



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Germinación y crecimiento de *Dasyilirion acrotrichum*  
(Schiede) Zucc. (Nolinaceae), una especie de uso  
ancestral del semidesierto otomí

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

ILSE CITLALLI ALONSO ANAYA



DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARÍA DEL CARMEN MANDUJANO  
SÁNCHEZ

Ciudad Universitaria, Cd. MX., 2018.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos académicos**

A la Dra. María del Carmen Mandujano, que me orientó y apoyó durante la elaboración de este proyecto de investigación.

A los profesores que conforman el Taller de Ecología Terrestre y Manejo de Recursos Bióticos: Dr. Zenón Cano Santa, M. en C. Irene Pisanty Baruch, Dr. Víctor López Gómez, Dra. Mónica Queijeiro Bolaños, M. en C. Iván Castellanos Vargas, Dra. Concepción Martínez Peralta, M. en C. Juan Carlos Flores Vázquez y al Dr. Jordan Golubov Figueroa. Gracias por sus comentarios, observaciones y correcciones que me brindaron desde que inició este trabajo.

A los miembros del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, por las facilidades brindadas y asesoría para realizar esta tesis.

A mi jurado de tesis: Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez, Dra. Mariana Hernández Apolinar, al Dr. Gabriel Arroyo Cosultchi, al Dr. Pedro Eloy Mendoza Hernández y a la M. en C. María Esther Sánchez Coronado, los cuales me apoyaron muchísimo en la revisión de esta tesis.

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Genética y Ecología del Instituto de Ecología de la UNAM, por lo que agradezco a las técnicas: Anabel y la M. en C. Mariana Rojas Aréchiga, por el apoyo en la logística de los experimentos y de las salidas de campo

## **Agradecimientos personales**

A mis padres y hermana, por brindarme su apoyo en todo momento, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, por estar pendiente de mi educación y de mis necesidades. Les agradezco enormemente por acompañarme en cada una de mis metas y sueños, los amo inmensamente. Itzel, eres la mejor hermana del mundo, que esto sea tan solo una de las cosas que logremos juntas.

A Meli, gracias por orientarme y apoyarme durante mi tesis y en una que otra crisis existencial que tenía. Te quiero mucho, admiro tu trayectoria académica.

A mis compañeros y amigos de licenciatura por compartir una de las mejores etapas de la vida juntos, sé que a donde quiera que vayamos vamos a recordar estos momentos juntos. Estar con ustedes me hizo más amena la universidad.

Gracias Dr. Gabriel Cosultchi por tomarse el tiempo de ayudarme con mis análisis estadísticos, gracias por orientarme y enseñarme más sobre R.

A mis compañeros de campo y aventuras: *Los tomentosos*, con ustedes pasé dos años increíblemente divertidos y llenos de aprendizaje en Cadereyta, son tantas risas y experiencias que jamás olvidaré. Los quiero mucho a todos mis amiguis.

A Lev y Alonso, mis profesores de Agroecología, gracias por brindarme herramientas para reflexionar sobre mi quehacer científico, ustedes me mostraron un camino increíble de reflexión, solidaridad y lucha.

A los habitantes de Tolimán, Querétaro que nos brindaron información valiosa para llevar a cabo esta investigación.

A mi *alma mater*; la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme las puertas de este maravilloso lugar. Me enorgullece pertenecer a esta institución académica.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. ANTECEDENTES.....	9
2.1. Ecología de zonas áridas .....	9
2.2 Productos Forestales No Maderables (PFNM) de la vegetación de zonas áridas de México .....	13
2.3 Aprovechamiento de los sotoles en México.....	15
2.4. Aprovechamiento de <i>Dasyilirion acrotrichum</i> en México.....	16
2.5 Problemáticas derivadas del uso de sotoles en México.....	20
3.OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	22
4.SITIO DE ESTUDIO .....	234
5.ESPECIE DE ESTUDIO.....	25
5.1 Descripción morfológica.....	25
5.2. Reproducción .....	26
5.3 Ciclo de vida.....	27
5.4. Distribución geográfica.....	29
5.5 Estado de protección.....	30
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
6. 1. Colecta de semillas.....	31
6.3. Influencia de las brácteas sobre la germinación.....	34
6.4. Dinámica de crecimiento de población establecida .....	35
6.5. Propuesta de reintroducción de <i>D. acrotrichum</i> .....	39
7. RESULTADOS .....	40
7.2 Influencia de las brácteas sobre la germinación.....	41
7.3. Dinámica de crecimiento de población establecida .....	42
7.4. Propuesta de reintroducción de <i>D. acrotrichum</i> .....	47
8. DISCUSIÓN.....	50
8.1. Evaluación de la germinación y granivoría bajo nodriza.....	50
8.2. Influencia de las brácteas sobre la germinación.....	53
9.CONCLUSIONES .....	60
10.CONSIDERACIONES FINALES .....	61
11. LITERATURA CITADA .....	61



## Resumen

Por años, las poblaciones humanas asentadas en las regiones desérticas han aprovechado las especies vegetales para subsistir, ya sea que estas especies representen alimento, vestimenta y elementos para construcción y festividades religiosas. Tal es el caso del sotol (*Dasyliirion* spp) el cual representa uno de los productos forestales no maderables más importantes en las áreas rurales áridas (Martínez, 2013). A pesar del uso intensivo e histórico que presentan este género, están pobremente estudiadas, lo que dificulta que se lleven a cabo estrategias de aprovechamiento y conservación, por lo que en este estudio se buscó determinar los factores ecológicos que intervienen en la germinación y crecimiento de *Dasyliirion acrotrichum* (Schiede) Zucc. El sitio de estudio fue la localidad de Agua Salada, Cadereyta de Montes, Querétaro. Los objetivos de este trabajo fueron determinar si el nodricismo y la granivoría influyen en la germinación *in situ*, si el nodricismo disminuye la granivoría en las semillas, si las brácteas que envuelven a las semillas afectan en la germinación, estimar la dinámica de crecimiento y producción de hojas en los individuos de la población y proporcionar una propuesta de reintroducción de la especie

Se efectuó un experimento factorial y un Modelo Lineal Generalizado que indica que los tratamientos con nodriza y con exclusión de herbívoros resultaron ser significativamente diferentes ( $X^2 = 23.38, P < 0.0001, g.l.=1$ ). No se incluyeron los tratamientos sin nodriza debido a que la germinación aquí no ocurrió. Se encontraron diferencias significativas en la depredación de semillas sin nodriza lo que indica que el dosel de las plantas es un factor que disminuye la granivoría ( $\chi^2=30.91, p<0.001, g.l.=1$ ). Las nodrizas se seleccionaron aleatoriamente en el sitio de estudio. Tras germinar a *D. acrotrichum* en condiciones de laboratorio, no se presentaron diferencias significativas en la germinación de frutos con y sin escarificación. Se evaluó el crecimiento de una población establecida y se indicó que la altura de las hojas nuevas fue la variable que mostró cambios a lo largo del periodo de evaluación, incrementando de mayo a julio de 2016 ( $r^2=0.1098 F_{1,212}=27.27; P<0.05$ ). Mayo, junio, julio y agosto son meses en los que se recomienda realizar la reintroducción de *D. acrotrichum*.

## 1. INTRODUCCIÓN

El matorral xerófilo ocupa aproximadamente el 40% de la superficie del país por lo que es el más vasto de todos los tipos de vegetación de México, el clima en estos ambientes es extremo, particularmente la insolación suele ser muy intensa la lluvia es irregular y con fuertes diferencias de un año a otro (Rzedowski 2006). Debido a las condiciones de aridez, la agricultura con cultivos convencionales es difícil de llevar a cabo, por lo que los habitantes históricamente han hecho uso y manejo de especies nativas del ecosistema árido tanto maderables y no maderables como una alternativa para obtener recursos para la manutención familiar, ya que es posible obtener un sinnúmero de productos que se emplean en distintas industrias, tales como ceras, combustibles, destilados alcohólicos, artesanías, medicinas, entre otros (Martínez 2013).

Los productos forestales no maderables (PFNM) son bienes de origen biológico, derivados del bosque y de otras áreas forestales que se colectan en forma silvestre (FAO, 2014) y una gran variedad de PFNM tienen usos ceremoniales, ya que son elementos fundamentales en procesos religiosos donde muchas de ellas sirven como decoración y ofrenda (Torres-Martínez, 2016). Su uso se basa en el conocimiento empírico y tradicional de las comunidades o individuos por quienes son colectadas y transformadas (Mata-Labrada, 2013). Estas costumbres tienen un impacto sobre el medio ambiente ya que a pesar de que existen comunidades que cultivan plantas para obtener ciertos PFNM, la mayoría de estos productos derivan de plantas que se extraen de poblaciones silvestres (Ticktin, 2004).

El sotol, (*Dasyliirion* spp) representa uno de los productos forestales no maderables más importantes en las áreas rurales áridas (Olhagaray *et al.* 2004), ya que las especies de este género han sido históricamente utilizadas para la producción de la bebida conocida como “sotol” (Tunnell y Madrid, 1988; Cano *et al.* 2013), para elaborar cestería (Cano *et al.* 2013), artesanías, como material para la construcción (Cano, 2006), como forraje para ganado y fibra (Bogler, 1994) y para la elaboración de chimales y arcos florales; estos son estructuras cubiertas con la hoja del sotol, las cuales se usan en festividades religiosas en diversas localidades del país (Estrada, s.f.; Castillo, 2000; Bravo y Fortanelli, 2004; Haeckel, 2008; Mendoza-García, 2013; Díaz-Guillén *et al.* 2015).



A pesar del uso intensivo e histórico que presentan las especies de este género, están pobremente estudiadas, lo que dificulta que se lleven a cabo estrategias de aprovechamiento y conservación, por lo que en este estudio se pretende determinar los factores ecológicos que intervienen en la germinación y crecimiento de *Dasyilirion acrotrichum* (Schiede) Zucc.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Ecología de zonas áridas

El matorral xerófilo ocupa aproximadamente el 40% de la superficie del país por lo que es el más vasto de todos los tipos de vegetación de México; cubre la mayor parte del territorio de la Península de Baja California y se distribuye ampliamente por la Altiplanicie mexicana, desde Chihuahua y Coahuila hasta Jalisco, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro y el Estado de México, prolongándose al sur en forma de faja estrecha a través de Puebla hasta Oaxaca (Rzedowski 2006).

El clima en estos ambientes es extremo, particularmente la insolación suele ser muy intensa. Además, la lluvia es irregular y con fuertes diferencias de un año a otro; el número de meses secos generalmente varía de 7 a 12 por año, y la precipitación acumulada media anual generalmente es inferior a 700 mm. Los climas corresponden dentro de la clasificación de Köppen (1948) con los tipos “seco desértico” (BW) y “seco estepario” (BS) y sus numerosas variantes. Las condiciones topográficas y el tipo de suelo con frecuencia influyen en la fisonomía y en la composición florística de las comunidades vegetales (Rzedowski 2006).

Bajo estas condiciones, las plantas perennes desérticas presentan emergencia y establecimiento de nuevos miembros, únicamente en años con precipitación extraordinario o en aquellos que presentan una buena distribución de lluvia durante el período de crecimiento (Godínez 1998; Noy-Meir 1973; Sierra *et al.* 2008). Estos casos, por lo general, se presenta uno o dos veces cada 10 o 15 años (Noy-Meir, 1973; Westoby *et al.* 1989). Si además se considera que las especies presentan un lento y episódico crecimiento, reflejo de las fluctuaciones climáticas en el resto de los años; se podrá entender que las plantas perennes desérticas requieren de un buen número de años para alcanzar su madurez (Sierra *et al.* 2008).

Por lo anterior, la germinación de las semillas y la subsecuente supervivencia y crecimiento de las plántulas son fases esenciales en el ciclo de vida de las plantas superiores, por lo que es importante conocer la dinámica de su crecimiento en etapas tempranas, a fin de

comprender los procesos de las poblaciones y la estructura de las comunidades (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). El inicio de la vida de las semillas inicia al ser dispersadas por la planta madre y posteriormente, encontrarse tarde o temprano con la superficie del suelo; la germinación de estas semillas puede ocurrir inmediatamente o puede retrasarse por un periodo indefinido (González 2012; Gregorio *et al.* 2002; Jurado y Moles 2003).

Al retraso de la germinación se le conoce como latencia, la cual representa una adaptación donde se alarga el momento en que ocurre la germinación hasta que se presenten condiciones favorables para hacerlo (Rees y Long 1992), por lo tanto el momento en el que ocurre la germinación debe coincidir cuando se presentan las mejores condiciones ambientales, de esta forma se maximiza el éxito del establecimiento. Una gran proporción de especies con semillas dormantes han sido encontradas en ambientes donde las condiciones para germinación son impredecibles (Jurado y Moles 2003).

Muchos factores como la disponibilidad de luz, la presencia de patógenos, competencia entre plántulas, depredación de semillas, polinización y dispersión pueden influir en cuando ocurre la germinación, sin embargo los factores abióticos como la humedad y temperatura son tal vez más importante en determinar las condiciones apropiadas para que se lleve a cabo el establecimiento (Moles y Westoby 2004).

Durante el tiempo en que las semillas permanezcan sin germinar, las semillas viables que se encuentran en el suelo formarán un banco de semillas (Fenner y Thompson, 2005; González 2012) estos son esenciales en la dinámica, regeneración y estabilidad de las poblaciones de las plantas (Harper 1977), ya que permiten mantener la variabilidad genética de las especies, persistir en el tiempo, resistir períodos de adversidad y sobrevivir a eventos catastróficos como sequías, heladas e inundaciones (Harper, 1977; Fenner y Thompson, 2005; Baskin y Baskin, 2014; Saatkamp *et al.* 2014).

En los ecosistemas áridos, los bancos de semillas se caracterizan por poseer alta variabilidad temporal y espacial (Thompson 1987; Rundel y Gibson 1996) y en particular se ve afectado por patrones espaciales de vegetación (Guo *et al.* 1998). Thompson (1993), propuso

una útil y simple clasificación de los tipos de banco de semilla, la primera categoría es un banco tipo transitorio en el cual las semillas persisten en el suelo por menos de un año, la siguiente categoría son los bancos persistentes a corto plazo donde las semillas persisten por más de un año pero por menos de 5 años; finalmente el banco persistente a largo plazo es aquel donde las semillas persisten por al menos 5 años.

Para que las semillas puedan persistir en el suelo por algún tiempo determinado, deben tener ciertas características fisiológicas, ecológicas y morfológicas que les permitan mantenerse viables bajo condiciones naturales (Bowers, 2000), como el requerimiento de luz para germinar, un tamaño pequeño, requerimiento de un periodo de post maduración para germinar y una longevidad ecológica. Thompson *et al.* (1993) demuestran que la duración de las semillas en un banco depende de la masa de la semilla, por lo que, a menor peso, mayor persistencia en el suelo.

Existe un conjunto de factores ambientales que determinan la entrada, permanencia y salida de las semillas en el suelo (Harper, 1977; Saatkamp *et al.* 2014). Estos factores pueden ser bióticos tal como la dispersión, depredación (Bruun *et al.* 2010; Dalling 2011; Hulme 1998), competencia (Saatkamp *et al.* 2014), ataque por microorganismos (Dalling 2011) y simbiosis con microorganismos (Dalling 2011; Long *et al.* 2015); o abióticos como la temperatura, humedad, precipitación, luz, características físicas y químicas del suelo (Baskin y Baskin 2014; Long *et al.* 2015), ciclos de hidratación y des-hidratación (González-Zertuche *et al.* 2001; Long *et al.* 2015), principalmente.

Uno de los factores más importantes que intervienen en el destino de las semillas es la dispersión de semillas por parte de hormigas granívoras, varios géneros de hormigas practican la mirmecocoria, es decir, colectan semillas o fragmentos de las mismas con o sin envoltura (Andersen 1991; Westoby *et al.* 1991; Valiente-Banuet y Ezcurra 1991). Las semillas colectadas se convierten en reservas alimenticias que se utilizan durante la estación seca en las regiones subdesérticas, debido a la importancia de estas reservas las hormigas se esmeran en su cuidado para evitar que se fermenten o se pudran. Frecuentemente, las hormigas pierden a lo largo del

camino algunas de ellas, permitiendo así la colonización de nuevas áreas por la planta después de la germinación (Inouye *et al.* 1980, Kerley *et al.* 1997; Fernández 2003).

Por lo anterior, los granívoros ejercen un fuerte control sobre la abundancia y la diversidad de los granos que consumen en comunidades de zonas áridas (Parmenter y MacMahon 1983, Brown y Heske 1990, Curtin *et al.* 1999, Gutiérrez y Meserve 2000); las hormigas granívoras pueden estar estructurando a las comunidades vegetales debido a que son un componente faunístico importante de las zonas áridas y semiáridas (Inouye *et al.* 1980; Polis 1991). Si bien la dispersión es un proceso importante que ocurre en las zonas áridas, estudios indican que la granivoría afecta significativamente la demografía y abundancia de especies perennes, ya que la pérdida de semillas se traduce directamente en disminución de la abundancia de la planta en futuras generaciones (Louda, 1982).

Es por esto que el reclutamiento dependerá si la semilla sobrevive a la granivoría, si encuentra las condiciones necesarias para permanecer en el suelo e iniciar el proceso de imbibición. El establecimiento se puede ver dificultado por la competencia entre plantas vecinas o facilitado por los individuos adultos que rodean a las plantas, por lo que ambas interacciones tienen una gran influencia en la estructura y dinámica de la comunidad vegetal (Fowler 1986).

Existen muchas formas en la que la facilitación puede ocurrir, como el mejoramiento de microambientes por una especie al reducir la pérdida de humedad mediante una sombra, así como el aumento de condiciones que promuevan la supervivencia y crecimiento de la especie facilitada, esta interacción también permite disminuir el impacto de los herbívoros o competidores especiales (Hunter y Aarssen 1988; Berness y Callaway 1994; Callaway y Walker 1997; Brooker y Callaghan 1998).

Las condiciones microclimáticas dadas por fragmentos de vegetación potencializan la supervivencia de plantas y establecimiento (Meiners *et al.* 2002), lo cual es importante de estudiar durante los primeros pasos del ciclo de vida de las plantas. Las condiciones microclimáticas permiten que se creen nuevos micro ambientes (Shachak *et al.* 2008) ya que los

fragmentos de vegetación interceptan la radiación, reducen las fluctuaciones de temperatura de la superficie del suelo, así como del aire y mejoran la retención de la humedad del suelo, la cual es crítica durante los estadios tempranos del desarrollo de las plantas (Tsuyuzaki *et al.* 2012, Mendoza-Hernández *et al.* 2014).

