q. tuberculata*) se encuentra principalmente en los barrancos y cañadas de la transición del matorral espinoso al bosque de encino. En el borde oriental, cerca del Rancho El Berling, se tiene el único registro de *Q. perpallida* en la Sierra de Mazatán.

La vertiente norte de la sierra ha sido poco explorada, aunque se han recolectado algunas especies interesantes como corcho (*Diphysa suberosa*), jícama (*Ipomoea bracteata*) y mata la sed (*Zanthoxylum fagara*) en elevaciones que van desde el pie de monte hasta los 850 metros de altitud.

La vegetación de galería se encuentra restringida a los barrancos profundos y sombreados que descienden de la montaña, donde este tipo de vegetación alcanza los 1300 metros al sur de la Sierra.

En la cañada Agua de Don Luis, se encuentran varios elementos del bosque tropical caducifolio y del matorral espinoso de pie de monte, como el cascalosúchil (*Plumeria rubra*) y grandes árboles de tescalama (*Ficus petiolaris*), capulín (*F. pertusa*), y guásima (*Guazuma ulmifolia*). En la cañada El Carrizo encontramos plantas que son afines a las floras de selva baja caducifolia en la región del Río Mayo, como por ejemplo: *Ayenia jaliscana*, copalquín (*Hintonia latiflora*), jícama (*Ipomoea bracteata*), garabato (*Pisonia capitata*), frijoles saltarines (*Sebastiania pavoniana*) y palo zorrillo (*Senna atomaria*). De igual forma, se encuentran especies afines a la flora de la Sierra El Aguaje en la región de Guaymas como el capulín o nacapule (*Ficus pertusa*), cerote de cochi (*Iresine latifolia*) y chuparrosas (*Justicia californica* y *J. candicans*) (Sánchez-Escalante, 2008; Sánchez-Escalante et al., 2017).

La Sierra de Mazatán puede considerarse dentro de una zona de transición, ya que presenta características de los reinos Neotropical y Neártico, y un gradiente altitudinal que va de los 600 a 1200 m en una distancia no mayor a los 12 km. En la región se distribuyen especies consideradas de interés especial, donde destaca una planta milenaria: Palma de la Virgen (*Dioon sonorensis*), debido a que constituye el extremo más norteño de cícadas del género *Dioon* a nivel mundial, la cual se encuentra en peligro de extinción (CONANP, 2012).

VI. 3. Selección de la población (Cañada de la Leona)

En la Sierra de Mazatán se conocen al menos 3 poblaciones de *D. sonorensis*, a partir del estudio genético de Gutiérrez-Ortega et. al (2014) en los sitios: la Cañada de la Leona, el Peñón de las Iglesias y el Rancho La Cueva. Nuestro estudio se llevó a cabo en la población conocida como Cañada de La Leona, por la facilidad en el acceso a esta población. Esta población se encuentra por la ladera con orientación oeste de la cañada a 1324 msnm. Aquí se encuentra una población de *Dioon sonorensis* de la cual no se tienen antecedentes sobre su ecología.

VI.4. Censo de campo

En esta ladera se ubicaron 4 cuadrantes contiguos de 50 m x 50 m, cubriendo casi la totalidad de la extensión de la población de este sitio. Se hizo un conteo del total de los individuos de la población, marcando cada individuo con una etiqueta rectangular de cartón forrado con papel aluminio de 7 cm x 2 cm portadora de su ID correspondiente. De cada individuo se tomó registro del diámetro basal del tallo, la altura del tallo, el número de hojas verdes, la cobertura, así como si se encontraba ubicado en un sustrato de suelo o en hendidura de roca y si el individuo se encontraba agrupado con otros o solitario. Si los individuos se encontraban agrupados, se contó el número de individuos por agrupación. El diámetro basal se midió con la ayuda de un vernier forestal y la altura del tallo con un flexómetro. La cobertura se midió usando dos diámetros de la copa formada por las hojas.

VI. 5. Estimación de la densidad

La abundancia es el número de individuos de una población por unidad de superficie. Para nuestro caso, calculamos la media y la desviación estándar del número de individuos presentes en cada cuadrante de 50 x 50 m.

VI. 6. Estructura de tamaños

Para la estructura de tamaños de la población se tomó la longitud del tallo de cada individuo como criterio de clasificación de tamaños. Se hicieron grupos de acuerdo a la longitud, los cuales fueron: plántula, plantas cuyo tallo estaba sumergido en el suelo (0 cm), tallo de 1 a 20 cm, tallo entre 21 y 40 cm, de 41 a 60 cm, de 61 a 80 cm, de 81 a 100 cm, de 101 a 120 cm, y mayor de 120 cm.

VI. 7. Agrupaciones de individuos

Los individuos de la población se encuentran solitarios y en grupos. Para describir el patrón de agrupamiento se graficaron los datos correspondientes al número de individuos por agrupación para conocer su distribución.