En la vegetación de zonas áridas, el establecimiento de cactáceas y numerosas especies de plantas suculentas ha sido relacionado con la presencia de arbustos, de tal manera que se ha propuesto una interacción de facilitación arbusto-cactus (Drezner y Garrity, 2003; Drezner, 2006; Valiente-Banuet *et al.*, 1991; Zúñiga *et al.*, 2005). El arbusto actúa como planta nodriza la cual genera un micro-sitio óptimo para su protegido, propiciando sombra, atenuación de altas radiaciones, mayor humedad debajo de la planta nodriza, disminución de la presión por depredación (Niering *et al.* 1963; McAuliffe 1984) y protección de las plántulas durante periodos de congelamiento (Steenbergh y Lowe 1977; Nobel 1980; Ramírez 2011).

## **2.2 Productos Forestales No Maderables (PFNM) de la vegetación de zonas áridas de México**

Debido a las condiciones de aridez, la agricultura con cultivos convencionales es fallida, por lo que los habitantes históricamente han hecho uso y manejo de especies nativas del ecosistema árido tanto maderables y no maderables como una alternativa para obtener recursos para la manutención familiar, ya que es posible obtener un sinnúmero de productos forestales no maderables (PFNM) que se emplean en distintas industrias (Martínez 2013). Los PFNM son bienes de origen biológico, derivados del bosque y de otras áreas forestales que pueden recolectarse en forma silvestre o sistemas agroforestales; algunos de los PFNM son utilizados como alimentos y aditivos alimentarios, para construcciones, con fines medicinales, cosméticos o culturales (FAO, 2014),

Una gran variedad de PFNM tienen usos ceremoniales, ya que son elementos fundamentales en procesos religiosos donde muchas de ellas sirven como decoración y ofrenda (Torres-Martínez, 2016). Su uso se basa en el conocimiento empírico y tradicional de las comunidades o individuos por quienes son colectadas y transformadas en objetos rituales y ceremoniales (Mata-Labrada, 2013). Estas costumbres tienen un impacto sobre el medio

ambiente ya que la mayoría de estos productos derivan de plantas que se extraen de poblaciones silvestres (Ticktin, 2004).

La extracción directa de la vegetación aparece como el factor de mayor efecto sobre las poblaciones, impactando en su estructura y dinámica (Ticktin, 2004). El manejo de PFNM muchas veces implica la extracción de individuos completos de sus poblaciones naturales, pudiendo tener consecuencias ecológicas negativas como cambios demográficos y cambios en los patrones genéticos de las poblaciones (Ticktin, 2004).

La recolección de PFNM de clima árido y semiárido se distribuye en el altiplano mexicano en los estados de Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Chihuahua, Nuevo León, Coahuila, así como Sonora y la Península de Baja California, mientras que la producción en menor escala se concentra en los estados de, Oaxaca, Puebla, Hidalgo, Estado de México y Tamaulipas (SEMARNAT y INIFAP, s.f.). Aproximadamente 70 PFNM son los de más uso y presentan algún tipo de regulación oficial (Tejeda *et al.*, 1998), sin embargo existe un volumen muy grande que se comercializa sin regulación o se destina al autoconsumo (SEMARNAT y INIFAP, s.f.).

La intensa extracción de estos recursos, no sólo pone en peligro a las especies, sino también a las familias y localidades que dependen de ellos, como es el caso de *Agave potatorum*; una especie mezcalera. En los últimos 10 años la demanda de mezcal ha aumentado en el mercado y ello ha provocado mayor presión sobre las poblaciones silvestres, aumentando el riesgo de que éstas se extingan, ya que para la elaboración del mezcal se requiere extraer las plantas completas para utilizar el tallo y las bases foliares, la cual debe llevarse a cabo justo antes de que ocurra la producción del escapo y la inflorescencia (Torres *et al.* 2016).

Ante tal situación, los pobladores de distintas comunidades rurales también han expresado su preocupación por el hecho de que las poblaciones de este agave se encuentran paulatinamente más fragmentadas y porque deben ir a colectarlas en sitios más alejados de las comunidades rurales, así también por la ausencia de técnicas de manejo adecuadas para la conservación de este recurso (Torres *et al.* 2016).

En el caso de la candelilla (*Euphorbia antisiphylitica* Zucc.), un PFSM cuya cera se usa con diversos propósitos en diferentes industrias, Martínez-Ballesté y Mandujano (2013) mencionan que durante los dos últimos siglos se han cosechado grandes cantidades de esta especie de poblaciones silvestres en el norte de México. Aunque la extracción es regulada por instancias gubernamentales, la falta de información ecológica sobre la especie causa preocupación sobre su posible sobreexplotación. Actualmente, la actividad candelillera es menos intensa que en el pasado, pero sigue siendo una fuente importante de ingreso para comunidades rurales que se encuentran en situación de pobreza extrema (Martínez-Ballesté y Mandujano, 2013).

### **2.3 Aprovechamiento de los sotoles en México**

Los sotoles (*Dasyliirion* spp) (Fig. 1) son plantas nativas del Desierto Chihuahuense (Sierra *et al.* 2008), y son uno de los productos forestales no maderables más importantes de las regiones áridas (Martínez, 2013). Desde hace mucho tiempo, el sotol sirvió fuente de alimento de los primeros pobladores de Chihuahua, Coahuila, Texas y Nuevo México (Tunnel y Madrid, 1988) y actualmente los sotoles o serekes son la materia prima para la elaboración de la bebida alcohólica conocida como “sotol”, la cual ha dado origen a la actividad sotolera en varios estados del país (Sierra *et al.* 2008).

En San Luis Potosí, Zacatecas y Durango se utilizan las bases de las hojas de sotol conocidas como *cucharas* o *cucharillas* para la elaboración de adornos y ofrendas religiosas y panteones (Sierra *et al.* 2008). Las hojas de sotol son utilizadas para la construcción de tejados (Sierra *et al.* 2008), trabajos de cestería y otras artesanías (Sierra *et al.* 2008; Martorell y Ezcurra, 2007). Así como para sostener la carne y fines domésticos similares (Trelease, 1911) y como forraje para ganado y fibra (Bogler, 1994). También pueden ser fuente local de combustible y sus flores son comestibles (Arreguín *et al.* 1997; Terrones *et al.* 2006; Martorell y Ezcurra 2007).

Su inflorescencia es utilizada en la construcción; como cerco para la delimitación de propiedades, o como techos para sombra (Cano, 2006), así como también para fabricar bastones, incluso sus inflorescencias maduras se utilizan en adornos como “naturaleza muerta” (Sierra *et*



al. 2008). Antiguamente se aprovechaban también las pencas para tejer resistentes petates, gabanes y aventadores, pero dichas prácticas han caído en desuso (Mendoza-García, 2013).

Figura 1. Los sotoles (*Dasyilirion* spp) son uno de los productos forestales no maderables más importantes de las regiones áridas.



#### **2.4. Aprovechamiento de *Dasyilirion acrotrichum* en México**

*Dasyilirion acrotrichum* (Schiede) Zucc. constituye parte de la identidad de comunidades rurales al ser empleada para la construcción de arreglos, arcos florales y de estructuras conocidas como "chimales" (Castillo, 2000; Lastra de Suárez, 1971) los cuáles son elementos centrales en festividades y ofrendas religiosas en varias localidades de México. La flexibilidad y resistencia de las hojas, así como su blanca base (Fig. 2), las hacen ideales para este fin, por lo que es el componente principal (Haeckel, 2008).

Figura 2. Cucharilla o base de *Dasyilirion acrotrichum*



Varios autores documentan que el sotol se utiliza con dicho fin en San Miguel de Allende, Guanajuato (Mendoza-García 2013), San Marcos de León, Xico, Coatepec, Teocelo, Acajete, Tlalnahuayocan y Tequila, en el estado de Veracruz (Haeckel 2008), Mexquitic de Carmona, ubicada en el altiplano potosino (Bravo y Fortanelli 2004), y San Miguel Tolimán, Querétaro (Castillo 2000; Díaz-Guillén *et al.* 2015; Reséndiz 1997).

En las fiestas tradicionales de San Miguel de Allende, Guanajuato, desde tiempo inmemorial, el sotol ha sido utilizado para la elaboración de ofrendas como el súchil, rosas y bastones (Mendoza-García, 2013; El Charco del Ingenio, 2007). En San Marcos de León, Xicochimalco (Xico), Coatepec y Tequila, Veracruz se acostumbran a hacer arcos florales de grandes magnitudes; para cada uno se necesitan por lo menos 30 individuos (Mata, 2007 y 2014). En Las Moras, San Luis Potosí, se conmemora el *Día de la Santa Cruz*, en este día los feligreses se concentran en el panteón municipal de Mexquitic, donde se arreglan las cruces de las tumbas de los finados (Bravo y Fortanelli, 2004) con arreglos que se realizan con *D. acrotrichum* y *D. cedrosanum*; a dicho arreglo se le conoce como “flor de chimal” (M.C. Juan Antonio Reyes Agüero, comm. pers.).

Finalmente, en San Miguel Tolimán, Querétaro, en los montes cercanos a la localidad se cosechan individuos de *D. acrotrichum* y con las hojas se construye una estructura (Fig. 3) de más de 20 metros de alto denominada chimal (Estrada, s.f.; Díaz-Guillen *et al.* 2015 y Morales, 2017) el cual podría cumplir con el mismo papel que los arcos florales ya citados. Para los pobladores, esta estructura representa una ofrenda con la que agradecen el buen temporal y las lluvias al santo patrón San Miguel Arcángel (Estrada, s.f.).

Generalmente, los individuos colectados para construir este arco floral tienen una altura de 80-100 cm; las hojas deben tener un tejido duro pero flexible, por lo que los individuos que se encuentran en un estado adulto son los de interés y se utilizan solamente bases o cucharillas completamente blancas para formar la estructura del Chimal (Fig. 4) (Morales, 2017).

Para poder extraer los individuos de sotol, los encargados solicitan un permiso de extracción a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) debido a la categoría de riesgo a la que pertenece *D. acrotrichum* (Morales, 2017). Debido a la preocupación por la desaparición de esta especie en Tolimán, la comunidad creó la UMA “Xitales de San Miguel” donde se propaga sexualmente la especie, logrando que en el 2011 se reintrodujeran alrededor de 3,500 plantas de un tamaño de 10 centímetros producidas en el mismo vivero (Lic. Sandra López Morales, UMA “Xitales de San Miguel”, comm. pers.).

Figura 3. Chimal colocado junto a la Iglesia de San Miguel Tolimán, Querétaro.

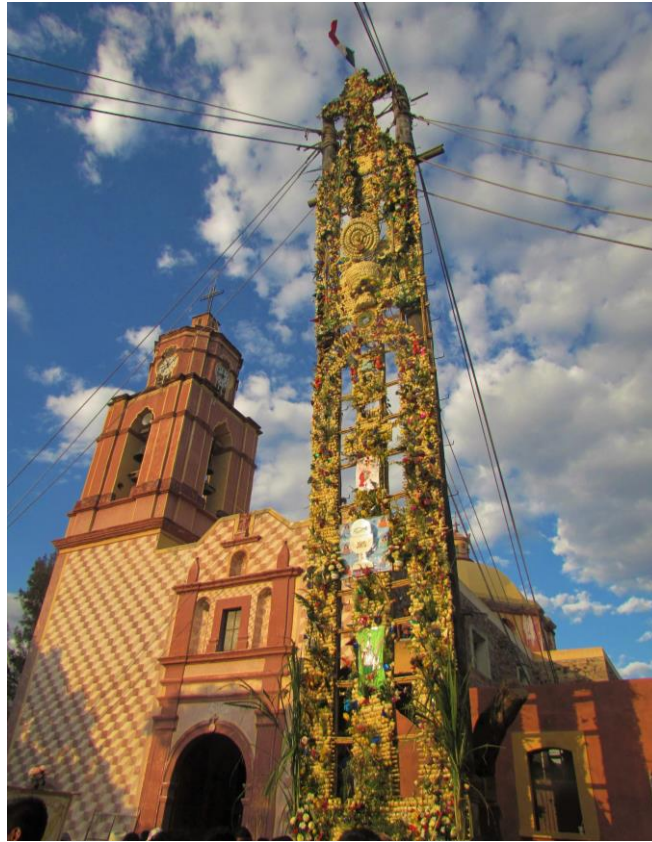


Figura 4. Cucharillas de *Dasyliirion acrotrichum* acomodadas en la estructura del Chimal.



## 2.5 Problemáticas derivadas del uso de sotoles en México

La fabricación de sotol tiene gran arraigo y tradición en el estado de Chihuahua, ya que se produce desde 1800 (Tunnell y Madrid, 1988) y para la producción de esta bebida alcohólica, los sotoles han sido extraídos de las poblaciones naturales, ocasionando que éstas hayan disminuido y no se hayan podido reestablecer en los últimos 15 a 20 años y son cada vez son más raras las poblaciones densas y se tiene que recorrer mayores distancias para encontrarlas (Sierra *et al.* 2008).

Por otro lado, la principal problemática derivada del uso del uso del sotol para construir arcos florales en festividades religiosas patronales de México, es la cantidad de individuos maduros y posiblemente reproductivos que se extraen de los montes y matorrales; para construir un solo arco floral se necesitan por lo menos 30 plantas (Mata, 2014). Se estima que en la festividad en Tolimán, Querétaro se extrae un total de 84 plantas, incluyendo las que se utilizan para construir el chimal y las empleadas durante las velaciones u oraciones. Sin embargo, el número se puede elevar hasta 100 debido la variedad en el método de extracción por los encargados, ya que se cosechan plantas adultas reproductivas, como no reproductivas, femeninas y masculinas, con y sin escape (Morales, 2017).

Esta situación ya causa preocupación entre los propios mayordomos (encargados de la logística de las festividades religiosas) de algunas comunidades que realizan la fiesta (Mendoza-García, 2013), pues si se detiene la extracción del sotol para la construcción de arcos florales debido a la poca abundancia de la especie, no tendría sentido realizar ofrendas de plástico, y si se realizasen, su significado sería diferente (Estrada (s.f.) y Morales (2017).)

Para cualquier fin, la extracción intensiva del sotol de las poblaciones silvestres que se lleva a cabo sin regulación y sin reintroducción y cuyas poblaciones presentan bajo reclutamiento, podría ocasionar la extinción local de la especie a corto plazo; ya que al realizar la simulación de extracción de individuos adultos de *D. acrotrichum* y disminuir su fecundidad, se muestra que la población decrece, lo que prueba que si existe un impacto del saqueo intensivo sobre las poblaciones (Rozzi *et al.* 200;1Matthies *et al.* 2004; Morales, 2017).

Esta situación genera la necesidad de recuperar o restituir la cubierta vegetal mediante la repoblación forestal (Serrato y Díaz 1998), asistir el reclutamiento natural de la especie, así como de implementar planes de manejo de los recursos naturales, especialmente de los PFNM, bajo un esquema sustentable (Martínez 2013). Sin embargo, el conocimiento científico de aspectos ecológicos de las poblaciones, comunidades y el medio físico donde crecen las especies del matorral xerófilo es aún insuficiente, ya que aún se desconoce el tiempo necesario para que una planta de sotol germine, se establezca y pueda alcanzar su madurez bajo condiciones naturales; lo cual limita la planeación de estrategias de conservación de las poblaciones aprovechadas (Martínez 2013). Por lo anterior, se plantean los siguientes objetivos:



### 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo fue:

Determinar los factores ecológicos que influyen en la germinación y crecimiento de *Dasyllirion acrotrichum* (Schiede) Zucc en la localidad de “El Agua Salada”, Cadereyta de Montes, Querétaro.

Los objetivos particulares fueron los siguientes:

1. Determinar si el nodricismo y la granivoría influyen en la germinación *in situ* de *D. acrotrichum*
2. Evaluar si el nodricismo disminuye la granivoría en las semillas de *D. acrotrichum*
3. Indicar si las brácteas que envuelven a las semillas de *D. acrotrichum* afectan en la germinación.
4. Estimar la dinámica de crecimiento y producción de hojas en los individuos de la población de *D. acrotrichum*
5. Proponer una temporada y estrategia para realizar reintroducción de *D. acrotrichum* en el centro del Estado de Querétaro.

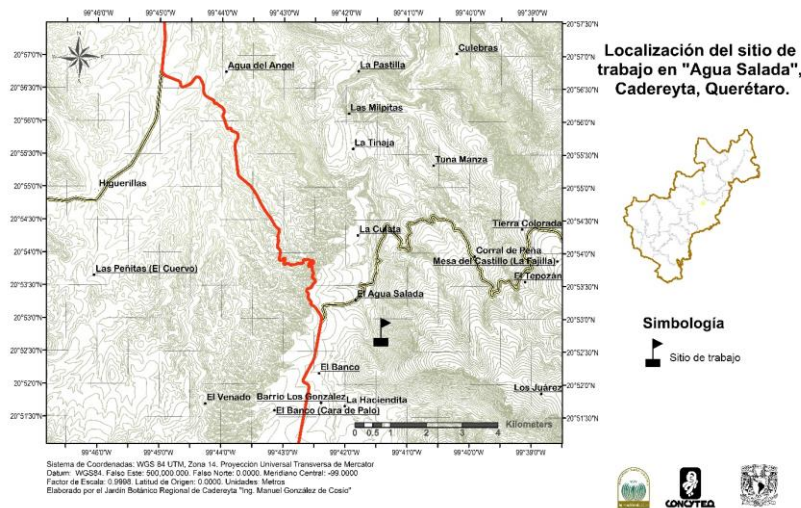
Para lo que se formulan las siguientes hipótesis:

1. Debido a la protección que brindan las plantas nodrizas en las zonas áridas, el porcentaje de germinación será mayor en las unidades experimentales colocadas bajo los tratamientos nodriza.
2. La presión de herbivoría disminuirá la germinación de *D. acrotrichum*.
3. Se presentará menor granivoría en las unidades experimentales que se encuentran bajo plantas nodrizas que en las unidades experimentales que se encuentran sin nodriza.
4. Las semillas con brácteas germinarán en un tiempo y porcentaje diferente que las semillas sin brácteas.
5. En los meses de temporada de lluvias, se presentará mayor crecimiento.
6. Debido a que el periodo de lluvias en las zonas de clima tipo B de México, se presenta regularmente entre mayo y septiembre, se espera que dentro de este lapso se identifique la mejor temporada para reintroducción de *D. acrotrichum*

#### 4. SITIO DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la localidad de El Agua Salada (20°41'28"N y 99°49'08"O), municipio de Cadereyta de Montes, en el estado de Querétaro, México (Fig. 5). El sitio se ubica a 1780 msnm y su clima del sitio es semiseco templado con lluvias de verano (Bs1kw) con una temperatura media anual de 16 a 17 °C y con una precipitación media anual acumulada de 550 a 660 mm (Gobierno del Estado de Querétaro 2009b). El tipo de suelo es litosol (Carta Edafológica E 1:250,000 INEGI) y el matorral es subinermes (Gobierno del Estado de Querétaro, 2009a).