VI. 8. Disposición espacial

Para describir la disposición espacial de los individuos de *D. sonorensis* se usó el método de Hopkins (Krebs, 1998). Para esto se seleccionaron 55 puntos al azar dentro de la población utilizando una tabla de números aleatorios y se midió la distancia del punto al azar al individuo

de *D. sonorensis* más cercano; posteriormente se midió la distancia del individuo a su vecino conoespecífico más cercano. Las distancias se midieron usando una cinta de 100 m. Para evaluar la disposición espacial se utilizó la fórmula de Hopkins: $h = \frac{\sum(x_i^2)}{\sum(r_i^2)}$

Dónde: **h**: el estadístico de Hopkins, x_i : distancia del punto al azar i al individuo más cercano, y r_i : distancia del individuo seleccionado al azar i a su vecino más cercano.

Este método evalúa la hipótesis nula (H₀) que la disposición espacial es al azar o si la disposición no es aleatoria (hipótesis alternativa, H_a). En este caso, se toma la h calculada con el estadístico de Hopkins y se compara con los valores de la tabla F de Fisher que se toman en base a $F_\alpha = F_{0.025}$ y $F_{1-\alpha} = F_{0.975}$ ambos con $2n$ como grados de libertad, donde n es el número de puntos al azar.

Si h calculada $< f_\alpha = f_{0.025} \rightarrow$ tendencia hacia dispersión uniforme

Si h calculada $> f_{1-\alpha} = f_{0.975} \rightarrow$ tendencia hacia dispersión agregada

Si h calculada se encuentra entre los valores $f_{0.025}$ y $f_{0.975}$ "H₀" se acepta, es decir, el tipo de la dispersión es al azar

VI. 9. Preferencia de micro-hábitat

Para conocer si los individuos de la población tienen alguna preferencia por algún tipo de microhábitat o si se distribuyen al azar, se tomó la ubicación de cada individuo y se identificó si se encontraba en suelo o en hendidura de roca (grieta). Para esta evaluación primero se estimó el porcentaje de suelo, de roca y de hendidura de rocas en el área ocupada por la población. Para esto se trazaron 5 líneas de Canfield de 50 m orientadas aleatoriamente al azar, de las cuales se obtuvo el porcentaje de suelo, de roca y de hendidura de rocas. A partir de estos porcentajes se hizo una estimación de la distribución esperada si las plantas se distribuyeran aleatoriamente entre estos tres tipos de sustrato. La prueba de preferencia de microhábitat se hizo utilizando la prueba de χ^2 contrastando lo esperado si no hubiera preferencia, con lo observado:

$$X^2 = \frac{(O-E)^2}{O},$$

donde O es el número de individuos observados por tipo de sustrato y E el número de individuos esperados si la distribución fuera aleatoria de acuerdo al área ocupada por cada tipo de sustrato.

VII. RESULTADOS

VII. 1. Análisis de densidad

En el análisis de las plantas registradas dio un total de 238 individuos distribuidos en los 4 cuadrantes de 50 m x 50 m, con un promedio de 59.25 por cuadrante y una desviación estándar de 61.40 (Tabla I). Se registraron desde 14 hasta 149 individuos por cuadrante (Tabla I).

Tabla I. Número registrado de individuos de *D. sonorensis* en los cuadrantes del sitio de estudio.

CUADRANTES	Nº de Individuos
1	26
2	149
3	49
4	14
TOTAL	238
PROMEDIO	59.25
DESVIACION ESTANDAR	61.40

VII. 2. Análisis de Estructura de Tamaños

Los tamaños registrados de los individuos de la población fueron clasificados en 9 categorías de tamaño: plántula, individuos con tallo subterráneo (TS), con tallos menores a 20 cm de longitud, tallos de 21 a 40 cm, de 41 a 60 cm, de 61 a 80 cm, de 81 a 100 cm, de 101 a 120 cm y longitud de tallo mayor a 120 cm. (Figura 2). Sólo el 2.71% de la población está representada

por plántulas, mientras que la categoría de plantas con el tallo sumergido representan el 53.10% de la población (Figura 2). Las plantas con tallos menores de 20 cm constituyen el 9.30%, mientras que las plantas con tallos entre 21 y 40 cm constituyen el 14.34%. Las clases de tamaño de tallos mayores a 40 cm disminuyen en frecuencia en la población (Figura 2).