Figura 5. Ubicación del sitio de estudio: “El Agua Salada” en Cadereyta de Montes, Querétaro. Mapa elaborado por el Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”.



A este territorio del estado de Querétaro se le conoce como Semidesierto Queretano y pertenece a la provincia florística Queretano-Hidalguense (Rzedowski, 1978) y constituye la distribución extrema del sur del Desierto Chihuahuense (Hernández y Barcenás 1995). El Semidesierto Queretano-Hidalguense se localiza en el área de confluencia de las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico, las cuales están asociadas a una



litología sedimentaria, volcánica ácida y volcánica básica, respectivamente, así como a suelos de desarrollo pobre o moderado. La vegetación regional presenta diversas variantes de matorral xerófilo (Zamudio, 1984) y en las zonas templadas se encuentran los matorrales esclerófilo y submontano, al igual que bosques de *Juniperus*, *Quercus* y *Pinus* (Zamudio *et al.* 1992).

## 5. ESPECIE DE ESTUDIO

### 5.1 Descripción morfológica.

*Dasyllirion acrotrichum* (Schiede) Zucc. (Fig. 6) pertenece a la Familia Nolinaceae (Bogler, 1994). Es una planta que mide de 40 cm a 2 m de altura, de tallo no ramificado. Las hojas miden de 30 a 60 cm de largo por 5 a 12 mm de ancho, flexibles, de color verde claro, con el ápice provisto de un mechón de fibras, margen aserrado y provisto de espinas recurvadas, a menudo estas últimas con tonos rojizos (Rzedowski, 2001). Además, las hojas son fibrosas y se ensanchan en la base, tomando la forma de una amplia cuchara (Bogler, 1994), es posible que por esto se le conozca como “cucharilla”.

El fruto es una cápsula indehisciente con un pericarpio alado, el cual consiste en una delgada capa transparente de tres alas o brácteas que ayudan a su dispersión por el viento. La forma de la semilla es esferoide, con tres caras o lóbulos, las semillas de todas las especies son de color café claro a café oscuro, con superficie más o menos rugosa, presentan un ancho de 2 a 3 mm y son ligeramente más largas que anchas. El embrión es cilíndrico y recto, se localiza en el eje central de la semilla y está rodeado por una delgada capa de endospermo (Bogler, 1994; Hernández, 2008; Melgoza y Sierra, 2003; Robles-Esparza *et al.* 2012; Sierra *et al.* 2008; SEMARNAT-CONAFOR, s. f.; Vega *et al.* 2006).

Figura 6. *Dasyilirion acrotrichum* en el sitio de estudio



## 5.2. Reproducción

El sotol es una planta dioica, iterópara, perenne (Melgoza y Sierra-Tristán 2003) y de longevidad variable; se sabe de plantas que han sobrevivido más de 150 años en condiciones de invernadero (López Barbosa, 2005). Desde la germinación hasta la primera floración transcurren aproximadamente de 12 a 15 años (Reyes-Valdés *et al.* 2012). La inflorescencia del sotol se desarrolla en una estructura llamada escapo o garrocha, y no es posible distinguir el sexo de una planta sino tiene escapo floral (Reyes-Valdés *et al.* 2012). Cuando la inflorescencia es estaminada presenta un color amarillo brillante y cuando la inflorescencia es pistilada presenta en sus flores un color verde o púrpura (Hernández, 2008).

La floración no ocurre todos los años (Reyes-Valdés *et al.* 2012) y en ocasiones ocurre sólo en una parte de los individuos que integran la población total, y varía entre regiones de un año a otro e incluso dentro del mismo año (Bogler, 1994); probablemente lo mismo sucede con la fructificación. La inflorescencia femenina es capaz de generar de 0.25 a 2.7 kg de semillas,

en promedio se pueden contar 95,000 semillas por kilogramo (Sierra-Tristán *et al.*, 2008). De acuerdo con Reyes-Valdés *et al.* (2012) los factores climáticos; mayormente la precipitación, parecen ser críticos para que ocurra el proceso reproductivo ya que han observado que en los años con menos precipitación, la floración del sotol disminuye o simplemente no ocurre. Esto indica que hasta ahora se desconoce en qué momento se forman los primordios florales y el efecto del déficit de agua sobre el metabolismo de las plantas y sobre la formación de estructuras florales.

De acuerdo con observaciones hechas en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta (Sánchez *et al.* 2011) la floración de *D. acrotrichum* ocurre en los meses de abril y mayo, la fructificación en febrero y marzo (Terrones *et al.* 2004). Las observaciones de Cano *et al.* (2013) realizadas en el área de distribución del sotol para el estado de Coahuila, indican que en general, la floración del sotol se presenta desde abril a julio y los frutos suelen madurar en el periodo de agosto-septiembre (Cano, 2006). Cuando los frutos se encuentran maduros caen por sí solos al agitarse el escapo y presentan un color castaño claro (Sánchez *et al.* 2011).

Hasta ahora no existe una base contundente que sustente la participación de insectos en el proceso de polinización del género *Dasylyrion* spp (Henrickson y Johnston, 1986). Se ha sugerido que el viento contribuye eficientemente al traslado de grano de polen de la flor masculina a la flor femenina (Cruz-Requena *et al.* 2007; Reyes-Valdés *et al.* 2012).

### **5.3 Ciclo de vida**

En el estudio de Morales (2017), se realizó una estructura de tallas de una población de *D. acrotrichum* en la localidad de El Agua Salada en Cadereyta de Montes, Querétaro (Tabla 1). En él se indicó que la categoría que presenta un tamaño de 41-50 cm, es aquella que contiene la mayor cantidad de individuos y la categoría que presenta de 71 a 101 cm, es la que presenta individuos reproductivos. Esta misma categoría fue la que contribuyó con más frutos a la población y presenta el valor reproductivo más alto (Fig. 7).

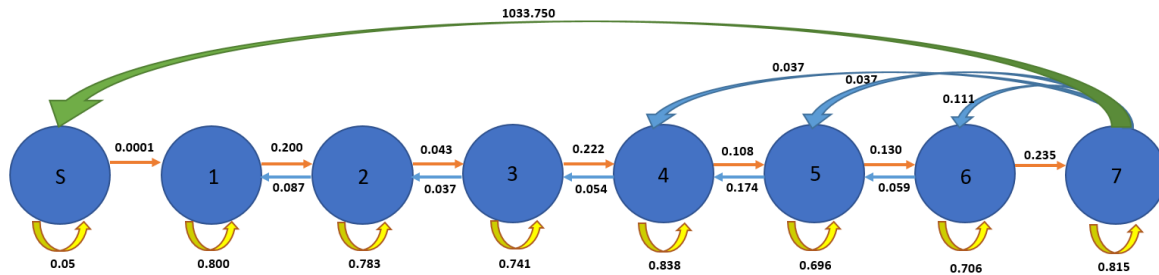
El valor más alto de permanencia dentro del ciclo de vida (Fig.7) se encontró en la categoría que presenta una talla de 41-50 cm, con un valor superior al 80% y el valor más pequeño fue la probabilidad de pasar de ser una semilla a una plántula (Morales 2017). El

análisis de sensibilidades en el mismo estudio mostró que la transición de semilla a plántula es el cambio que presenta un impacto mayor en  $\lambda$ . En este mismo, el análisis de elasticidad indicó que las categorías que presenta una talla de 41-50 cm y 71-101 cm, contribuyeron con el 15% y 20% de permanencia en la población respectivamente.

Tabla 1. Categorías de tamaño y número de individuos reproductivos para la población de *D. acrotrichum* en la localidad de Agua Salada (Morales, 2017).

<b>Categoría</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Número de individuos no reproductivos</b>	<b>Número de individuos reproductivos</b>
1	1 – 20	6	-
2	21 – 30	20	-
3	31 – 40	23	-
4	41 – 50	42	-
5	51 – 60	22	-
6	61 – 70	18	-
7	71 – >101	28	10

Figura 7. Diagrama de ciclo de vida de *Dasyilirion acrotrichum* para la población de Agua Salada. La producción de semillas se ve indicada con la flecha verde localizada en la parte de arriba del diagrama. Las flechas amarillas indican la permanencia de los individuos. Las flechas azules indican las regresiones, mientras que las líneas anaranjadas indican crecimiento de una categoría a otra.



#### 5.4. Distribución geográfica.

El género *Dasyilirion* spp comprende cerca de 16 especies distribuidas en las zonas áridas y semiáridas hasta pequeñas poblaciones en bosques templados en México y Estados Unidos (Reyes-Valdés *et al.* 2012 y Cano *et al.* 2013), aunque las principales comunidades vegetales en las que se localiza son matorral desértico rosetófilo, zonas de pastizal y matorral submontano (Cano *et al.* 2013). En Estados Unidos la distribución de este género comprende desde el sureste y la región del Desierto Chihuahuense en México (Reyes-Valdés *et al.* 2012) en los estados de Zacatecas, Durango, Coahuila, Sonora y Chihuahua (Cano *et al.* 2013), Querétaro (Estrada, s.f.; Díaz-Guillen *et al.* 2015 y Morales, 2017), Puebla (Haeckel, 2008 y Mata, 2014), Veracruz (Mata, 2007 y 2014), Guanajuato (Mendoza-García, 2013) y Oaxaca (Reyes-Valdés *et al.* 2012).

Las poblaciones de sotol (*Dasyilirion* spp) se distribuyen en un rango de altitud que oscila entre 1,000 y 2,000 m.s.n.m., entre la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental (Cano *et al.* 2013). Se localizan en regiones con humedad relativa muy baja, régimen irregular y escaso de lluvias que normalmente coinciden con la época más cálida del año, suelos con diversos grados de salinidad y con escasa materia orgánica (Reyes-Valdés *et al.* 2012). Además, *Dasyilirion acrotrichum* es endémica de las regiones del centro de México (Galván, 2001).

## 5.5 Estado de protección.

De acuerdo a la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES), ninguna especie del género *Dasylirion* es protegida a escala mundial en términos legales (Golubov *et al.* 2007), sin embargo, *D. acrotrichum* se encuentra dentro de la categoría Amenazada (A) en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que podría llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones, como podría ser la extracción de comunidades vegetales para la realización de ofrendas, cambio de uso de suelo o como cualquier otro uso (SEMARNAT, 2010).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6. 1. Colecta de semillas

Se realizaron dos colectas de frutos dentro de la población de *D. acrotrichum* del sitio de estudio. En la primera se colectaron manualmente frutos de las inflorescencias de seis plantas madre que se encontraban disponibles en septiembre de 2015, a fin de utilizar las semillas para experimentos de germinación *in situ*.

Para evaluar la influencia de las brácteas en la germinación se llevó a cabo una segunda colecta en octubre de 2016; se colectaron frutos de la inflorescencia de una única planta madre que se encontraba disponible. Se tomó el escapo con ambas manos y se agitó con fuerza moderada, y se recogieron los frutos que se encontraban en el suelo.

### 6.2. Evaluación de la germinación y granivoría bajo nodriza

En este experimento *in situ* se removieron las brácteas de todos los frutos empleados con el fin de eliminar a aquellos que se encontraban vacíos o posiblemente enfermos (Sierra *et al.* 2004). El objetivo de este experimento fue determinar: (a) si la presencia de la nodriza y la granivoría influyen en la germinación de las semillas de *D. acrotrichum* y (b) si las nodrizas protegen de la granivoría a las semillas. Se emplearon como unidades experimentales contenedores cónicos de celulosa de 4 x 4 cm rellenos con un sustrato estéril de tierra negra con tepojal en proporción 1:1. El diseño experimental fue un factorial de 2 x 2, completamente al azar (Fig. 8). Actuaron los siguientes factores:

- Nodricismo, que se evaluó a dos niveles: Bajo planta nodriza y sin planta nodriza (sitios abierto)
- Herbivoría, que presentó dos niveles: Con exclusión (malla de tela tul traslucida) y sin exclusión (sin malla de tela de tul traslucida), esto se realizó para evitar que los granívoros se llevaran las semillas.



En cada contenedor se colocaron 4 semillas y se realizaron 50 repeticiones por tratamiento, dando un total de 200 contenedores cónicos de celulosa y  $N=800$  semillas La malla es de algodón. Los tratamientos fueron:

- Contenedores cónicos de celulosa con exclusión de herbívoros y colocados bajo plantas nodrizas (malla translúcida protegiendo cada contenedor);
- Contenedores cónicos de celulosa sin exclusión de herbívoros y colocados bajo plantas nodrizas (sin malla);
- Contenedores cónicos de celulosa con exclusión de herbívoros y sin plantas nodrizas;
- Contenedores cónicos de celulosa sin exclusión de herbívoros y sin plantas nodrizas.

Las unidades experimentales que presentaban exclusión de herbívoros protegían a las semillas de depredación, esto permitió que fungieran como control ya que las semillas consumidas en estas unidades experimentales fue 0. Se trazaron dos transectos de 60 m cada uno y aproximadamente cada 5 m se colocaron las unidades experimentales, bajo arbustos nodrizas que se encontraban sobre el mismo. Los contenedores cónicos sin nodriza fueron situados próximos a los colocados bajo nodriza, en sitios abiertos; el experimento fue colocado en noviembre de 2015.

Entre noviembre 2015 y 2016, el experimento fue revisado mensualmente. Se observó remoción frecuente de las semillas durante los primeros meses de muestreo, por lo que a partir del tercer mes se repusieron las semillas que se observaron que faltaban en las unidades experimentales sin exclusión de herbívoros en cada mes. Es decir, si faltaban dos semillas de cuatro en una unidad experimental, se repusieron dos semillas.

### **Análisis estadísticos.**

Se realizó un Modelo Lineal Generalizado (GLM) de distribución binomial, *logit*, con un valor de error de 0.05 en el software JMP versión 10 con el fin de evaluar la proporción de germinación que ocurrió exclusivamente en aquellas unidades experimentales que se

encontraban bajo nodrizas (con y sin exclusión) debido a que la germinación sólo ocurrió en estos sitios, adicionalmente se obtuvo la proporción de germinación media por tratamiento.

Posteriormente, se realizó un segundo GLM de distribución Poisson, *log*, con un valor de error de 0.05 en el mismo software para evaluar la granivoría en aquellas unidades experimentales bajo el factor nodriza (con y sin), y sin exclusión de herbívoros, ya que no se evaluó depredación en aquellas unidades que presentaban exclusión de herbívoros. Se obtuvo también el promedio del número de semillas depredadas en estos tratamientos (Infante y Zárate de Lara, 1991). No se evaluó la interacción entre ambos factores debido a que la granivoría en las unidades con nodriza y con exclusión de herbívoros fue nula, ocurriendo lo mismo con la germinación en las unidades que se encontraban sin nodriza.

Figura 8 Unidades experimentales en el sitio de estudio, se puede observar la malla blanca protegiendo a las semillas de herbivoría y también modificando su calidad y cantidad de radiación, generando un micrositio.



### **6.3. Influencia de las brácteas sobre la germinación.**

Los frutos de *D. acrotrichum* están formados por brácteas y una semilla que forma una cápsula trivalada, por lo que para analizar cómo influyen las brácteas sobre la germinación se realizó un experimento factorial de 1 x 2. Actuó como factor la escarificación, esto es la eliminación de las brácteas, y se evaluó a dos niveles: con y sin escarificación. Por lo que se evaluaron dos grupos, el primero fueron los frutos enteros, es decir frutos sin escarificación y el segundo estuvo formado por solamente las semillas, es decir, frutos con escarificación, se realizaron cuatro repeticiones para cada grupo. De esta manera un tratamiento estaba formado por  $n=80$  frutos sin escarificación colocados en 4 charolas, 20 frutos en cada una y en el segundo tratamiento se encontraban  $n=80$  frutos con escarificación repartidos en 4 charolas con 20 semillas cada una.

Funcionaron como unidades experimentales charolas de PET de 15 x 13 x 8 cm aproximadamente con un sustrato estéril compuesto de tierra negra y tepojal en proporciones 1:1. El experimento se llevó a cabo una semana después de colectar los frutos, en octubre de 2016. Las semillas fueron enterradas en el sustrato aproximadamente a 1 cm de profundidad y separadas 2 cm entre sí. Se colocaron las charolas en una cámara ambiental marca “Lab-Line Biotronette”, a 25 °C, con un fotoperiodo de 12h/12h y se revisaron cada 3 días durante 25 días, y fueron irrigadas tres veces por semana a saturación de campo.

#### **Análisis estadístico**

Finalmente se evaluó este experimento con una prueba de *t* de Student para muestras independientes por variables en el software STATISTICA versión 8, con un valor de significancia de 0.95 (Infante y Zárate de Lara, 1991).

Figura 9. Se muestran los frutos de *D. acrotrichum*, a la izquierda se muestran los frutos sin escarificación y a la derecha los frutos con escarificación.



Frutos sin escarificación



Frutos con escarificación

#### 6.4. Dinámica de crecimiento de población establecida

Con el fin de determinar la dinámica del crecimiento en la población de *D. acrotrichum* de la localidad de El Agua Salada, se seleccionaron 36 individuos aleatoriamente en el mes de agosto de 2015 y fueron evaluados cada dos meses de agosto de 2015 a octubre de 2016.

A cada individuo se le evaluaron las siguientes variables asociadas al crecimiento (Figs. 10 y 11.), utilizando un flexómetro: altura de la planta (mm), número de hojas totales producidas, altura y ancho de las hojas nuevas (mm), número de hojas nuevas producidas, longitud y ancho de la hoja más larga (mm). Las hojas nuevas son aquéllas que se encuentran formando un macollo en el centro del individuo, y son ligeramente más claras que el resto de las hojas. En cada revisión bimestral se cortó un centímetro de la punta de las hojas nuevas evaluadas con tijeras de jardinero, esto para marcarlas y evitar recontarlas en la siguiente revisión. Se muestra a continuación la forma en la que se midieron los individuos de *D. acrotrichum* (Fig. 9 y 10).