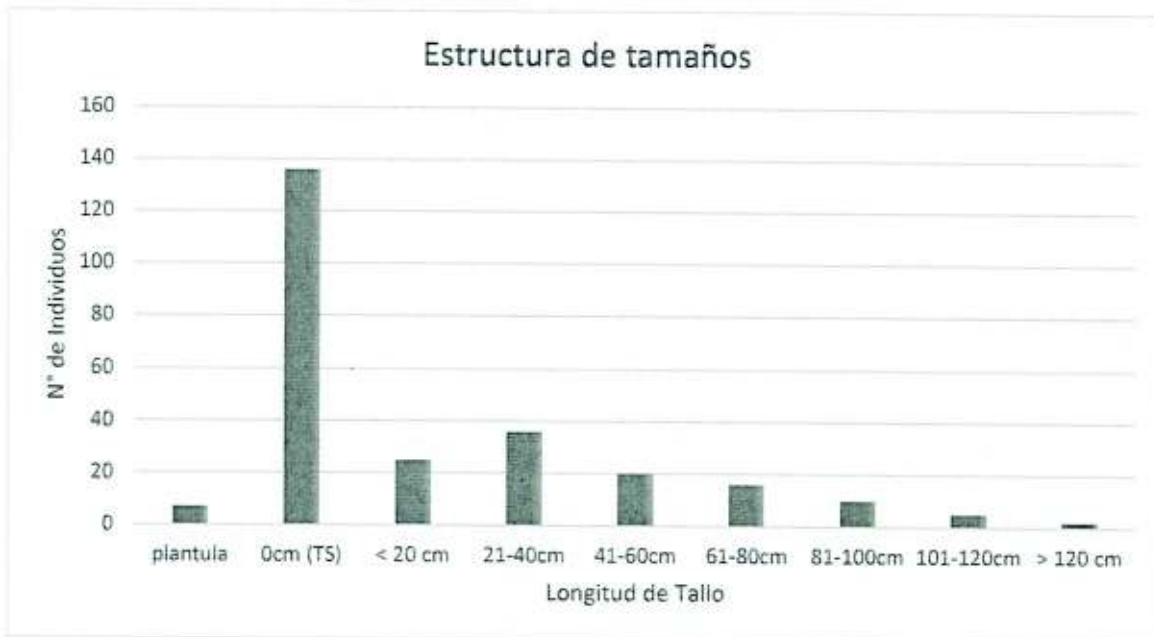


Figura 2. Estructura de tamaños (longitud del tallo) de la población estudiada de *D. sonorensis* de la población Cañada de la Leona.

VII. 3. Análisis de Agrupamientos

Para el análisis de los agrupamientos de las plantas de la población se clasificaron de acuerdo al número de tallos (Figura 3). Es decir, se encontraron 32 individuos solitarios (un solo tallo), 13 grupos de 2 individuos agrupados, 13 grupos de 3 individuos agrupados, 10 grupos de 4 individuos, 7 grupos de 5 individuos, 4 grupos de 6 individuos, 4 grupos de 7 individuos, 2 grupos de 8 individuos y 1 grupo de 12 individuos. La gráfica (Figura 3) muestra que los

individuos más frecuentes son los que se encuentran en agrupaciones de 3 y 4 ; la agrupación más grande que se registró fue de 12 individuos juntos.

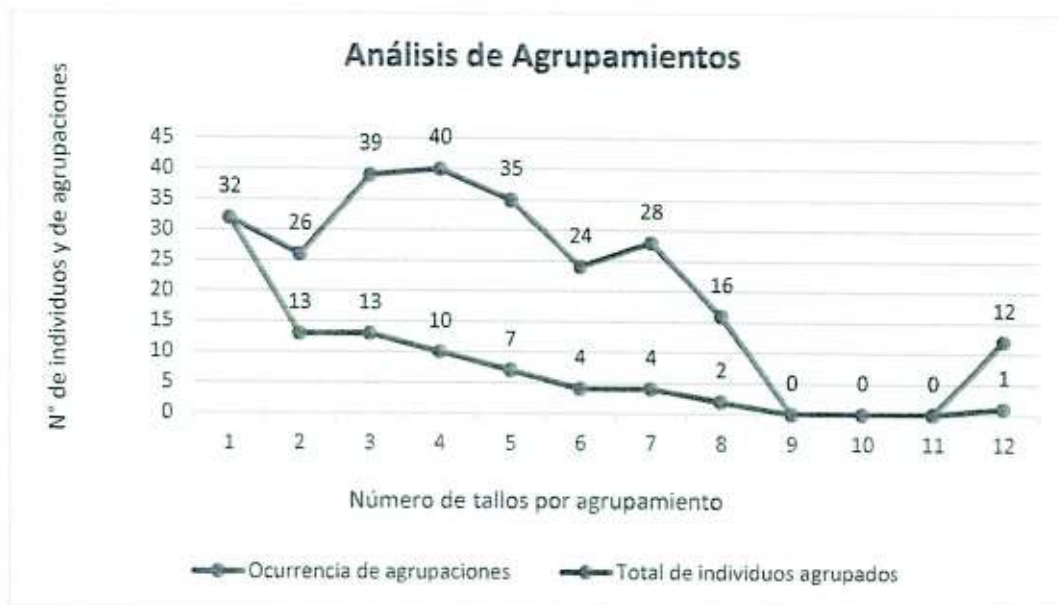


Figura 3. Distribución del número de tallos por agrupación en la población de *D. sonorensis* de la Cañada de la Leona.

VII. 4. Análisis de la Disposición Espacial

La prueba de Hopkins es de dos colas, tiene $2n$ grados de libertad (n = número de muestras) y tiene una distribución de F y los valores críticos fueron $F_{(0.025)} = 0.6868122$ y $F_{(0.975)} = 1.456002$. La Hipótesis nula (H_0) indica que la dispersión es al azar y la Hipótesis alternativa (H_a) que la dispersión no es al azar. Se tomó la h calculada con el estadístico de Hopkins y se comparó con los valores F de la tabla F de Fisher que se tomaron en base a $F_{\alpha} = F_{0.025}$ y $F_{1-\alpha} = F_{0.975}$ ambos con grados de libertad= $2n=110$

El valor calculado de la prueba de Hopkins fue de 5.61. Dado que $5.61 > 1.456$, se rechaza la hipótesis nula de aleatoriedad a favor de la distribución agregada; la prueba de Hopkins indica que el patrón de distribución espacial de los individuos de *D. sonorensis* es agregado.