Figura 10. Diagrama que muestra cómo se evaluó el crecimiento de *D. acrotrichum*. Se indica la forma en la que las variables asociadas al crecimiento: número de hojas totales, altura de la planta, longitud de la hoja más larga, ancho de la hoja más larga fueron medidas.

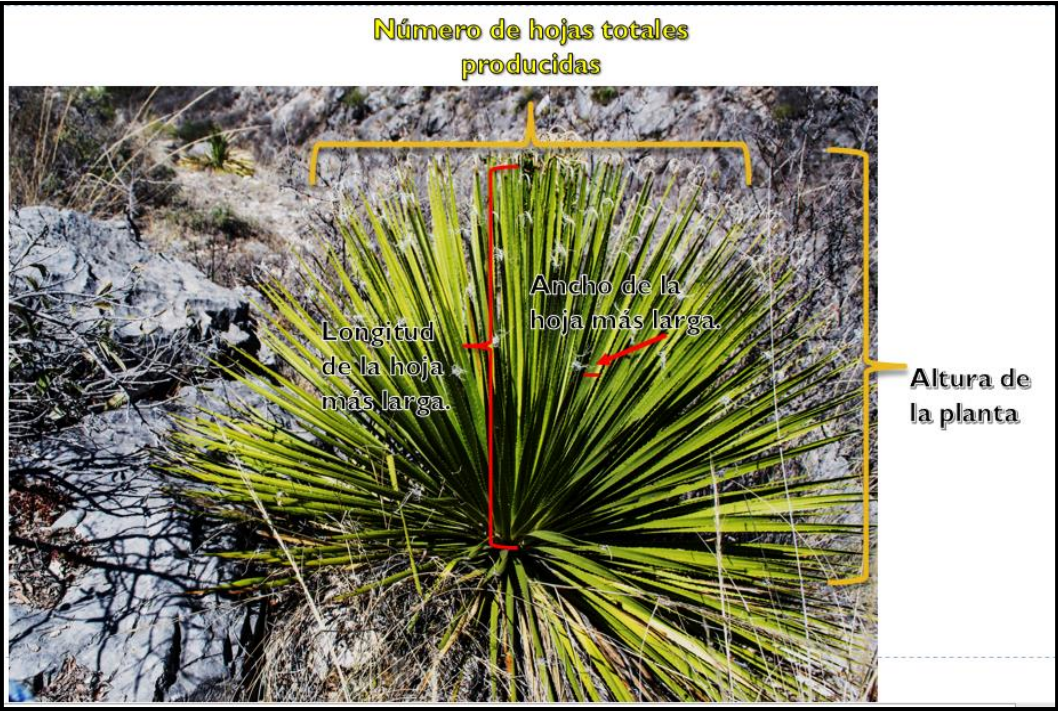




Figura 11. Diagrama que muestra cómo se evaluó el crecimiento de *D. acrotrichum*. Se indica la forma en la que las variables asociadas al crecimiento: número de hojas nuevas producidas, altura de las hojas nuevas y ancho de las hojas nuevas fueron evaluadas.



### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se emplearon los siguientes paquetes: “lattice”, “deSolve” y “growrates”, “psych” ver.1.7.8 y “PerformanceAnalytics” ver. 1.4.3541 del lenguaje de R ver. 3.4.3 (R Development Core Team, 2007).

Se generó una matriz de correlación de Spearman por cada mes de muestreo, obteniendo de esta forma los valores de correlación entre cada una de las variables asociadas al crecimiento (altura, número de hojas totales, altura de las hojas nuevas, número de hojas nuevas, ancho de las hojas más largas y longitud de hojas más largas) y su respectivos valores de probabilidad. Se identificaron las variables que presentaron valores de  $\rho > 0.70$  y  $P < 0.05$  de correlación ( $\rho$ )

y su consistencia a lo largo del periodo de evaluación. Se realizaron correlaciones de Spearman debido a que los datos no presentaron una distribución normal y algunos de las variables son de tipo discretas

Posteriormente, se realizó una matriz de correlación de Spearman con los valores de la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de cada una de las variables asociadas al crecimiento por individuo; se obtuvo una matriz por cada par de meses para evaluar el crecimiento bimestral (Ago15-Nov15, Nov15-Ene16, Ene16-Mzo16, Mzo16-May16, May16-Jul16 y Jul16-Oct16), así como sus respectivos valores de correlación y probabilidad. A continuación, se seleccionaron las variables que presentaron valores de  $\rho > 0.7$  y  $P < 0.05$  de correlación ( $\rho$ ) y su consistencia a lo largo del periodo de evaluación.

Se calculó la TRC de cada individuo y de cada una de las variables asociadas al crecimiento bimestralmente. La TRC es la medida principal del análisis de crecimiento y se define como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y tiempo (Villar *et al.* 2008). En este estudio, las biomasa se expresaron como los valores que tomaron las variables asociadas al crecimiento evaluadas. No se realizó la cosecha de los individuos debido a la categoría en la que se encuentra la especie (NOM-059-SEMARNAT-2010).

La ecuación para calcular la TRC es la siguiente:

$$RGR = \frac{(\ln B_2 - \ln B_1)}{(t_2 - t_1)} \text{ (ecuación 1)}$$

Donde:

B<sub>2</sub>: Biomasa en el tiempo 2

B<sub>1</sub>: Biomasa en el tiempo 1

t<sub>2</sub>: Tiempo 2

t<sub>1</sub>: Tiempo 1

Siendo Biomasa  $B_2$  y  $B_1$ : la altura de la planta (mm), número de hojas totales producidas, altura y ancho de las hojas nuevas (mm), número de hojas nuevas producidas, longitud y ancho de la hoja más larga (mm) en los tiempos dos ( $t_2$ ) y uno ( $t_1$ ). El tiempo fueron los días que pasaron entre cada evaluación. Se aplicó el logaritmo natural a cada valor de biomasa por cada individuo.

Tras identificar a las variables de crecimiento significativo, se obtuvieron sus valores correspondientes al análisis de regresión lineal ( $r^2$ ,  $r$ ,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $F$  y confianza de 0.95), el cual relacionó las variables asociadas al crecimiento significativas y el periodo de evaluación.

### **6.5. Propuesta de reintroducción de *D. acrotrichum***

Con el fin de brindar recomendaciones sobre la reintroducción de *D. acrotrichum*, se prosiguió a indicar la temporada en donde se presentara mayor precipitación y humedad relativa media,, para lo que se descargaron los datos de temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa media (%) y precipitación pluvial media mensual (Pmm) del 2015 y 2016 del sitio web de la Estación Meteorológica Tolimán (<https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IQUERETA46>), la cual se encuentra en las coordenadas  $20^{\circ}54'21.66''$  N y  $99^{\circ}55'58.8''$  O a 1 566 m s.n.m. Posteriormente, se obtuvieron los promedios y desviaciones estándar de todos los meses del año del 2015 y 2016 de las variables ambientales antes mencionadas.



## 7. RESULTADOS

### 7.1. Evaluación de la germinación y granivoría bajo nodriza

Los resultados del GLM indicaron que existen diferencias significativas en la germinación entre los tratamientos de nodriza con y sin exclusión de herbívoros. Los tratamientos con nodriza y con exclusión de herbívoros resultaron ser significativamente diferentes ( $X^2= 23.38$ ,  $P=<0.0001$ ,  $g.l.=1$ ). Aunque la respuesta es significativa, la proporción de germinación es muy baja. No se incluyeron los tratamientos sin nodriza (A) debido a que la germinación en estos sitios no ocurrió (Tabla 2), mientras que en los tratamientos con nodriza (N), se determinó que el mayor promedio lo obtuvo los tratamientos con exclusión de herbívoros ( $0.03 \pm 0.016$  prop. germinación) que los tratamientos sin exclusión ( $0.0005 \pm 0.005$  prop. germinación).

Tabla 2. Germinación de *D. acrotrichum* por tratamiento de nodriza y herbivoría. Se indica en la tabla la proporción de germinación media, desviación estándar, y error estándar de la germinación que ocurrió en las unidades experimentales colocadas en el sitio de estudio.

<b>Nodriza</b>	<b>Herbivoría</b>	<b>Núm. Unidades experimentales</b>	<b>Proporción de germinación media (promedio <math>\pm</math> desviación estándar)</b>	<b>Error estándar</b>
S	Sin nodriza con exclusión (SC)	50	0	0
S	Sin nodriza sin exclusión (SS)	50	0	0
N	Nodriza con exclusión (NC)	50	$0.03 \pm 0.48$	0.02
N	Nodriza sin exclusión (NS)	50	$0.0005 \pm 0.14$	0.0005

En cuanto a la granivoría, se encontraron diferencias significativas en la depredación de semillas sin nodriza ( $\chi^2=30.91$ ,  $p<0.001$ ,  $g.l.=1$ ). La media de las semillas depredadas en sitios abiertos o sin nodriza ( $27.26 \pm 0.85$ ) fue mayor que la media de semillas depredadas con nodriza ( $21.76 \pm 0.994$ ) (Tabla 3), lo que indica que el dosel de las plantas es un factor que disminuye la granivoría.

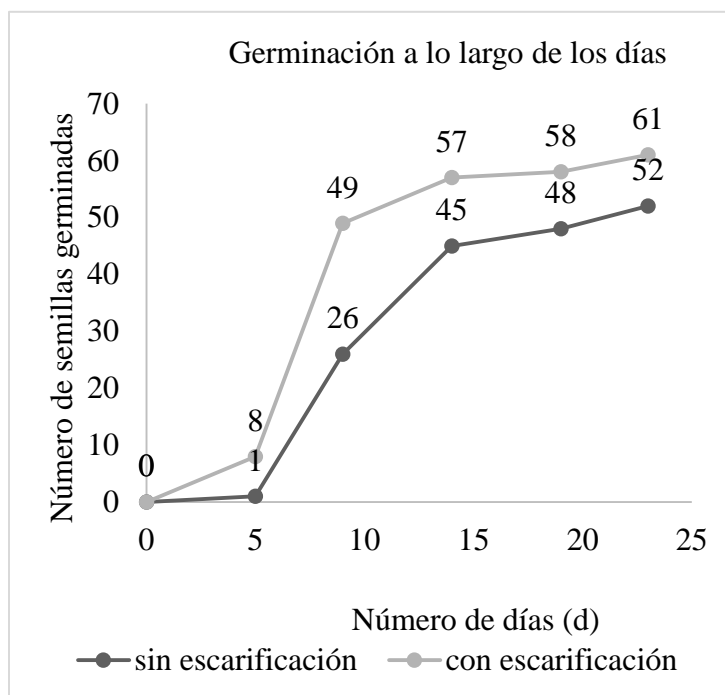
Tabla 3. Respuesta de la granivoría con y sin nodriza. Se muestra en la tabla la media de semillas depredadas y error estándar que ocurrió en aquellas unidades experimentales en sitios con y sin nodriza.

Nodriza	No. Unidades experimentales	Media de semillas depredadas (promedio $\pm$ desviación estándar)	Error estándar
Sin nodriza sin exclusión	50	27.26 $\pm$ 6.07	0.86
Nodriza sin exclusión	50	21.76 $\pm$ 7.04	0.99

## 7.2 Influencia de las brácteas sobre la germinación

No se encontraron diferencias significativas en la germinación entre los grupos sin escarificación (frutos enteros) y con escarificación (semillas solas) ( $t = -0.68$ ,  $g.l. = 10$ ,  $p= 0.50$ ). De las 80 semillas disponibles para cada tratamiento, 65.00% de los frutos y 76.25% de las semillas germinaron. Aunque no hay diferencias significativas, se observa que el grupo de frutos con escarificación germinaron en los primeros días en comparación con los frutos enteros y sin escarificación (Fig.12).

Figura 12. Curva de germinación de las semillas *D. acrotrichum* con y sin brácteas



### 7.3. Dinámica de crecimiento de población establecida

La altura de la planta y la hoja más larga fueron las únicas variables que mostraron valores de correlación de Spearman, que fueron significativas ( $P < 0.05$ ) y consistentes a lo largo de los meses de muestreo ( $\rho_{\text{ago}} = 0.88$ ,  $\rho_{\text{nov}} = 0.94$ ,  $\rho_{\text{ene}} = 0.95$ ,  $\rho_{\text{mar}} = 0.92$ ,  $\rho_{\text{may}} = 0.91$ ,  $\rho_{\text{jul}} = 0.91$ ,  $\rho_{\text{oct}} = 0.89$ ). Respecto a la TRC, la altura de la planta y la hoja más larga fueron también las únicas variables asociadas al crecimiento que mostraron valores de correlación de Spearman significativas ( $P < 0.05$ ) y consistentes a lo largo de los meses evaluados ( $\rho_{\text{ago-nov}} = 0.64$ ,  $\rho_{\text{nov-ene}} = 0.70$ ,  $\rho_{\text{ene-mzo}} = 0.51$ ,  $\rho_{\text{mzo-may}} = 0.59$ ,  $\rho_{\text{may-jul}} = 0.54$ ,  $\rho_{\text{jul-oct}} = 0.54$ ).

Las variables que muestran una tendencia fueron el número de hojas nuevas, altura de hojas nuevas y ancho de hojas nuevas (Fig. 13 c y d, Fig. 14 e), se observa que al aumentar el número de bimestres, la TRC aumenta, sin embargo tanto la gráfica del número de hojas nuevas y ancho de hojas nuevas presenta una alta dispersión. En el resto de las otras gráficas no se

muestra una tendencia o comportamiento. A continuación se describen los comportamientos de las gráficas, así como sus valores promedio y desviación estándar, los números representan los bimestres que fueron evaluados (Fig. 13 y 14).

En la Fig. 13, la TRC de la Altura de la planta (a), no presenta un aumento de crecimiento al aumentar los bimestres (1=  $0.0002 \pm 0.0013$ , 2=  $-0.0014 \pm 0.0067$ , 3=  $0.0006 \pm 0.0044$ , 4=  $0.0004 \pm 0.0035$ , 5=  $-0.000134 \pm 0.0032$ , 6=  $0.0008 \pm 0.0019$ ). La TRC del número de hojas totales (Fig. 12 b) tampoco presenta una tendencia (1=  $0.0021 \pm 0.0050$ , 2=  $-0.0026 \pm 0.0111$ , 3=  $0.0010 \pm 0.0091$ , 4=  $0.0019 \pm 0.0046$ , 5=  $-0.0007 \pm 0.004$ , 6=  $0.0017 \pm 0.0029$ ).

La TRC de la altura de las hojas nuevas (Fig. 12 c) mostró cambios significativos a lo largo del periodo de evaluación y presentó un mayor TRC de mayo a julio (1=  $-0.0068 \pm 0.0086$ , 2=  $-0.0018 \pm 0.0075$ , 3=  $-5.688e-5 \pm 0.0048$ , 4=  $-0.0027 \pm 0.0083869$ , 5=  $0.0065 \pm 0.0087$ , 6=  $-0.0001 \pm 0.0038$ ). Sus valores de TRC no se encuentran altamente dispersos en comparación con los de las otras variables. Presentó los siguientes valores de regresión:  $r^2=0.1098$   $F_{1,212}=27.27$ ,  $P<0.05$ ,  $\beta_0=-0.0082$ ,  $\beta_1=0.0016$ .

En la Figura 13 d., el número de hojas nuevas muestra una ligera tendencia a aumentar a lo largo del período de evaluación, sin embargo los valores de TRC presentan alta dispersión por lo que no es significativa (1=  $-0.0052 \pm 0.0094$ , 2=  $-0.0046 \pm 0.0113$ , 3=  $0.0033 \pm 0.0093$ , 4=  $-0.00165 \pm 0.0119$ , 5=  $-0.0014 \pm 0.0138$ , 6=  $0.0003 \pm 0.0078$ ). La TRC del ancho de las hojas nuevas (Fig. 14 e), muestra una ligera tendencia a aumentar y los valores del TRC presentan dispersión en los bimestres de evaluación (1=  $-0.0038 \pm 0.0060$ , 2=  $-0.0011 \pm 0.0048$ , 3=  $0.00082 \pm 0.0036$ , 4=  $-0.00414 \pm 0.0059$ , 5=  $0.0078 \pm 0.0072$ , 6=  $-0.0035 \pm 0.0055$ ).

En la gráfica de la TRC de la longitud de la hoja más larga (Fig 14 g) no se indica ningún comportamiento (1=  $0.0006 \pm 0.0017$ , 2=  $-0.0007 \pm 0.0051$ , 3=  $-0.00079 \pm 0.0031$ , 4=  $0.0011 \pm 0.0034$ , 5=  $-0.000427 \pm 0.0032$ , 6=  $0.0004 \pm 0.0017$ ). La TRC del ancho de la hoja más larga (Fig. 14 f) no presenta ningún comportamiento y muestra dispersión en los valores de TRC a lo largo de los meses (1=  $-0.0034 \pm 0.0053$ , 2=  $0.0065 \pm 0.0097$ , 3=  $-0.00045 \pm 0.0073$ , 4=  $-0.0070 \pm 0.0079$ , 5=  $0.0078 \pm 0.0057$ , 6=  $-0.0014 \pm 0.0052$ ).

En general, se presentaron valores promedio y desviación estándar de TRC  $<1$  en todas las variables evaluadas asociadas al crecimiento y con una alta dispersión.

Figura 13. Dispersión de los valores de la TRC de las variables asociadas al crecimiento a lo largo del periodo de evaluación. a) Altura de la planta, b) Número de hojas totales c) Altura de hojas nuevas d) Número de hojas nuevas. Los números corresponden con los bimestres, 1=Ago15-Nov15, 2=Nov15-Ene16, 3=Ene16-Mzo16, 4=Mzo16-May16, 5=May16-Jul16 y 6= Jul16-Oct16.