Tabla II. Tabla de valores para el análisis de la disposición espacial.

α	$1-\alpha$	$F\alpha$	$F 1-\alpha$	g.l	Rango	Valor calculado
0.025	0.975	0.6868122	1.456002	110	0.686-1.456	5.61

La distribución de las distancias de los puntos al azar a los individuos de *Dioon sonorensis* 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.

VII. 5. Análisis de Preferencia de Micro-hábitat

Los porcentajes de roca, suelo y hendidura de roca que se obtuvieron mediante las líneas de Canfield en el área ocupada por la población fueron: 60.45% de roca, 35.75% de suelo y 3.80% de hendidura de rocas. Con estos porcentajes y el total de individuos en la población, se calculó cuántos individuos se esperaba que estuvieran en cada tipo de sustrato si la distribución fuera aleatoria (Tabla III).

Tabla III. Número esperado de individuos en cada tipo de sustrato si la distribución fuese al azar, en base al porcentaje observado de los diferentes tipos de sustrato en el área ocupada por la población y número de individuos observado en la población, así como su porcentaje

Ubicación	ROCA	SUELO	HENDIDURA	TOTAL
Número esperado de individuos	143.89	85.09	9.02	238
Porcentaje esperado	60.46	35.75	3.79	100
Número observado de individuos	0	35	203	238
Porcentaje observado	0	14.70	85.29	100

Se hizo un contraste entre el número observado de individuos contra número el esperado (si la distribución fuera aleatoria dentro de la población), a través de una prueba de $\chi^2 = \sum (O-E)^2/E$

$$\chi^2 = [(0-143.8948)^2 / 143.8948] + [(35-85.09928)^2 / 85.09928] + [(203-9.0202)^2 / 9.0202]$$

$$\chi^2 = 143.8948 + 29.494 + 4171.54 = 4344.92$$

El valor calculado (4344.92) de χ^2 fue mayor que el valor crítico de χ^2 (5.991) obtenido de la tabla de valores críticos de Chi-cuadrada. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de distribución aleatoria y se acepta la hipótesis alternativa de que los individuos tienen preferencia por un tipo de sustrato. En este caso, los datos indican que los individuos de esta población se distribuyen preferentemente en las hendiduras de rocas.

VIII. DISCUSIÓN

VIII. 1. Densidad

La población estudiada de la Sierra de Mazatán tiene una densidad de 238 individuos por hectárea; al comparar las densidades entre las poblaciones de *Dioon sonorensis* en el estado, se observa que esta población presenta una densidad mucho mayor en promedio que las poblaciones del sur del estado. En la región de Álamos la densidad registrada va desde 26 individuos por hectárea hasta 167 ind/ha; siendo el promedio de 70 ind/h (Félix, 2012). La densidad de ésta población (238 ind/h) rebasa incluso la densidad más alta que se ha registrado de la población de Cusal de los Chorros con 167 (ind/h) en el Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Álamos Río Cuchujaqui.

La densidad no es tan alta al compararla con otras especies de *Dioon*, como *Dioon edule* que presenta densidades promedio de 2053 ind/ha en Querétaro y 3579 ind/ha en Veracruz y *Dioon spinulosum* con un promedio de 3061 ind/ha en Oaxaca (Octavio-Aguilar, 2008; Rubio-Mendez, 2010, Salomé-Castañeda, 2009). Sin embargo, sí es mayor a las densidades promedio de especies como *D. merolae* (150 ind/ha) en Chiapas, *D. caputoli* (17 ind/ha) en Puebla y *D. purpusi* (21 ind/ha) en Oaxaca (Lázaro-Zermeño, 2010; Cabrera-Toledo, 2009; Yáñez-Espinosa y Sosa-Sosa 2007).

VIII. 2. Estructura de la población

Los individuos observados en esta población van desde plántulas hasta plantas con tallos mayores de 1.20 m; sólo el 2.72% de la población está representada por plántulas y sólo el 0.77% de la población presenta individuos con tallos mayores a 1.20 m.L a categoría de plantas con el tallo sumergido representa el 52.91% de la población; este porcentaje sobresale por

mucho de los demás valores incluyendo los dos contiguos ya que la categoría siguiente con mayor porcentaje es la del tallos entre 21 cm y 40 cm siendo este el 14%.

Lázaro-Zermeño (2012) menciona que cuando los individuos de *Dioon merolae* son pequeños, el tallo es subterráneo y solo ocurre el crecimiento en grosor. Este crecimiento es el resultado de la expansión del córtex y de la producción de primordios foliares y la elongación longitudinal empieza a hacerse evidente una vez que el tallo alcanza 15 cm de diámetro. En los primeros diez años de vida el incremento en la longitud del tallo es menor de 1.0 cm por año. Posteriormente, conforme los individuos incrementan en longitud, la cantidad de hojas producidas también aumenta provocando que el incremento anual del tallo sea de 2-3 cm. Por lo tanto a los individuos con tallo subterráneo y tallo menor a 20 cm podría considerarse como de talla pequeña. Si este mismo patrón de crecimiento se presenta en *Dioon sonorensis* el porcentaje de tallas pequeñas en la población estudiada sería del 65.35%. Velasco-García et al. (2016) trabajó con *Dioon holmgrenii* y consideran a un individuo adulto a partir de los 10 cm de altura del tallo; así que incluso si solamente se considerara a las plántulas y a los individuos de tallo subterráneo como tallas pequeñas el porcentaje seguiría siendo alto (55.63%).

Usualmente la distribución de tamaños en poblaciones de plantas de larga vida está dominada por individuos jóvenes con alta mortalidad en las categorías tempranas, con una acumulación gradual de los adultos incorporando individuos en cada generación y la mayoría de las cicadas sigue este patrón Octavio-Aguila et al. (2017).

En la mayoría de las poblaciones de *Dioon sonorensis* de la región de Alamos se encontraron más individuos de tallas pequeñas que de tallas grandes, lo que sugiere que el reclutamiento es constante y permanente (Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Álamos Río Cuchujaqui 2013). Sin embargo en la población estudiada, aunque un porcentaje alto podría considerarse de tallas pequeñas, solo el 2.72% está representado por plántulas. Esta evidencia parece indicar que el reclutamiento reciente es moderado en esta población.

VIII. 3. Agrupaciones

El 37.2% de la población está representada por individuos solitarios mientras que el 62.79% de la población se encontró en grupos de dos hasta doce individuos. No se sabe si éstas agrupaciones corresponden a un mismo individuo (clonal) con varios tallos o si estos son individuos diferentes pero agrupados.

Este fenómeno ha sido observado en otras especies de *Dioon*, como en *Dioon merolae* donde estas agrupaciones de tallos son considerados como partes de la misma planta. Las plantas adultas presentan uno o varios tallos unidos en su base y la mayoría de las veces son cilíndricos y pueden bifurcarse y formar ramas cada una con su copa de hojas. Estos individuos muy longevos pueden llegar a tener hasta 18 tallos, además del tallo principal. En la parte media y alta del tallo se encuentran meristemos que pueden dar origen a ramas cada una con su propia copa de hojas; la longitud que alcanzan las ramas es mucho menor que la de un tallo (< 100 cm) (González-Espinosa et al., 2012; Lázaro-Zermeño et al., 2012).

En un estudio de la estructura poblacional de *Dioon merolae*, se registraron 144 individuos en seis clases de tamaño con base en el número de tallos conectados en la base de la planta; se encontró que el 36% de la población fue de un solo tallo y el resto de la población presentó plantas de 2 hasta 7 o más tallos (González-Espinosa et al., 2012). En esta población, un porcentaje alto se presenta en agrupaciones de 2 o más tallos (64%), un porcentaje parecido al de población estudiada (62.79%) donde el mayor porcentaje de la población se encuentra representada por grupos de 2 hasta 12 tallos.

Gutiérrez-Ortega (2010) menciona que algunos individuos adultos de *Dioon sonorensis* pueden presentar yemas adventicias, por lo que es probable que estas agrupaciones de tallos sean parte de un mismo individuo. El uso de marcadores moleculares permite conocer si los tallos de estas agrupaciones tienen el mismo o diferente genotipo y por tanto resolver el problema del origen de las agrupaciones: asexual o sexual.

VIII. 4. Disposición espacial

El patrón de disposición espacial de la población estudiada fue agregado, lo cual concuerda con los resultados de estudios con otras cícadas. Octavio-Aguilar *et al.* (2008) encontraron un patrón agregado para adultos y aleatorio para plántulas y juveniles. Velasco-García *et al.* (2016) estudiaron a *Dioon holmgrenii* donde el patrón de distribución fue principalmente agregado pero notaron que el patrón fue aleatorio en individuos reproductivos y agregado en los no reproductivos; al parecer, el patrón de dispersión espacial aleatorio ocurre en áreas con baja densidad de individuos. La distribución agregada que se ha observado en las cícadas se le ha atribuido en otros trabajos a la germinación de las plántulas cerca de las plantas adultas por ausencia de dispersores o por las pendientes bajas que no favorecen la dispersión facilitada por la gravedad; también se cree que pueda deberse a la producción de bulbilos (Rubio-Méndez, 2010, Octavio-Aguilar *et al.*, 2017). Nuestro conocimiento sobre la distribución espacial de las especies clonales indica que predomina la distribución agregada (Carrillo-Angeles y Mandujano, 2011). Esta distribución agregada de clones puede representar una estrategia efectiva cuando la reproducción por semilla y el establecimiento de plántulas son difíciles por algún tipo de estrés (Rubio-Méndez, 2010).