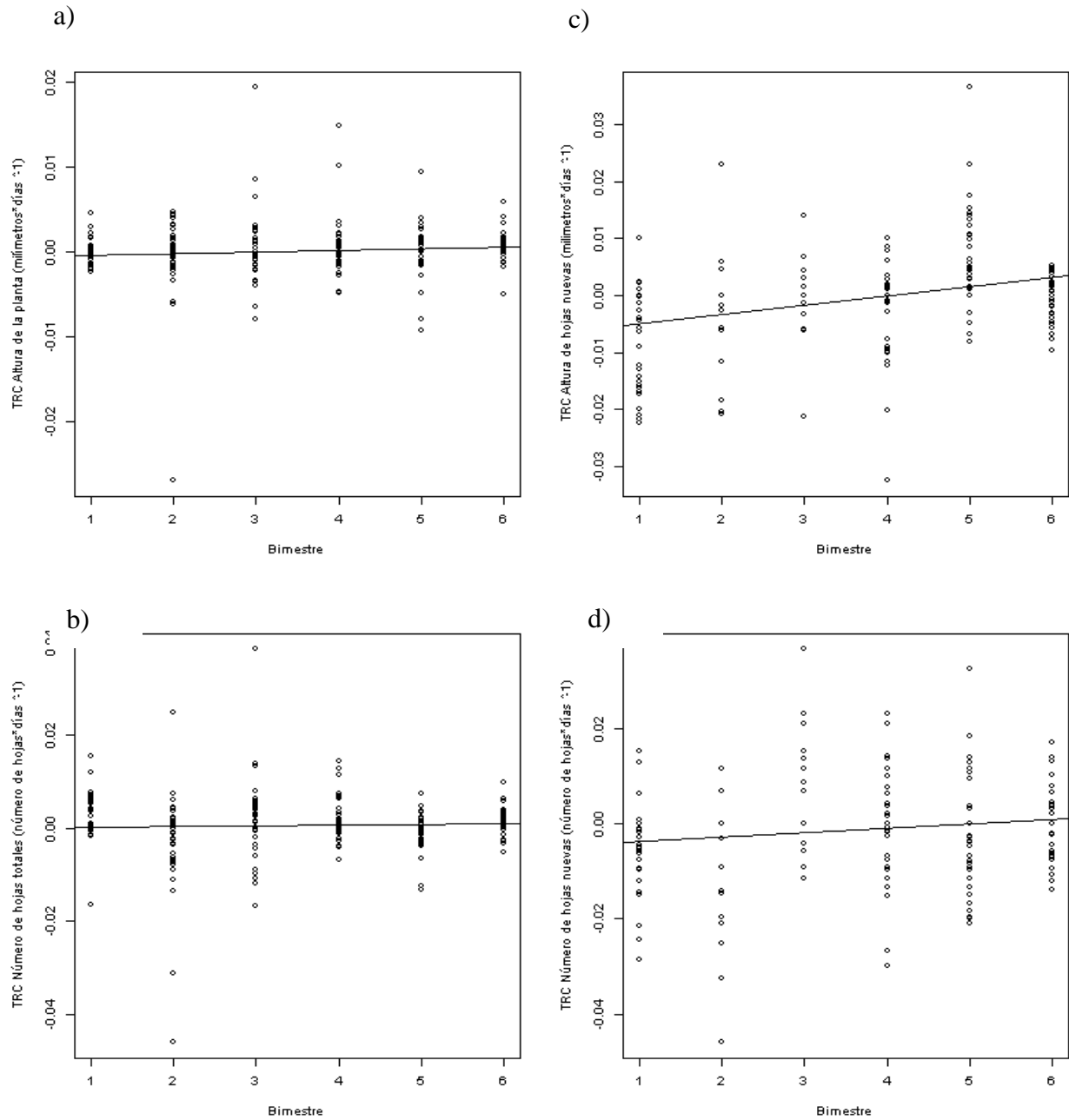
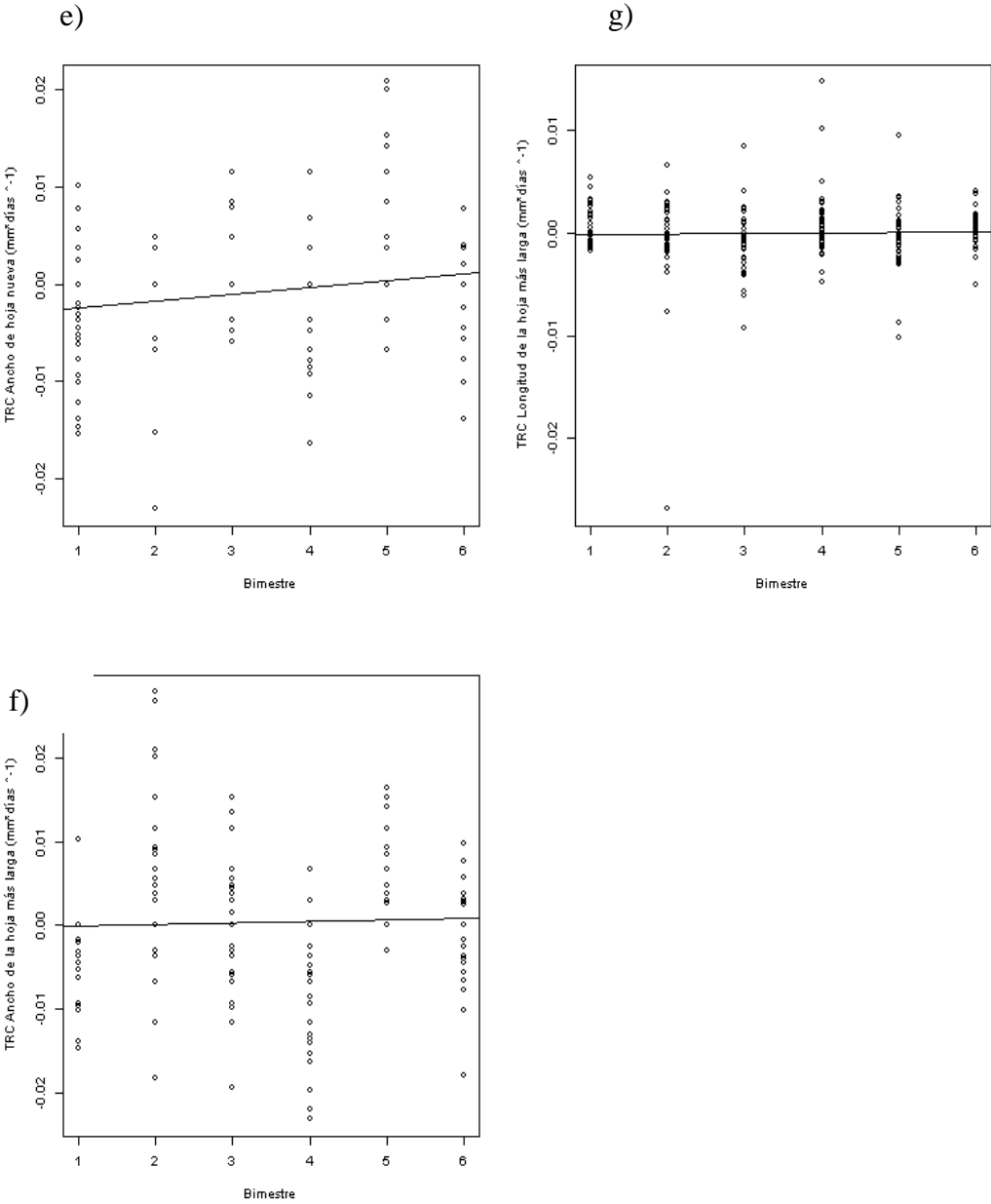


Figura 14. Dispersión de los valores de la TRC de las variables asociadas al crecimiento a lo largo del periodo de evaluación. e) Ancho de hoja nueva f) Ancho de la hoja más larga g) Longitud de la hoja más larga. Los números corresponden con los bimestres, 1=Ago15-Nov15, 2=Nov15-Ene16, 3=Ene16-Mzo16, 4=Mzo16-May16, 5=May16-Jul16 y 6= Jul16-Oct16



#### 7.4. Propuesta de reintroducción de *D. acrotrichum*.

La temperatura media promedio y su desviación estándar fue de  $20.55 \pm 2.83$  °C, se muestra en el climograma mensual promedio de 2015-2016 (Fig. 15) que la temperatura más fría ocurrió en enero ( $15.6 \pm 0.28$  °C), y en mayo la más cálida ( $23.4 \pm 2.26$ °C). El mes más seco fue diciembre ( $0.25 \pm 0.35$  mm) y el más lluvioso, agosto ( $60.7 \pm 59.25$  mm). La precipitación promedio anual fue de  $20.29 \pm 20.97$  mm.

Se muestra en el gráfico (Fig. 16) el comportamiento de la Humedad Relativa Media (%) durante 2 años; a partir de mayo se registraron los promedios más altos, ocurriendo en noviembre ( $68.9 \pm 0.02$  %) la mayor humedad relativa media y en abril la menor humedad relativa media ( $49.45 \pm 6.01$  %). Los meses adecuados para realizar la reintroducción de *D. acrotrichum* son mayo, junio, julio y agosto, en estos meses se presentaron los mayores valores de precipitación pluvial (Fig. 15) y también se presentaron valores altos de humedad relativa media (Fig. 16).

Figura 15. Climograma mensual promedio de 2015-2016 de la Estación Meteorológica Tolimán. Se muestran los promedios mensuales de temperatura (°C) y de precipitación pluvial media mensual (mm).

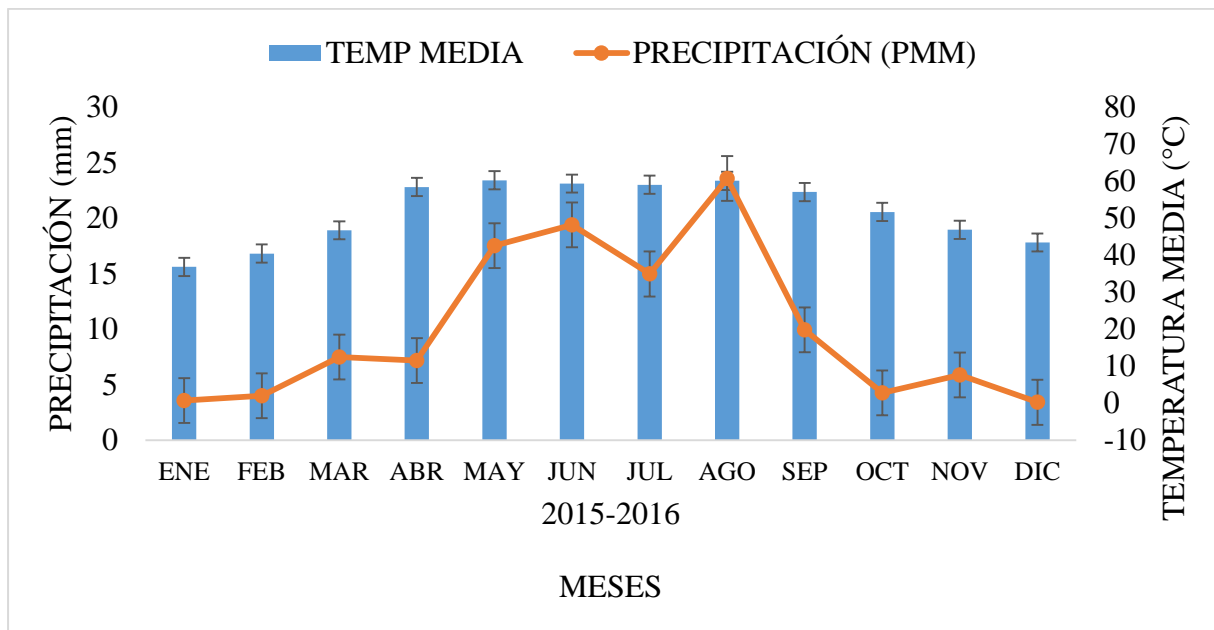
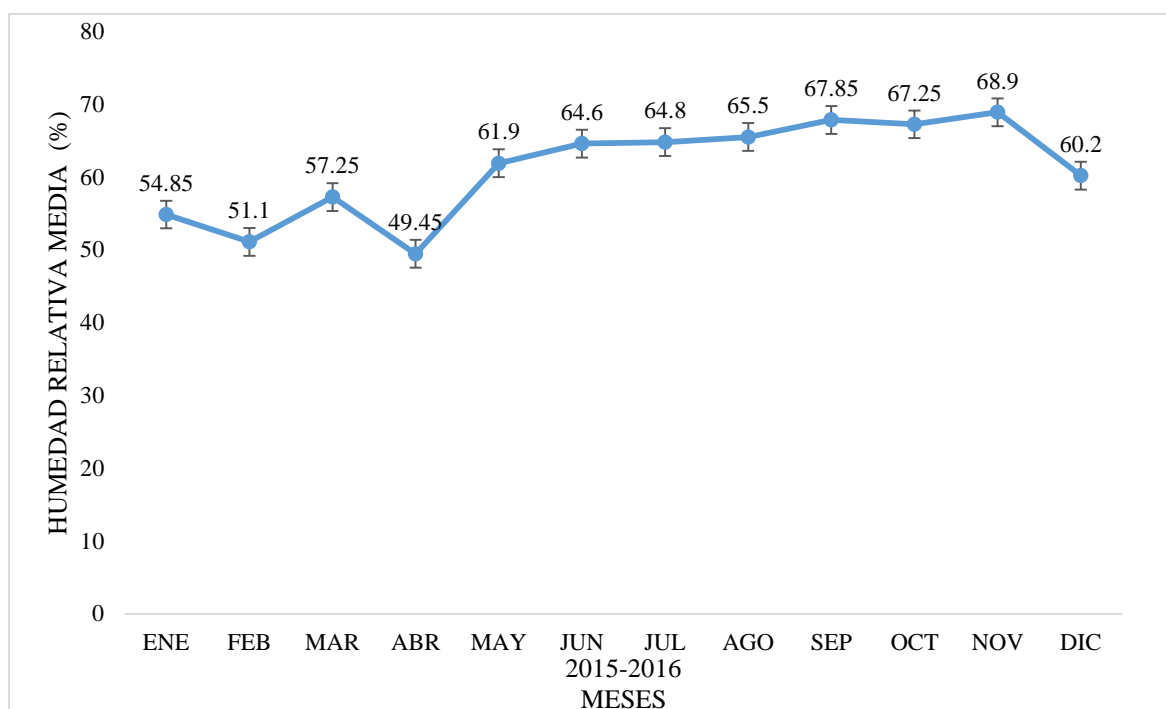




Figura 16. Comportamiento del promedio de la Humedad Relativa Media (%) de 2015-2016 de la Estación Metereológica Tolimán.



Se muestra a continuación una breve estrategia de reintroducción:

La reintroducción deberá realizarse en temporada de lluvias y se recomienda reintroducir plantas provenientes de semillas de diferentes poblaciones de sotol (Godefroid *et al.* 2011) o realizar reintroducción mediante semillas (dispersión artificial) como se realizó en la sección (Ver Sección de Método: evaluación de germinación y granivoría bajo nodriza). De acuerdo con Sierra *et al.* 2008, la recuperación de las poblaciones de sotol a través de la dispersión artificial no ha tenido éxito y las plantaciones de sotol en cerros y lomeríos han presentado bajos porcentajes de establecimiento debido a la falta de humedad, daño por roedores y lagomorfos (Sierra *et al.* 2004). Por lo anterior, las unidades o conos donde se realice la reintroducción con semilla deberá estar protegida con malla tul blanca y las semillas se enterrarán ligeramente en el sustrato. Se quitará la protección una vez que la planta haya alcanzando un tamaño aproximado de 15 cm.

El sitio donde se hará la reintroducción deber ser uno donde no exista paso de ganado y si es posible, se protegerá de tal forma que no permita que conejos o lagomorfos se acerquen a los individuos reintroducidos o semillas. Tanto las semillas como los individuos jóvenes se colocarán bajo arbustos en las zonas donde se pretende la reintroducción, realizando orificios en el suelo con palas pequeñas, de tal manera que los arbustos actúen como nodrizas.

Cualquier proyecto de reintroducción deberá ser monitoreado a largo plazo, ya que conforme pasa el tiempo, la capacidad de producir flores y frutos disminuye (Godefroid *et al.* 2011; Maunder, 1992) y permitirá no sobreestimar el éxito de la reintroducción basándose en resultados del monitoreo a largo plazo (Godefroid *et al.* 2011). La desecación es otro factor asociado a la mortalidad (Helenurm, 1998), por lo que se recomienda que se realice riego asistido a las poblaciones reintroducidas, esto debido a la poca precipitación característica de esta vegetación y el lento crecimiento que presenta esta especie.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1. Evaluación de la germinación y granivoría bajo nodriza

Se presentaron diferencias significativas en la germinación en aquellas unidades experimentales que se encontraban bajo nodriza y con exclusión de herbívoros; presentándose un 0.03 de proporción de germinación media en estas unidades experimentales, y un 0.0005 en unidades experimentales sin exclusión, lo que quiere decir que la nodriza y la protección de herbívoros son factores que influyen en la germinación *in situ* de *D. acotrichum*.

Se indican diferencias ligeras en la germinación entre las unidades experimentales, siendo mayor en aquellas que presentan exclusión. La exclusión de herbívoros y la nodriza probablemente aumentaron la germinación al disminuir la presión por granivoría (Drezner y Garrity, 2003; Drezner, 2006; Niering *et al.* 1963; McAuliffe 1984; Valiente-Banuet *et al.*, 1991; Zúñiga *et al.*, 2005).

Al evaluar la granivoría se indicaron diferencias significativas, siendo mayor en los sitios sin nodriza ( $27.26 \pm 6.07$ ) que en aquellos con nodriza, por lo que la actividad de los granívoros pudo haber llevado a que no se haya presentado germinación en estos sitios ya que se ha reportado previamente que granívoros como las hormigas que se observaron en el sitio de estudio, tienen un impacto en la densidad de semillas, afectando en la germinación y posible dinámica de la población (Crawley 1989; Inouye *et al.* 1980; Reichman 1979).

Las nodrizas del sitio de estudio permitieron que germinara bajo su dosel *D. acotrichum* en las unidades experimentales aunque en muy baja proporción. Este mecanismo de facilitación ha sido descrito previamente en diversos estudios, debido a que las nodrizas con su dosel propician sombra, disminuyen la radiación solar, así como también disminuyen la presión por depredación (Drezner y Garrity, 2003; Drezner, 2006; Niering *et al.* 1963; McAuliffe 1984; Valiente-Banuet *et al.*, 1991; Zúñiga *et al.*, 2005).

La facilitación es común que ocurra en ambientes áridos debido a que en estas condiciones se encuentra limitado el desarrollo de las plantas (Flores y Jurado 2003), dando

lugar a que los fragmentos de vegetación potencialicen la supervivencia de plantas y establecimiento (Meiners *et al.* 2002). Se ha sugerido que esta interacción tenga un papel en la restauración (Bradshaw y Chadwick 1980), por lo que tendría que ser considerada dentro de estrategias de conservación.