VIII. 5. Microhábitat

Los individuos de la población estudiada se distribuyen principalmente en hendiduras de roca. Se sabe que las especies de *Dioon* tienen semillas grandes por lo que su dispersión es difícil. Gutiérrez-Ortega (2010) sugiere que el éxito en el reclutamiento podría depender del rol de los roedores como enterradores de las semillas que consumen y como dispersores, ya que Gregory y Chemnick (2004) observaron que las cáscaras de las semillas suelen ser comidas por roedores. Las semillas suelen quedarse junto a la planta madre, pero a veces pueden encontrarse hasta 20 metros de ella. Las plántulas que logran sobrevivir a los primeros dos años, por lo general, son aquellas cuyas semillas fueron enterradas a profundidades adecuadas (Gregory y Chemnick, 2004). Vovides (1990) reporta que el roedor *Peromyscus mexicanus* depreda semillas de la cícada *Dioon edule*; también reporta la presencia de estas junto con otras semillas y vainas de

semillas leguminosas en los nidos de roedores en las partes rocosas de los hábitats. La ausencia de *Dioon merolae* en áreas planas o de poca pendiente se cree que puede deberse a la competencia que ejercen otras plantas herbáceas y leñosas (González-Espinosa et al., 2012). También se cree que las semillas pueden quedar atrapadas en los troncos o las raíces de los árboles vecinos, o al caer en una oquedad (Lázaro-Zermeño et al. 2012). Se ha observado que cuando las plantas crecen debajo de riscos, cornisas, grietas o cerca de taludes o de árboles y arbustos cercanos, los tallos muestran un acentuado fototropismo y gravitropismo y se curvan e inclinan conforme crecen hasta que acaban por postrarse sobre el suelo (González-Espinosa et al. 2012). Esto podría explicar los tallos curvados y postrados sobre el suelo de la población estudiada en este trabajo.

IX. CONCLUSIONES

- 1) La densidad registrada en la población de *Dioon sonorensis* de la Cañada de la Leona fue de 238 individuos por hectárea. Esta densidad es mayor en comparación con las poblaciones del sur del estado, por lo que se entiende que la población está en buen estado.
- 2) La estructura poblacional está representada por plántulas hasta plantas con tallos mayores de 1.20 m. Se encontró un porcentaje mayor de tallas pequeñas que de grandes, lo que es usual en poblaciones de larga vida. De estas tallas pequeñas un porcentaje muy bajo fueron plántulas por lo que se sugiere que hay poco reclutamiento reciente en la población. El 37.2% de la población está representada por individuos solitarios mientras que el 62.79% de la población se encontró en grupos de dos hasta doce individuos. Es probable que los individuos de estas agrupaciones sean de origen clonal.
- 3) La distribución espacial de los individuos de la población fue agregada. Esta distribución concuerda con la distribución que se ha documentado en otras especies de cícadas de México. Probablemente el mecanismo responsable de la distribución observada sea la reproducción clonal.
- 4) Los individuos de la población estudiada se distribuyeron principalmente en grietas de rocas. Es probable que esta asociación se deba a que las grietas representen un microhábitat más favorable para el establecimiento de plántulas, porque retengan más humedad y exista menor competencia con otras especies. También es posible que alguna especie de roedor disperse las semillas hacia las grietas ya que se observó en campo cúmulos de semillas en oquedades de las rocas que podrían ser madriguera de algún roedor.
- 5) Finalmente es importante evaluar el estado ecológico de las demás poblaciones de *Dioon sonorensis* en la Sierra de Mazatán, para poder conocer el estado del haplotipo norte de la especie. Se recomiendan estudios de polinización, de dispersión de semillas, así como estudios con marcadores moleculares para conocer la importancia de la reproducción clonal en la formación de las agrupaciones observadas.

X. LITERATURA CITADA

- APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1–20.
- Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Álamos Río Cuchujaqui. 2013. Monitoreo de la palma de la virgen (*Dioon sonorensis*) en el Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Álamos Río Cuchujaqui. Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- Arriaga, L., Espinoza, J., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez L. y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad Universitaria. México, D. F.
- Brenner, E., Stevenson D. y R. Twigg. 2003. Cycads: evolutionary innovations and the role of plant-derived neurotoxins. *The New York Botanical Garden* 8:446- 452.
- Cabrera-Toledo, D. 2009. Biología poblacional de dos cícadas Mexicanas con distintos niveles de rareza. Tesis Doctoral. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz.
- Callicott, J.B., Crowder, L.B. y K. Mumford. 1999. Current normative concepts in conservation. *Conservation Biology* 13: 22-35.
- Carrillo-Angeles, G. y C. Mandujano. 2011. Patrones de distribución espacial en plantas clonales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 89: 1-18.
- Centro Ecológico de Sonora. 1993. Plan de manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra de Mazatán y Ures, Sonora México. Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Sonora.
- Chemnick, J., Gregory, T. y S. Salas-Morales. 1997. A revision of *Dioon tomasellii* (Zamiaceae) from western Mexico, a range extension of *D. merolae* and clarification of *D. purpusii*. *Phytologia* 83:1-6.
- CITES. 2003. Examen del comercio significativo de la CITES Cícadas. Secretaría de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. PC14 Doc. 9.2.2. Anexo 1. 3-46.