A pesar de presentarse diferencias significativas entre los tratamientos con nodriza y exclusión de herbívoros, ambos factores en este experimento no fueron suficientes para que ocurriera la germinación de *D. acrotrichum* en una mayor proporción. Las bajas proporciones de germinación en los tratamientos de nodriza probablemente ocurrieron debido a que el embrión no encontró suficiente humedad en el sustrato de las unidades experimentales (Doneen y McGillibery 1943; Collis y Sands 1959, 1962; Collis y Hector 1966; Williams y Shaykewich 1971; Dasberg 1971).

Lo anterior se debe a que la lluvia en este tipo de vegetación es escasa e irregular, con fuertes diferencias de un año a otro (Rzedowski, 1978) y, probablemente durante los meses en los que se presentaron los menores promedios de temperatura, humedad relativa y precipitación (Figs. 15 y 16) los embriones colocados sufrieron de enfriamiento o de desecamiento, ya que generalmente las bajas temperaturas inhiben la germinación (Sierra *et al.* 2008; Doria, 2010).

Se reportan porcentajes bajos porcentajes en la categoría de plántula en el mismo género, como es el caso de *D. acrotrichum* en El Agua Salada, Cadereyta de Montes, cuya categoría de tamaño de 1 a 20 cm es la que presenta menos individuos de la población (Comm. Pers. Morales, 2017), así, como *D. cedrosanum* Trel, la cual tiene una germinación promedio de 10 plántulas por cada planta madre al esparcirse las semillas alrededor de ella (Ortega, s.f.). Lo anterior ocurre porque bajo condiciones *in situ*, las plantas perennes desérticas como el sotol presentan germinación y reclutamiento de nuevos individuos únicamente en años con lluvia extraordinaria. De esta manera, la germinación y reclutamiento que presentan plantas de zonas áridas son estadíos altamente vulnerables (Noy-Meir, 1973; Martínez-Ramos *et al.* 2016).

Se observó que las nodrizas del sitio de estudio no presentaron hojas en la copa durante todo el tiempo de muestreo, posiblemente esto ocasiono que no se acumulara suficiente

humedad bajo los arbustos (Steenberg y Lowe 1977), (Pressland 1976; Nulsen *et al.* 1986; Mauchamp y Janeau 1993; Martínez-Meza y Whitford 1996), lo que pudo haber influido en la supervivencia de las plántulas germinadas ya que después de 3 meses aproximadamente, no sobrevivieron.

Por otro lado, en este experimento, las brácteas fueron removidas, por lo que esto pudo haber aumentado la probabilidad de desecamiento del embrión, ya que aparentemente las brácteas o testas le permiten resistir a las condiciones de sequía y permanecer viable por años (Sierra *et al.* 2008). Se ha descrito que en algunas semillas, el embrión no se encuentra totalmente desarrollado al momento de su dispersión, por lo que necesitan de un periodo de tiempo para completar su maduración, es posible que al momento de coleccionar los frutos de los escapos en la primer colecta de 2015, los embriones no se encontraban completamente maduros, y listos fisiológicamente para germinar (Rojas-Aréchica y Batis, 2001).

Durante el desarrollo del experimento en el sitio de estudio, se observó que algunas unidades experimentales se encontraban pisoteadas debido al paso del ganado y en algunas otras, la fuerza del viento se había llevado parte del sustrato; ambos factores pudieron haber influido en la germinación ya que al remover el viento partículas del sustrato, reduce la humedad disponible en él (Skidmore, 1986).

Los resultados de este experimento nos acercan a lo que posiblemente sucede con aquellas semillas que se dispersan y llegan al suelo; algunas germinarán y el resto posiblemente se encuentre en latencia, esperando que se presenten las mejores condiciones para germinar y sujetas a la alta probabilidad de depredación y dispersión. *D. acrotrichum* presenta una semilla fotoblástica indiferente, lo que quiere decir que germina en oscuridad y luz (Comm. Pers. Morales, 2017), por lo que las semillas enterradas en el suelo podrían germinar en la oscuridad, disminuyendo la probabilidad de que exista un banco de semillas.

El segundo GLM que se realizó indica que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos que evaluaron la granivoría, siendo significativo para aquellas unidades experimentales sin nodriza. Además, la media de semillas depredadas sin nodriza fue mayor que

la media de semillas depredadas con nodriza, aunque la diferencia fue muy poca, las nodrizas del sitio de estudio disminuyeron la intensidad de granivoría de las semillas de *D. acrotrichum*. Estudios previos señalan que algunas plantas suculentas prefieren establecerse bajo plantas nodrizas debido a la sombra y protección contra pequeños o grandes herbívoros que éstas brindan (Turner et al. 1966; McAuliffe 1984, 1986, 1988; Valiente-Banuet y Ezcurra 1991; Cody 1993; Mandujano et al. 1998; Ibáñez y Schupp 2001; Rebollo et al. 2002; Flores y Jurado 2003).

Es probable que sus principales granívoros sean hormigas o conejos (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991); en el estado de Querétaro se describen 13 especies de hormigas (Vázquez-Bolaños, 2011), entre ellas se encuentra especies del género *Pheidole* spp., el cual pertenece al gremio de las hormigas granívoras (Ríos-Casanova et al. 2004), posiblemente si se encuentran estas semillas en el sitio de estudio, podrían ser las responsables de la depredación de las semillas de *D. acrotrichum*. Es importante que se siga evaluando esta interacción ya que las hormigas granívoras pueden estar estructurando a las comunidades vegetales debido a que son un componente faunístico importante de las zonas áridas y semiáridas del país (Inouye et al. 1980; Polis 1991; MacKay 1991).

En fase de plántula el sotol es también consumido por algunos roedores, conejos y liebres, de tal manera que la propagación y establecimiento del sotol presenta dificultades (Palma, 2000), por lo que resulta muy importante la protección de herbívoros en el establecimiento de plántulas (Flores y Jurado 2003).

## **8.2. Influencia de las brácteas sobre la germinación**

No hay diferencias significativas en la germinación de semillas con y sin brácteas en condiciones de laboratorio, sin embargo, más semillas sin brácteas germinaron en los primeros días que aquellas con brácteas (Fig. 12); ya que se observa que en el quinto día hay solo 1 semilla con bráctea germinada mientras que hay 8 semillas sin brácteas germinadas. La emisión de la radícula se inició a partir del quinto día alcanzando su máximo porcentaje en el vigésimo tercer día después de la siembra. Otros autores indican que la germinación puede iniciar a partir del sexto día (Comm. Pers. Morales, 2017), o hasta el décimo quinto día (Sánchez et al. 2011).

Se indican porcentajes de germinación similares, como el que reporta Sánchez *et al.* (2011), en el que al eliminar las brácteas y sin tratamientos pregerminativos obtuvieron un porcentaje de germinación promedio del 65% con una sobrevivencia del 100%. Por otro lado, los resultados de experimentos de germinación en laboratorio de Sierra *et al.* (2004) de semillas de *D. leiophyllum* de 13 procedencias con un periodo de poscosecha entre 4 y 7 meses muestran diferencias al emplear semillas con y sin brácteas; la semilla con bráctea muestra una media inferior al 3% mientras que la semilla sin brácteas presenta una media de 95.8%.

Eliminar las brácteas en condiciones de laboratorio permitió que el porcentaje de germinación sea uniforme, ya que se eliminaron semillas vacías (Sierra *et al.* 2004) o posiblemente enfermas, debido a que mientras se eliminaban las brácteas se encontraron semillas sin embriones y se notó la presencia de insectos. Por otro lado, en el mes de octubre de 2016 se cosecharon las semillas para este experimento y una semana después se llevó a cabo el experimento y, al obtener el 65 y 76.25% germinación en los tratamientos se infiere que no se lograron alcanzar los porcentajes restantes debido a factores internos, tales como podría ser la maduración del embrión.

Calderón (2004) atribuye que *D. cedrosanum* presentan una baja germinación debido a que presenta una testa dura que hace más difícil la imbibición; si bien la testa de *Dasyllirion* spp se puede caracterizar como dura al tacto, esto no quiere decir que sea impermeable al agua o que presente algún tipo de latencia física (Baskin y Baskin, 2001), como se ha mostrado en este estudio al obtener porcentajes de germinación medianamente altos con y sin brácteas.

En el estudio de Sierra *et al.* (2004) se realizaron colectas de semilla de *D. leiophyllum* y *D. wheeleri* en 13 localidades de Chihuahua y se indican diferencias significativas en la procedencia, indicando que la procedencia de las semillas influye en la germinación. Hasta el momento se han evaluado diferentes sustratos para el desarrollo de plántulas de sotol y no se han encontrado diferencias significativas entre éstos (Cruz, 2002). Por lo anterior, la variedad de resultados en la propagación del sotol estén influenciados de acuerdo al estado de madurez

de la semilla, al eliminar las brácteas o no, al tiempo que pasó para realizar los experimentos después de la cosecha de las semillas y la procedencia de las semillas.

Hay factores que podrían incidir en la germinación en laboratorio e *in situ* de *D. acrotrichum* y del género, pero aún no son claros, como puede ser el efecto de la floración, fructificación, y la variación de ésta entre años y regiones (Morales et al., 2004; Sierra et al. 2008). Así como también la maduración del embrión, ya que estos factores podrían estar influyendo en el momento en el que el embrión decide germinar y si en algún momento la semilla entra en latencia.

Lo que se puede deducir hasta ahora es que en este experimento germinaron primero las semillas sin brácteas que aquellas que presentaban brácteas en condiciones de laboratorio porque las brácteas aumentan la distancia entre la testa y la humedad del sustrato (Hadas et al. 1974; Márquez-Guzmán 2012). Lo anterior, permite inferir que las brácteas actúan como un mecanismo de protección de patógenos y depredadores que se encuentran en el suelo y cuando se presenten las condiciones ambientales *in situ* para que la radícula emerja, se degradarán las brácteas como resultado de abrasión y oscilaciones de temperatura y humedad (Vega et al. 2006; Sierra et al. 2008).

En este estudio no se realizaron tratamientos pregerminativos ni post-germinativos, por lo que la recomendación más sencilla para propagar en invernadero es que se eliminen las brácteas de la semilla, se entierren ligeramente para que absorban toda la humedad disponible y que se realice la propagación inmediatamente después de la cosecha. Las semillas resultaron ser fotoblásticas indiferentes (Comm, pers. Morales, 2017), posiblemente por esta razón, se encontraron porcentajes altos de germinación al estar enterradas.



### 8.3. Dinámica de crecimiento de población establecida.

Se esperaba que la población presentara un lento crecimiento, y que se pudiera diferenciar el crecimiento entre estaciones del clima; se presentaron valores promedio y desviación estándar de TRC  $< 1$  de las variables evaluadas asociadas al crecimiento y con alta dispersión. Este comportamiento puede ser causado por la gran cantidad de hojas que presentan los individuos; Anchondo y Olivas (2002), indican que hay una variación de 16 a 80 hojas y un área foliar de 230.07 cm a 2,965.02 cm en plantas de *Dasyllirion* spp de la misma edad.

Las variables que mostraron una tendencia fueron el número de hojas nuevas, altura de hojas nuevas y ancho de hojas nuevas (Figs. 13 y 14), en el resto de las otras gráficas no se muestra una tendencia. Sin embargo, la única variable significativa asociada al crecimiento, fue la altura de las hojas nuevas (Fig. 13 c), la cual incrementó en los meses de mayo a julio de 2016. El aumento de la TRC en estos meses puede explicarse debido a que la temporada de lluvias que ocurrió de mayo a julio influyó en el crecimiento de las hojas nuevas, ya que el crecimiento de las plantas de sitios áridos se encuentra adaptado a las estaciones en el que el agua está disponible (Whittaker, 1979).

La altura de la planta y la hoja más larga fueron las únicas variables que mostraron valores de correlación de Spearman que fueron significativas y consistentes a lo largo de los meses de muestreo, lo mismo sucedió con los valores de correlación de Spearman de la TRC de la altura de la planta y la hoja más larga fueron. Esto indica que estas variables se encuentran relacionadas y que el comportamiento de una, explique el comportamiento de la otra. Esto sucede debido a que la hoja más larga coincidía con la parte más alargada de la planta y al crecimiento en forma de roseta que presenta *D. acrotrichum* (Cano *et al.* 2005; Aerts 1995).

La dispersión que muestran los valores de TRC de las variables evaluadas puede deberse a las condiciones donde crecen las especies de matorral rosetófilo como *D. acrotrichum*, ya que en las regiones áridas se presentan condiciones naturales inciertas y extremas tales como la baja humedad disponible ya sea en forma de precipitación o como humedad atmosférica, las

precipitaciones son irregulares, intempestivas y en algunos casos, estacionales (Grime y Hunt, 1975; González 2012), así también se presentan fluctuaciones climáticas (Sierra *et al.* 2008).

Los valores  $<1$  de TRC de las variables asociadas al crecimiento podrían expresar un lento crecimiento como parte del ciclo de vida de *D. acrotrichum*, el cual podría representar una adaptación ante las características agrestes en las que crece y como parte de su hábito de crecimiento (Cano *et al.* 2005). Este tipo de crecimiento se presenta en plantas perennes que habitan en ambientes pobres en nutrientes y que presentan bajas tasas de pérdida de nutrientes, esta característica dan lugar a una baja capacidad de respuesta a cambios ambientales (Aerts 1995), posiblemente por esta razón no se muestran cambios significativos en el crecimiento ante el cambio de estaciones climáticas.

El lento crecimiento que presentan las hojas totales y las hojas nuevas, puede deberse a que la vida de las hojas es de larga duración, ya que en la mayoría de los arbustos perennes, la vida de las hojas puede ir generalmente desde uno a cuatro años (Karlsson 1992) y tanto los tallos y raíces de arbustos perennes también tienen largos ciclos de vida (Aerts 1990; Aerts, 1995; Karlssons 1992 y Shaver y Chapin 1991). Por lo que posiblemente los tejidos de especies perennes se caracterizan por presentar largos ciclos de vida debido a que tienen bajas tasas de pérdida de nutrientes (Aerts, 1995).

Parece ser que las especies que presentan hojas de larga duración de vida tienen mínimas áreas foliares y menores concentraciones de nitrógeno en la hoja (Aerts, 1995), esta idea se puede ver apoyada por el hecho que *D. acrotrichum* presenta hojas muy angostas y largas (Rzedowski, 2001), y porque es una especie que se presenta en ecosistemas áridos y semiáridos donde el agua y el nitrógeno limitan el crecimiento; el nitrógeno se encuentran disponible para las plantas en pulsos después de que ocurren los eventos de precipitación (Noy-Meir 1973).

Aunque se ha entendido parte de la dinámica del nitrógeno en ecosistemas áridos, poco se ha estudiado sobre como la heterogeneidad temporal afecta los procesos ecológicos (James y Richards, 2005), lo cual resultaría importante entender para aumentar la productividad del sotol al buscar hacer plantaciones de él.

En *D. wheeleri*, *D. leiophyllum* y *D. sereke*, se observó una relación no lineal entre el peso y el diámetro de la cabeza debido a la forma ovoidal que ésta presenta (Larra y Sierra, 2007). Posiblemente, la forma de la cabeza de los individuos influya en la cantidad de hojas que se puede encontrar por individuo, y por lo tanto, se encuentra influyendo en la dinámica de crecimiento, sin embargo, no fue un factor que se consideró en este estudio. El sotol es una planta que aún no ha sido domesticada (Vega *et al.* 2006), si se domesticara la especie, posiblemente se podría controlar más la variabilidad de hojas, como el tiempo necesario para que la planta alcance cierta altura.

Probablemente, es necesario que se amplíe el tiempo de evaluación de crecimiento por más de un año, para que se pueda observar a mayor detalle si *D. acrotrichum* presenta algún patrón de crecimiento o si presenta diferencias significativas en el crecimiento al cambiar las estaciones climáticas.

#### **8.4. Propuesta de reintroducción de *D. acrotrichum*.**

El clima del sitio de estudio es semiseco templado con lluvias en verano y la temperatura media anual va de 16 a 17 ° C, por lo que entra dentro del rango de temperatura media anual de 12 a 26 °C (Rzedowski, 1978) y muestra 7 meses con niveles muy bajos de precipitación (enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre). Por lo anterior, se recomienda que las reintroducciones se realicen durante el verano, en mayo, junio, julio y agosto. En estos meses se presentaron los mayores valores de precipitación pluvial (Fig.15), también se presentaron valores altos de humedad relativa media (Fig. 16).

Los meses en los que se recomienda realizar la reintroducción de individuos son aquellos en los que se reporta un mayor porcentaje de humedad relativa y más mm de precipitación, de tal forma que durante este periodo los individuos reintroducidos aprovechen al máximo las condiciones favorables, ya que en las regiones áridas la disponibilidad de la humedad es deficiente, ya sea en forma de precipitación o como humedad atmosférica (González, 2012).

El propósito de las reintroducciones es establecer nuevas poblaciones o aumentarlas para aumentar la supervivencia de las especies (Pavlik 1996; Van-Groenendae *et al.* 1998; Luijten *et al.* 2002), por lo que resulta ser una medida necesaria para conservar especies amenazadas (Akeroyd J y Wyse Jackson 1995).

De acuerdo al estudio de Godefroid *et al.* (2011), la variación en el éxito de la reintroducción se ve explicada por el lugar de donde viene el material vegetal (poblaciones mixtas; 21%), remover plantas de alrededor (16%) y si el sitio presenta protección (12%), sin embargo, no se menciona que el éxito de las reintroducciones esté relacionado con las condiciones climáticas que se presentaron en ese momento, a pesar de que influyen sobre la comunidad vegetal lo cual se refleja en la abundancia, productividad y fenología de las especies (Goodall *et al.* 1981).

Para realizar reintroducciones de individuos juveniles de edad de un año, se debe realizar un análisis que indique cuales son los sitios más adecuados para su establecimiento; como se llevó a cabo en el estudio de Cano y Martínez (2007), donde indica que *D. cedrosanum* Trel se establece en terrenos de pendiente ligera a moderada (8-16%), en suelos de poco desarrollo vertical, bajo contenido de materia orgánica y alta pedregosidad. En el mismo estudio se indica que antes de realizar cualquier práctica se debe de realizar prácticas preventivas de erosión y al mismo tiempo de captación de agua, de ser posible se recomienda que la reintroducción se haga en zonas libres de pastoreo y con mallas o cercos que protejan de depredadores.

No hay información sobre la supervivencia de las plántulas que fueron introducidas por la UMA: “Los xitales de San Miguel”, es por esto que se recomienda que en cualquiera de las reintroducciones se lleve a cabo monitoreo a largo plazo que evalúe la supervivencia de los individuos juveniles y semillas, así como realizar riego asistido. El tiempo que dure la aplicación de estas recomendaciones dependerá del interés y recursos que presenten los interesados.

## 9. CONCLUSIONES

Dado los resultados obtenidos y la discusión de éstos, se formulan las siguientes conclusiones:

1. La germinación de *D. acrotrichum* ocurrió en sitios con nodriza y con exclusión de herbívoros.
2. La granivoría bajo plantas nodrizas fue menor que en las unidades sin nodriza, esto significa que el dosel de las nodrizas disminuye la intensidad de granivoría.
3. No existen diferencias significativas en la germinación de frutos con y sin escarificación. Sin embargo, los frutos con escarificación empezaron a germinar antes que aquellas sin escarificación, esto probablemente quiere decir que las brácteas actúan como un mecanismo de protección del embrión ante posibles patógenos.
4. *D. acrotrichum* presenta un lento crecimiento como parte de su tardío ciclo de vida. El comportamiento a lo largo del periodo de muestreo indica que de mayo a julio, la altura de las hojas nuevas aumenta.
5. Los meses de mayo, junio, julio y agosto, son recomendables para realizar la reintroducción de *D. acrotrichum* en localidades del centro del estado de Querétaro, esta puede ocurrir introduciendo individuos juveniles o semillas.

## 10. CONSIDERACIONES FINALES

*D. acrotrichum* es una especie que presenta dificultades intrínsecas en su establecimiento, ya que presenta un bajo porcentaje de germinación *in situ* y un lento crecimiento, sin embargo, su alta capacidad de producción de semillas y su adaptación a las condiciones extremas de las zonas áridas, ha permitido su supervivencia en la vegetación de matorral xerófilo, por lo que resulta amenazante para la supervivencia de las poblaciones y del estado genético de esta especie su extracción desmedida sin apoyo de reintroducciones.

La importancia que presenta el sotol como un producto forestal no maderable, hace sumamente necesario y urgente, realizar investigación científica ecológica sobre el establecimiento de estas especies y sobre factores que estén influyendo en su crecimiento y reproducción. Aún se desconoce los mecanismos que determinan el sexo de los individuos, la forma en la que se lleva a cabo la polinización, y cuál es el efecto de la cosecha sobre el suelo.

Es importante que los habitantes de estas localidades e interesados en general, sean conscientes sobre las dificultades biológicas de la especie y en su posibilidad mitiguen el impacto de uso de esta especie, ya sea disminuyendo la cantidad de individuos cosechados, propagando, reintroduciendo la especie.

Es necesario incorporar información científica ecológica para realizar planes de manejo y aprovechamiento, los cuales deben de ser creados por las personas relacionadas directamente con su uso tradicional, por investigadores, instituciones gubernamentales y la sociedad civil en general. Si no se realizan acciones urgentes de propagación, reintroducción y monitoreo de la especie, lamentablemente esta especie podría extinguirse localmente en los próximos años.

## 11. LITERATURA CITADA

- Aerts R. 1990. *Oecologia* **84**: 391-397
- Akeroyd J y Wyse Jackson P. 1995. *A Handbook for Botanic Gardens on the reintroduction of Plants to the Wild*. Botanic Gardens Conservation International. Richmond, Surrey, UK.
- Allen R, Pereira L, Raes D y Smith M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Vol 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Italia
- Anchondo N y Olivas G. 2002. *Avances de investigación del cultivo del sotol (Dasylirion spp) en Chihuahua*. Resultados y avances de la Investigación en el Estado de Chihuahua. Delicias, Chihuahua.
- Andersen, A. 1991. Seed harvesting by ants in Australia, pp. 493-503 en C. R. Huxley y D. F. Cutler, eds., *Ant-plant interactions*. Oxford University Press, Oxford.
- Barrett T, Davis L y Schurr F. 1994. Using tree growth and yield simulators to create ecological yield tables for silvicultural prescriptions. *West J Appl For* 3: 91-94
- Baskin C y Baskin J. 2001. *Seeds, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. California, USA
- Batzli G y Pitelka FA. 1971. Condition and diet of cycling populations of the California vole, *Microtus californicus*. *J. Mammal.* 52: 141–163.
- Bell W y Castetter, E. 1941. The utilization of yucca, sotol, and beargrass by the aborigines in the American southwest. *University of New Mexico Bulletin*. Vol.5.
- Benson L y Darrow R. 1981. *The trees and shrubs of the Southwestern deserts*. University of Arizona Press. Tucson, Arizona.
- Bogino S, Oviedo F y Nieto M. 2007. Determinación de variables climáticas para su uso en modelos de crecimiento: una aproximación dendrocrológica. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 23.
- Bogler D. 1995. Systematics of *Dasylirion*: taxonomy and molecular phylogeny. *Botanical Sciences*. 56: 69-76.
- Bogler D. 1998. Three new species of *Dasylirion* (Nolinaceae) from Mexico and a clarification of the *D. longissimum* complex. *Brittonia* 50:71-86.

- Bogler J. 1994. Taxonomía y filogenia de *Dasyilirion* (Nolinaeae). Tesis de doctorado. Universidad de Texas. Austin, Texas
- Botha F, Grobbelaar N y Small J. 1984. The effect of water stress on the germination of *Citrullus lanatus* seeds. *S. Afr. J. Bot.* **3**:111-114
- Bowers J.E. 2000. Does *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae) hve between-year seed bank? *Journal of Arid Environmets* 45:197-205.
- Bowers J.E. 2000. Does *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae) hve between-year seed bank? *Journal of Arid Environmets* 45:197-205.
- Bradshaw A. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Adv Genet.* 13: 115-155
- Briggs G. 1928. A consideration of some attempts to analyse growth curves. *Proc. R. Soc.* **102**: 280-285.
- Brooker, R. W., y Callaghan, T. V. (1998). The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos*, 196-207.
- Brown J y Heske E. 1990. Control of a desert-grassland transition by a keystone rodent guild. *Science* **250**: 1705–1707
- Brown J, Davidson D, Munger J y Inouye J. 1986. Experimental community ecology: the desert granivore system. *Community ecology*. Harper and Row, New York. New York, USA
- Brown J y Heske E. 1990. Temporal changes in a Chihuahuan desert rodent community. *Oikos* 59: 290–302.
- Bruun, H. H., Valtinat, K., Kollmann, J. y Brunet, J. (2010). Post-dispersal seed predation of woody forest species limits recolonization of forest plantations on ex-arable land. *Preslia* **82**, 345–356.
- Bruun, H. H., Valtinat, K., Kollmann, J. y Brunet, J. (2010). Post-dispersal seed predation of woody forest species limits recolonization of forest plantations on ex-arable land. *Preslia* **82**, 345–356.



- Calderón G. 2004. Rompimiento de latencia en semillas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel) mediante escarificación física y química. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Saltillo, Coahuila, México
- Callaway, R. M., y Walker, L. R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78(7), 1958-1965.
- Callaway, R. M., y Walker, L. R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78(7), 1958-1965.
- Cano A, Martín B, Martínez M. 2013. Capítulo IV. Caracterización ecológica y socioeconómica del sotol (*Dasyilirion* spp). En: M. Martínez. Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México. *Instituto de Investigaciones Forestales*. Chihuahua. México
- Cano P y Martínez O. 2007. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila. *INIFAP*. Coahuila, México
- Cano P, Berlanga C, Castillo Q, Martínez B, Zárate, L. 2005. Análisis dimensional y tablas de producción de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) para el Estado de Coahuila. *INIFAP*. Saltillo, Coahuila.
- Cano P, Martínez B, Berlanga C, Villavicencio G, Castillo Q. 2011. Guía para la evaluación de existencias de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en poblaciones naturales del Estado de Coahuila. *INIFAP*. Coahuila, México.
- Cano, A. 2006. Informe del proyecto CONAFOR-CONACYT C03-10376 Desarrollo tecnológico para el manejo sustentable del sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila. Documento inédito.
- Castillo, J. 2000. Persistencia histórico-cultural: San Miguel, Tolimán. Universidad Autónoma de Querétaro. *Instituto de Investigaciones Antropológicas*
- Chabot B.F y Hicks, D. 1982. *Annu.Rev. Ecol. Syst* **13**: 229-259.
- Chapin F, McFarland J, McGuire A, Euskirchen E, Ruess R, Kielland K. 2009. The changing global carbon cycle: linkin plant-soil carbon dynamics to global consequences. *J of Ecol* 97: 840-850.
- Chapin F. 1980. *Annu Rev Ecol Syst* **11**:233-250.

- Claflin L, Stuteville D y Armbrust D. 1973. Windblown Soil in the Epidemiology of Bacterial Leaf Spot of Alfalfa and Common Blight of Beans. *Phytopathology* **63**:1417-1419.
- Cody M. 1993. Do Cholla Cacti (*Opuntia* spp., subgenus *Cylindropuntia*) use or need nurse plants in the Mojave Desert? *J Arid Environ* **24**: 139-154.
- Cody M.L. 1993. Do cholla cacti (*Opuntia* spp., Subgenus *Cylindropuntia*) use or need nurse plants in the
- Collins S, Sinsabaugh R, Crenshaw C, Green L, Porrás-Alfaro A, Stursova M, Zeglin L. 2008. Pulse dynamics and microbial processes in aridland ecosystems. *J of Ecol.* **96**: 413-420
- Collis G y Hector J. 1966. Germination of seeds as influenced by matric potential and by area of contact between seed and soil water. *Aust. J. Soil. Res.* **4**:145-164.
- Collis G y Sands J. 1959. The control of seed germination by moisture as physical property. *Aust. J. Agr. Res.* **10**:638-636.
- Collis G y Sands J. 1962. Comparison of the effects of physical and chemical components of soil water energy on seed germination. *Aust. J. Agr. Res.* **13**:575-585.
- Corrales, M. 2011. Educación ambiental. El problema de extracción de especies vegetales endémicas. Tesis de Licenciatura. Universidad Pedagógica Nacional. Ciudad de Ayala, Morelos.
- Cruz R. 2002. Micropropagación del sotol (*Dasyilirion leiophyllum* Engelm ex Trelease): Paso de *in vitro* a *in vivo*. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UACH. Delicias, Chihuahua.
- Cruz-Requena M, Rodríguez H, Aguilar C, De la Garza T y Aguilera C. 2007. Caracterización fisicoquímica de las plantas de diferente sexo del sotol. En: *XII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*. Morelia, Michoacán.
- Curtin cg, Kelt da, Frey T y Brown J. (1999) on the role of small mammals in mediating climatically driven vegetation change. *ecology letters* 2: 309–317
- Dalling, J. W., Davis, A. S., Schutte, B. J. y Arnold, A. E. (2011). Seed survival in soil: interacting effects of predation, dormancy and the soil microbial community. *Journal of Ecology* **99**, 89–95.

- Dasberg S. 1971. Soil water movement to germinating seeds. *J. Exp. Bot.* **22**: 999-1008.
- Davidson D, Inouye R y Brown J. 1984. Granivory in a desert ecosystem: experimental evidence for indirect facilitation of ants by rodents. *Ecology* **65**: 1780–1786
- Davis L y Johnson K. 1987. Forest management. 3rd ed. *McGraw-Hill, Inc.* New York, USA.
- Dinámica poblacional de *Mamillaria humboldtii*, una cactácea endémica de Hidalgo, México.
- Doneen L y MacGillivray H. 1943. Germination (emergence) of vegetable seeds as affected by different soil moisture conditions. *Plant Physiol.* **18**: 524-529
- Drezner T.D. (2006). Plant facilitation in extreme environments: the non-random distribution of saguaro cacti (*Carnegiea gigantea*) under their nurse associates and the relationship to nurse architecture. *Journal of Arid Environments* **65**, 46–61.
- Drezner T.D. (2006). Plant facilitation in extreme environments: the non-random distribution of saguaro cacti (*Carnegiea gigantea*) under their nurse associates and the relationship to nurse architecture. *Journal of Arid Environments* **65**, 46–61.
- Drezner T.D. y Garrity C.M. (2003). Saguaro distribution under nurse plants in Arizona's Sonoran Desert: directional and microclimate influences. *Professional Geographer* **55**, 505–512.
- Edgar J. 1977. Effects of moisture stress on germination of *Eucalyptus camadulensis* Dehnh. and *E. regans* F. Muell. *Aust Forest Res* **7**: 241-245
- Encina D, Meave J. Zarate L. 2013. Structure and woody species diversity of the *Dasyllirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of central and southern Coahuila state, Mexico. *Botanical sciences*. **3**: 335-347.
- Fenner, M., y Thompson, K. (2005). *The ecology of seeds*. Cambridge University Press.
- Fenner, M., y Thompson, K. (2005). *The ecology of seeds*. Cambridge University Press.
- Fernández F. (ed.). 2003. Introducción a las Hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. XXVI + 398 p.

- Fernández F. (ed.). 2003. Introducción a las Hormigas de la región Neotropical. Instituto de investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. XXVI + 398 p.
- Flores J y Jurado E. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *J. Veg. Sci.* **14**: 911-916.
- for coniferous species in northern California. *Can. J. For. Res.* 30: 1463-1471. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 23: 135-140 (2007) «Actas de la II Reunión sobre aspectos prácticos de la Modelización Forestal»
- Fowler, N. 1986. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 89-110
- Fowler, N. 1986. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 89-110
- Francisco-Francisco N, García-Osuna H, Benavides-Mendoza A, Hernández-Juárez A y Ramírez-Godina F. 2012. Germinación, morfología y anatomía foliar de *Dasyliirion cedrosanum* Trel. Reporte técnico. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Franco A y Nobel P. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *J Ecol.* **77**: 870-886.
- Garcia-Moya E y McKell M. 1970. Contribution of shrubs in the economy of a desert wash plant community. *Ecology.* 51: 81-88.
- Godefroid S, Piazza C, Rossi G, Buord S, Stevens A, Aguraju R, Cowell C, Weekley C, Vogg G, Iriondo J, Dixon B, Gordon D, Magnanon S, Valentin B, Johnson I, Bjureke K, Vicens M, Virevaire M, Vanderborcht T y Koopman R. 2011. How successful are plants species reintroductions? *Biol. Conserv.* **144**:672-682
- GODÍNEZ, H. 1998. Los desiertos mexicanos, sus características e importancia. *Ciencia y Desarrollo* 143: 17-22.
- Godínez-Álvarez H., Valverde T. y Ortega-Baés P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical*
- Golubov J, Mandujano M, Arizaga S, Martínez-Palacios A y Koleff P. 2007. Inventarios y conservación de Agavaceae y Nolinaceae. En: Colunga P, Eguiarte L y García A (eds). *El género Agavaceae y Nolinaceae en México: una síntesis del estado del*

*conocimiento*. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, UNAM. México, D.F. pp: 25-52.

- González M. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. *Instituto Nacional de Ecología*. Ciudad de México, México.
- Gonzalez-Zertuche, L., Vazquez-Yanes, C., Gamboa, A., Sanchez-Coronado, M. E., Aguilera, P. y Orozco-Sergovia, A.(2001). Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research* **11**, 27–34.
- Gonzalez-Zertuche, L., Vazquez-Yanes, C., Gamboa, A., Sanchez-Coronado, M. E., Aguilera, P. y Orozco-Sergovia, A.(2001). Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research* **11**, 27–34.
- Goodall D, Perry R y Howes K. 1981. Arid-land ecosystems: structure, functioning and management. Vol 2. *Cambridge University Press*. Cambridge. UK
- Grime J y Hunt R. 1975. Relative growth-rate; its range and adaptative significance in a local flora. *J Ecol.* **63**:393-422.
- Grime J. 1977. Evidence for existence of 3 primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am Nat.* **111**:169–1194.
- Guo, Q., Rundel, P. W., y Goodall, D. W. (1998). Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: patterns, causes, and implications. *Journal of Arid Environments*, 38(3), 465-478.
- Guo, Q., Rundel, P. W., y Goodall, D. W. (1998). Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: patterns, causes, and implications. *Journal of Arid Environments*, 38(3), 465-478.
- Gutiérrez J y Meserve pl (2000) Density and biomass responses of ephemeral plants to experimental exclusions of small mammals and their vertebrate predators in the Chilean semiarid zone. *Journal of Arid Environments* 45: 1–9.
- Hadas A y Russo D. 1974. Water uptake by seeds as affected by water stress, capillary conductivity and seed soil water contact. *Agron. J.* **66**: 643-647.
- Harper, J. L. (1977). Population biology of plants. *Population biology of plants*
- Harper, J. L. (1977). Population biology of plants. *Population biology of plants*

- Harpetr J, Williams J y Sagar G. 1965. The behavior of seeds in soil. Part 1. The heterogeneity of soil surfaces and its role in determining the establishment of plants from seeds. *J of Ecol.* 53: 273-286.
- Henrickson J y Johnston M. 1977. A flora of the Chihuahuan Desert region. Vol 2. Los Angeles, California.
- Henrickson J y Johnston M. 1986. Vegetation and community types of the Chihuahuan Desert. Pp: 20-39. En: Barlow J. Barlow, A. Powell y B. Timmermann (eds). Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region: United States and Mexico.
- Henson I. 1970. The effects of light, potassium nitrate and temperature on the germination of *Chenopodium album* L. *Weed. Res.* 10: 27-39.
- Hernández H y Bárcenas R. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. *Cons. Biol.* 9: 1176-1188.
- Hernández Juárez A. 2008. Caracterización morfológica, anatómica e histológica del sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Saltillo, Coahuila.
- Hester M y Mendelssohn I. 1987. Seed production and germination response of four Louisiana populations of *Uniola paniculata* (Gramineae). *Am. J. Bot.* 1093-1101
- Holland J.N. y Molina-Freaner F. 2013. Hierarchical effects of rainfall, nurse, plants, granivory and seed
- Howe H y Brown J. 2000. Early effects of rodent granivory on experimental forb communities. *Ecol. Appl.* 10: 917–924
- Hoyt A. 2002. The Chihuahuan Desert: Diversity at Risk. *Endangered Species Bulletin* 27: 16-17.
- Hulme P. 1996. Herbivory, plant regeneration and species coexistence. *J. Ecol.* 84: 609–616
- Hunter, A. F., y Aarssen, L. W. (1988). Plants helping plants. *Bioscience*, 38(1), 34-40.
- Hunter, A. F., y Aarssen, L. W. (1988). Plants helping plants. *Bioscience*, 38(1), 34-40.
- Hutchinson, J. 1934. *The families of flowering plants*. Vol. 2. Monocotyledons. Clarendon Press, Oxford.
- Hutto R. McAuliffe J y Hogan L. 1986. Distributional associates of the saguaro (*Carnegiea gigantea*) *Southwest Nat.* 31: 469-476.