- CONANP. 2012. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra Huérfana, en el Estado de Sonora. Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. Secretaría de Gobernación. México, D.F. CONABIO 2012. Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal, 2012-2030. Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- CONABIO. 2014. Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- CONABIO y SEMARNAT. 2009. Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Secretaría de Gobernación, México, D.F.
- CONAGUA. 2017. Información Climatológica por Estado. Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- Condamine, F., Nagalingum, N., Marshall, C. y Morlon, H. 2015. Origin and diversification of living cycads: a cautionary tale on the impact of the branching process prior in Bayesian molecular dating. *BMC Evolutionary Biology* 15: 65
- De Luca, P., Sabato S. y Vázquez-Torres M. 1984. *Dioon tomaselli* (Zamiaceae) a new species with two varieties from western México. *Brittonia* 36: 223-227.
- Donaldson, J. 2003. Cycads: Status Survey and Conservation Action Plan. IUCN/SSC Cycad Specialist Group, IUCN. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Felix, N. 2012. Estudio demográfico de la Palma de la Virgen (*Dioon sonorensis*), en el APFF Sierra de Álamos Río Cuchujaqui en el estado de Sonora. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Sierra, Moctezuma, Sonora.
- García-Mendoza, A. 2007. Los Agaves de México. *Ciencias* 87: 14-23.
- Gernandt, D. y Pérez-de la Rosa, J. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 126-133.
- Gibson, A. y Nobel, P. 1986. *The Cactus Primer*. Harvard University Press. Estados Unidos de America.
- González-Espinosa, M., Pérez-Espinosa, B. y Ramírez-Marcial, N. 2012. Distribución espacial y respuesta fototrópica de *Dioon merolae* (Zamiaceae) en poblaciones relictuales del centro de Chiapas, México. *Botanical Sciences* 90: 63-72.
- Gregory, T. J. y Chemnick, J. 2004. Hypotheses on the relationship between biogeography and speciation in *Dioon* (Zamiaceae). 137-148p. En: Walters, T. y

- Osborne, R. (Eds.) *Cycad classification: concepts and recommendations*. CAB Internacional. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos.
- Gutiérrez-Ortega, J. 2010. Filogeografía de la cícada *Dioon sonorensis* (Cycadales: Zamiaceae) en Sonora, México, utilizando la región intergénica trnL-f del adn del cloroplasto. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Hermosillo, Sonora, México.
- Gutiérrez-Ortega, J., Kajita, T., Molina-Freaner, F. 2014. Conservation genetics of an endangered cycad, *Dioon sonorensis* (Zamiaceae): Implications from variation of chloroplast DNA. *Botanical Sciences* 92: 441-451.
- Hansson, L., Fahrig, L. y Merriam, G. 1995. *Mosaic landscapes and ecological processes*. Chapman & Hall.
- Hopper, S. y Brown, A. 2007. A revision of Australia's hammer orchids (Drakaea: Orchidaceae), with some field data on species-specific sexually deceived wasp pollinators. *Australian Systematic Botany* 20: 252-285.
- Ikeno, S. y S. Hirase. 1897. Spermatozoids in gymnosperms. *Annals of Botany*.11: 344-345.
- INEGI 2013. Carta edafológica Serie II 1:250 000 Hermosillo H12-8.
- Jiménez Sierra, C. L. 2011. Las Cactáceas Mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria* 12: 1-23.
- Krebs, C. 1998. *Ecological Methodology*. Benjamin/Cummings. Estados Unidos de América.
- Lázaro-Zermeño, J., González-Espinosa, M., Mendoza, A. y M. Martínez-Ramos. 2012. Historia Natural de *Dioon merolae* (Zamiaceae) en Chiapas, México. *Botanical Sciences* 90: 73-87.
- Lázaro-Zermeño, J., González-Espinosa, M., Mendoza, A., Martínez-Ramos, M. y P. Quintana Ascencio. 2010. Individual growth, reproduction and population dynamics of *Dioon merolae* (Zamiaceae) under different leaf harvest histories in Central Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management* 261: 427-439.
- Martin, E. y Hine, R. 2008. *Biology*. In *A Dictionary of Biology*. Oxford University Press. Oxford, Reino Unido.
- Martínez-Yrizar, A., Felger, R. S. y A. Búrquez. 2010. Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural. 129-156 p. En: Molina-Freaner, F. E y Van Devender, T.R. (Eds.) *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM, México.

- Naranjo, E. y R. Dirzo. 2009. Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna. 247-276 p. En *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México.
- Nicolalde-Morejón, F., González-Astorga, J., Vergara-Silva, F., Stevenson, D. W., Rojas-Soto, O. y A. Medina-Villarreal. 2014. Biodiversidad de *Zamiaceae* en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 114-125.
- Norstog, K. y T. Nicholls. 1997. *The Biology of the Cycads*, Cornell University Press, Ithaca, New York, Estados Unidos de América.
- Norstog, K., Stevenson, D. y K. Niklas. 1986. The role of beetles in pollination of *Zamia furfuracea* (*Zamiaceae*). *Biotropica* 18: 300-306.
- Octavio-Aguilar, P., González-Astorga, J. y A. Vovides. 2008. Population dynamics of the Mexican cycad *Dioon edule* Lindl. (*Zamiaceae*): life history stages and management impact. *Botanical Journal of the Linnean Society* 157:381-391.
- Octavio-Aguilar, P., Rivera-Fernández, A., Iglesias-Andreu, L.G., Vovides, A., Núñez de Cáceres-González, F. 2017. Extinction risk of *Zamia inermis*: a demographic study in its single natural population. *Biodiversity and Conservation* 26: 787-800.
- Peña, A., Neyra, L., 1998. Amenazas a la Biodiversidad. 158-181 p. En CONABIO. *La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Pinheiro, L., Carregosa, A., Cruz da Silva, A., da Silva Ledo, A., Garcia, K. y L-Cardamone. 2012. Genetic diversity and population structure in the Brazilian *Cattleya labiate* (*Orchidaceae*) using RAPD and ISSR markers. *Plant Systematics Evolution* 298:1815-1825.
- Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P. y F. Massardo. 2001. Especies exóticas, enfermedades y sobreexplotación. 225-252 p. En Primack, R., Rozzi R., Feinsinger P., Dirzo R., Massardo F. 2001. *Fundamentos de conservación biológica: Perspectiva latinoamericana*. Fondo de Cultura Económica. México.
- RBG Kew. 2016. *The State of the World's Plants Report*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Rodríguez, P. y L. López-Toledo. 2016. Modeling the distribution of mexican plants: knowledge and challenges in the face of biodiversity loss. *Botanical Sciences* 94: 1-4.

- Rubio-Méndez, G. 2010. Estructura Poblacional de *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae) en la Sierra Madre Oriental del Estado de San Luis Potosí. Tesis de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P.
- Salazar, G. 2009. Orquídeas. 153-169 p. En Lot, A., Cano-Santana, Z. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Salomé-Castañeda, E. 2009. Parámetros demográficos de *Dioon spinulosum* Dyer & Eichler (Zamiaceae), en San Miguel Soyaltepec, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, México.
- Sánchez-Escalante, J. 2008. Plantas y vegetación de la Sierra de Mazatán Sonora. Nuestra Tierra 10:6- 8
- Sánchez-Escalante, J.J., Reina-Guerrero, A.L. y T.R. Van Devender. 2017. Lista anotada de la flora vascular de la Sierra de Mazatán (Huérfana), centro de Sonora, México. Phytoneuron 35: 1-44.
- Santos, T. y J.L. Tellería. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. Ecosistemas 15: 3-12.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halfpeter, G., González, R., March, I., Mohat, A., Anta, S. y J. de la Maza. 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- Schneider, D., Wink, M., Sporer, F. y P. Lounibos. 2002. Cycads: their evolution, toxins, herbivores and insect pollinators. Naturwissenschaften 89: 281-294.
- SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-ECOL-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. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.
- SEMARNAT. 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Secretaría de Gobernación. México, D.F
- Smith, T. y R. Smith. 2009. Ecología. Pearson. Madrid, España.
- Stevenson, D. 2001. Flora de Colombia Monografía N°21 Orden Cycadales. UNIBIBLOS. Bogotá, D.C., Colombia.

- Terry, I., Walter, G., Moore, C., Roemer, R. y C. Hull. 2007. Odor-Mediated Push-Pull Pollination in Cycads. *Science* 318: 70.
- Valencia-A, S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:33-53.
- Van Devender, T.R., Felger, R.S., Fishbein, M., Molina-Freaner, F.E., Sánchez-Escalante, J.J. y A.L. Reina-Guerrero. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares. 229-261 p. En: F.E. Molina-Freaner y Van Devender, T.R. (Eds.), *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM, México.
- Vega, R., Calmus, T. 2003. Mazatan metamorphic core complex (Sonora, Mexico): structures along the detachment fault and its exhumation evolution. *Journal of South American Earth Sciences* 16 : 193–204.
- Velasco-García, M., Valdez-Hernández, J., Ramírez-Herrera, C., Hernández-Hernández, M., López-Upton, J., López-Mata, L. y H. López-Sánchez. 2016. Estructura, Heterogeneidad de estadios y patrón de dispersión espacial de *Dioon holmgrenii* (Zamiaceae). *Botanical Sciences* 94: 75-87.
- Villaseñor, J. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559-902
- Vovides, A. 1990. Spatial distribution, survival and fecundity of *Dioon edule* (Zamiaceae) in a tropical deciduous forest in Veracruz, Mexico, with note on habitat. *American Journal of Botany* 77: 1532-1543
- Vovides, A. 2000. México: segundo lugar mundial en diversidad de cícadas. *CONABIO. Biodiversitas* 31: 6-10
- Yáñez-Espinosa, L. y F. Sosa-Sosa. 2007. *Neotropical Biology and Conservation*. 2(1): 46-54
- Yépiz, J. y M. Dovciak. 2014. Ontogenetic shifts in plant–plant interactions in a rare cycad within angiosperm communities. *Oecologia*. 175: 725–735.
- Yépiz, J., Dovciak, M. y A. Búrquez. 2011. Persistence of a rare ancient cycad: Effects of environment and demography. *Biological Conservation* 144: 122–130.