- Huxman T, Cable J, Ignance D, Eilts J, English N, Weltzin J y Williams D. 2004. Response of net ecosystems gas exchange to a simulated precipitation pulse in a semi-arid grassland: the role of native versus non-native grasses and soil texture. *Oecología*. **141**. 295-305.
- Ibáñez I y Schupp E. 2001. Positive and negative interactions between environmental conditions affecting *Cercocarpus ledifolius* seedlings survival. *Oecologia* **129**: 543-550
- Ibave F, Ibave M. y Díaz De La Garza I. 2001. Generación de tecnologías para la extracción de inulina y su estudio prospectivo de mercado. pp: 177-179. En. Memorias de Fondo Estatal Sivilla-Chihuahua. SEP-CONACYT. Chihuahua, Chih, México.
- Inouye, R.S., G.S. Byers, y J.H. Brown. 1980. Effects of predation and competition on survivorship, fecundity, and community structure of desert annuals. *Ecology* 6:1344-1351.
- Inouye, R.S., G.S. Byers, y J.H. Brown. 1980. Effects of predation and competition on survivorship, fecundity, and community structure of desert annuals. *Ecology* 6:1344-1351.
- Jurado, E. & Moles, A.T. 2003. Germination deferment strategies. In: Nicolás, G., Bradford, K.J., Côme, D., Curie, M. & Pritchard, H.W. (eds.) *The biology of seeds: recent research advances*, pp. 381-388. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Kadman-Zahavi A. 1955. The effect of light and temperature on the germination of *Amaranthus blitoides* seeds. *Bul. Res. Counc. of Israel* **4**: 370-374.
- Karlssons P. 1992. *Oecologia* 91. 346-349
- Karlssons P. 1992. *Oecologia* **91**: 346-349.
- Kemp P. 1983. Phenological patterns of Chihuahuan Desert plants in relation to the timing of water availability. *J of Ecol.* **71**: 427-436.
- Kumar V y Irvine-David E. 1971. Germination of Seeds of *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Weed Res.* **11**: 200-203
- Laity J. *Deserts and deserts environments*. 2008. Wiley-Blackwell Publisher.
- Lambers H y Poorter H. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* **23**: 187-261.

- Lara M y Sierra J. 2007. Características físicas y contenidos de azúcares de tres especies de sotol (*Dasyliirion* spp) en Chihuahua, México. En Memorias VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Morelia, Michoacán
- Long, R. L., Gorecki, M. J., Renton, M., Scott, J. K., Colville, L., Goggin, D. E., ... y Finch-Savage, W. E. (2015). The ecophysiology of seed persistence: a mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews*, 90(1), 31-59.
- López B. 2005. El sotol en Coahuila, potencialidades y limitaciones, páginas 63-84. En: D. Conteras y R. Ortega (eds). *Bebidas y regiones, historia e impacto de la cultura etílica en México*. Plaza y Valdés, S.A. México.
- Ludwig, J, Reynolds J y Whitson P. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahuan desert shrubs. *Am Midl Nat.* **94**: 451-461.
- Luijten S, Kéry M, Oostermeijer J, Den Nijs H. 2002. Demographic consequences of inbreeding and outbreeding in *Arnica montana*: a field experiment. *J Ecol.* **90**:593–603.
- Mandujano M, Montaña C, Méndez I y Golubov J. 1998. The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *J. Ecol.* **86**:911-921
- Mandujano M.C., Golubov J. y Montaña C. 1997. Dormancy and endozoochorous dispersal of *Opuntia*
- Marcel Dekker. Aerts R y Hell F.eds. 1993. Heathlands, Patterns y Processes in a Changing Environmen, Kluwer.
- Maron J y Simms E. 2001. Rodent limited establishment of bush lupine: field experiments on the cumulative effect of granivory. *J Ecol.* **89**:578–588
- Márquez-Guzmán J, Collazo M, Martínez M, Orozco A y Vázquez S. 2012. *Biología de angiospermas*. Facultad de Ciencias, UNAM. D.F. México.
- Marroquín J, Borja L, Velásquez C. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. *INIFAP*.
- Martínez M. 2013. Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México. *INIFAP*. Chihuahua, México.
- Martínez-Meza E y Whitford W. 1996. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs. *J. Arid. Environ.* **32**: 271-287



- Martorell y Ezcurra E. 2007. The narrow-leaf sindrom: a functional and evolutionary approach to the form of fog-harvesting rosette plants. *Oecologia*. 151: 561-573
- Mauchamp A y Janeau J. 1993. Water funnelling by the crown of *Flourensia cernua*, a Chihuahuan Desert shrub. *J Arid Environ*. **25**:299-306.
- McAuliffe 1988. Markovian dynamis of simple and complex desert plant comunidades. *Am Nat*. **131**:459-490
- McAuliffe J. 1984. Prey refugia and the distributions of two Sonoran Desert cacti. *Oecologia* **65**:82-85.
- McAuliffe J. 1986. Herbivory-limited establishment of a Sonoran Desert tree: *Cercidium microphyllum*. *Ecology* **67**:276-280.
- Meigs P. 1953. World distribution of arid and semiarid homoclimates. *Review of Research on Arid zone hidrology*. UNESCO. London, Paris.
- Meiners J, Pickett A, Handel N (2002) Probability of tree seedling establishment changes across a forest-old field edge gradient. *Am J Bot* 89:466–471
- Meiners J, Pickett A, Handel N (2002) Probability of tree seedling establishment changes across a forest-old field edge gradient. *Am J Bot* 89:466–471
- Melgoza C y Sierra T. 2003. Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyilirion spp* (sotol) en Chihuahua, México. *Rev Ciencia For*. **28**: 25-40.
- Mendoza-Hernández, P.E., Rosete-Rodríguez, A., Sánchez-Coronado, M.E. et al. *Int J Biometeorol* (2014) 58: 853.
- Mills J. 1986. Herbivores and early postfire succession in southern California chaparral. *Ecology* **67**:1637–1649
- Miranda, J. D. D., Padilla, F. M., y Pugnaire, F. I. (2004). Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Revista Ecosistemas*, 13(1).
- Miranda, J. D. D., Padilla, F. M., y Pugnaire, F. I. (2004). Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Revista Ecosistemas*, 13(1).
- Moles, A. & Westoby, M. 2004. What do seedlings die from and what are the implications for evolution of seed size? *Oikos* 106: 193-199
- Monk C. 1966. *Ecology* 47. 504-505.

- Morafka D. 1977 *A biogeographical analysis of the Chihuahua desert through its herpetofauna*. The Hague, Dr. W Publishers.
- Morales, B. 2017. Estudio del efecto de la cosecha en poblaciones de *Dasyilirion acrotrichum* (Schiede) Zucc, usada como ornamental en San Miguel Tolimán, Querétaro. Tesis de licenciatura (en proceso). Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Nicolás, G., Bradford, K.J., Côme, D., Curie, M. & Pritchard, H.W. (eds.) The biology of seeds: recent research advances, pp. 381-388. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Nobel P. 1984. Extreme temperatures and thermal tolerances for seedlings of desert succulents. *Oecologia*. **62**:310-317
- Noy-Meir I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Ann Rev Ecol Syst*. **4**:25-51
- Nulsen R, Blight K, Baxter I, Solin E y Irie D. 1986. The fate of rainfall in a mallee and heath vegetated catchment in southern Western Australia. *Austr. J. Ecol*. **11**:361-371
- Olhagaray R. Esparza C. y Vega S. 2004. Producción y comercialización de licores de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en Durango, México. *Rev Cie For*. **29**: 83-89.
- Olin, G., Alcorn S, Alcorn J. 1989. Dispersar of viable saguaro seedes by White-winged doves (*Zenaida asiática*). *Southwest Nat*. **34**: 282-284.
- Ortega R y Villavicencio. s.f. Aspectos socioeconómicos y de comercialización del sotol, derivados de su explotación en la Comarca Lagunera. *Boletín informativo. CIRNOC-INIFAP*. Coahuila, México.
- Ostfeld R, Manson R y Canham D. 1997. Effects of rodents on survival of tree seeds and seedlings invading old fields. *Ecology*. **78**:1531–1542.
- Padilla, G. 2004. Pruebas de germinación en semillas de Sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) utilizando extractos de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) bajo condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Saltillo, Coahuila.
- Palma E. 2000. Bases para la micropropagación de sotol (*Dasyilirion spp*) vía *in vitro* y por semilla. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México

- Parmenter R y Macmahon ja (1983). Factors determining the abundance and distribution of rodents in a shrub-steppe ecosystem: the role of shrubs. *Oecologia* 59: 145–156.
- Pavlik BM. 1996. Defining and measuring success. páginas: 127–155 En: D.A. Falk, C.I Millar, M. Olwell (eds). *Restoring Diversity: Strategies for the Reintroduction of Endangered Plants*. ISL Press. Washington, D.C.
- Poinar H, Melanie K, Kristin D, Ian B, Artur B, Tomasz K, Geofferey S, Vaughn M, Alan C y Svante P. 2001. A molecular analysis of dietary diversity for three archaic Native Americans. *P Nat A Sci*. **8**:4317-4322.
- Polis (ed). The ecology of desert communities. The University of Arizona Press, Tucson. MacKay, W. P. 1991. The role of ants and termites in desert communities. Pp. 113-150.
- Polis (ed). The ecology of desert communities. The University of Arizona Press, Tucson. Mackay, W. P. 1991. The role of ants and termites in desert communities. Pp. 113-150.
- Pressland A. 1976. Soil moisture redistribution as affected by troughfall and stemflow in an arid zone shrub community. *Austr J Bot* **24**: 641-649.
- Probert R, Daws M y Hay F. 2009. Ecological correlates of ex situ seed longevity: a comparative study on 195 species. *Ann Bot*. **104**:57-69.
- R. Development Core Team. 2007. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna,, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL <http://www.R-project.org>
- Ramírez Collantes, David A.. (2011). Los objetos nodriza como refugio y fuente de nutrientes: reflexiones sobre el establecimiento y restauración de cactáceas en zonas áridas de la vertiente occidental de los andes. *Ecología Aplicada*, 10(2), 83-86.
- Ramírez Collantes, David A.. (2011). Los objetos nodriza como refugio y fuente de nutrientes: reflexiones sobre el establecimiento y restauración de cactáceas en zonas áridas de la vertiente occidental de los andes. *Ecología Aplicada*, 10(2), 83-86.
- Rees, M. & Long, M.J. 1992. Germination biology and the ecology of annual plants. *Am. Nat.* 139: 484-508

- Reyes-Valdés H, Benavides-Mendoza A, Ramírez-Rodríguez H y Villarreal-Quintanilla J. 2013. Biología e importancia del sotol (*Dasyliirion* spp). Parte II: Ecofisiología, usos e interrogantes. *Planta*. 17.
- Reyes-Valdés H, Benavides-Mendoza A, Ramírez-Rodríguez H y Villarreal-Quintanilla J. 2012. Biología e importancia del sotol (*Dasyliirion* spp). Parte I: Sistemática, Genética y Reproducción. *Planta*. 14.
- Reynolds J, Kem P, Ogle K, Fernández R. 2004. Modifying the “pulse-reserve” paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water and plant responses. *Oecologia*. **141**: 194-210.
- Robertson T, Bell C, Zak J y Tissue D. 2008. Precipitation timing and magnitude differentially affect aboveground annual net primary productivity in three perennial species in a Chihuahuan Desert grassland. *New Phytol*. 181:230-242.
- Robles A, Robles H, Blanco F, Martínez M y Valdez R. 2012. *Dasyliirion cedrosanum* Trelease (Nolinaceae). Density Varies Depending on Elevation and Slope in the Northeast of Zacatecas, Mexico. *Ecology*. **85**: 15-25.
- Ruiz-Robledo J, Quero J, Poorter H, Valladares F, Marañón T. En: Valladares, F. 2008. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante (Segunda edición). Páginas 193-230. Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 978-84-8014-738-5
- Rundel, P. W., y Gibson, A. C. (1996). Adaptive strategies of growth form and physiological ecology in neotropical lowland rain forest plants. *Neotropical biodiversity and conservation*, 1, 33.
- Rundel, P. W., y Gibson, A. C. (1996). Adaptive strategies of growth form and physiological ecology in neotropical lowland rain forest plants. *Neotropical biodiversity and conservation*, 1, 33.
- Rzedowski G de y Rzedowski G. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México

- Rzedowski J, Equihua M. 1987. Flora. En: *Atlas Cultural de México*. Secretaría de Educación Pública. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Editorial Planeta. México, D. F.
- Rzedowski J. 1972. Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México: III. Algunas tendencias en la distribución geográfica de las Compositae mexicanas. *Ciencia*. **27**: 123-132.
- Rzedowski J. 1978. *La vegetación de México*. Ed. Limusa, S.A. México, D.F.
- Rzedowski J. 2006. *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Saatkamp, A., Poschlod, P., y Venable, D. L. (2014). 11 The Functional Role of Soil Seed Banks in Natural Communities.
- Salazar P. 2015. Situación y Análisis técnico-económico de la de la producción del sotol en el Ejido de San Juan de Cedros, Mpio. de Mazapil, Zacatecas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma “Antonio Narro”. Saltillo, Coahuila, México.
- Sánchez E, Hernández J, Hernández M, Maruri B, Torres L y Chávez R. 2011. *Técnicas para la propagación de especies nativas clave para la forestación, la reforestación y la restauración en el municipio de Querétaro y su área de influencia*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Querétaro. México
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 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*. Diario Oficial de la Federación (DOF), 30-12-2010.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2012. *Adaptación al Cambio Climático en México: Visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*. México, D.F.
- SEMARNAT-CONAFOR. s. f. Catalogo de recursos forestales maderables y no maderables. Clima árido, tropical y templado. URL [http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Catalogo\\_de\\_recursos\\_forestales\\_M\\_y\\_N.pdf](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Catalogo_de_recursos_forestales_M_y_N.pdf)
- Shachak M, Boeken B, Groner E et al (2008) Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *BioScience* 58:209–221

- Shachak M, Boeken B, Groner E et al (2008) Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *Bioscience* 58:209–221
- Shaver G y Chapin F. 1991. *Ecol. Monogr.* 61. 1-31.
- Sierra S, Royo M, Melgoza C, Morales N, Carrillo R, Pinedo A, Pinedo A y Lara M. 2004. Taxonomía, ordenación y análisis de la distribución espacial del sotol. (*Dasyilirion* spp) en el estado de Chihuahua. *INIFAP*.
- Sierra T, Lara M, Carrillo-Romo R, Mendoza-Castillo A, Morales-Nieto C y Royo-Márquez M. 2008. Los sotoles (*Dasyilirion* spp) de Chihuahua. *INIFAP*. Chihuahua, México.
- Simpson R, Leck M y Parker V. 1989. Seed banks: General concepts and methodological issues. En: M. Leck, V Parker y Simpson R. *Ecology of soil seed banks*. Academic Press. London, París.
- Sirotnak J y Huntly N. 2000. Direct and indirect effects of herbivores on nitrogen dynamics: voles in riparian areas. *Ecology* **81**:78–87.
- Skidmore E. 1986. Soil erosion by wind: an overview, páginas: 261-273. En: E. Farouk y M. Hassan (eds) *Physics of desertification*. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Holanda.
- Spaulding W, Bryant V, Cooper A y Pääbo S. 2001. A molecular analysis of dietary diversity for three archaic Native Americans. *P. Natl Acad Sci USA*. **98**:4317–4322.
- Springfield H. 1968. Germination of winterfat. Seeds under different moisture stresses and temperatures. *J Range Manage* **21**:314-316.
- Steenbergh W y Lowe C. 1977. Ecology of the saguaro: II, Reproduction, germination, establishment, growth, and survival of the young plant.
- Summerhayes VS. 1941. The effects of voles (*Microtus agrestis*) on vegetation. *J. Ecol.* **29**:14-48.
- Sutton A. 2000. *El Desierto Chihuahuense, nuestro desierto*. Fondo Mundial para la Naturaleza. En: [URL:http://www.pronatura.org](http://www.pronatura.org).
- Thomey M, Collins S, Vargas R, Johnson J, Brown R, Natving D y Fringgens M. 2011. Effect of precipitatin variability on net primari production and soil respiration in a Chihuahuan Desert Grassland. *Glob Change Biol.* **17**:1505-1515.

- Thompson K, Band S y Hodgson J. 1993. Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology* 7: 236-241.
- Thompson, K. (1987). Seeds and seed banks. *New phytologist*, 106(s1), 23-34
- Thornthwaite C. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev.* **38**: 55-94
- Torres, I., Casas, A., Delgado-Lemus, A., y Rangel-Landa, S. (2016). Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. *Zonas Áridas*, 15(1), 92-109.
- Trewartha G. 1954. An introduction to Climate. McGraw-Hill. New York, USA.
- Tsuyuzaki S, Matsuda M, Akasaka M (2012) Effect of a deciduous shrub on microclimate along an elevation gradient, Mount Koma, northern Japan. *Clim Res* 51:1–10
- Turner R, Alcorn S, Olin G y Booth J. 1966. The influence of shade, soil and water on saguaro seedling establishment. *Bot Gaz.* **127**:95-102.
- Turner R.M. 1990. Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran Desert site. *Ecology* **71**:464-477.
- USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network - (GRIN) [Online Database]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland.
- Valiente-Banuet A y Ezcurra E. 1991. Shade as a Cause of the Association Between the Cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the Nurse Plant *Mimosa luisiana* in the Tehuacan Valley, México. *J Ecol.* **79**: 961-971.
- Van-Groenendael J, Ouborg N y Hendriks R. 1998. Criteria for the introduction of plant species. *Acta Bot. Neerl.* **47**: 3–13.
- Varshney C. 1968. Germination of the light-sensitive seeds of *Ocimum americanum* linn. *New Phytol.* **67**: 125-129
- Vega C, Melgoza C y Sierra T. 2006. Caracterización del crecimiento de dos especies de sotol (*Dasylyrion leiophyllum* Engelm. ex Trelease y *D. sereke* Bogler) fertilizadas con nitrógeno y fósforo. *Rev Cie For.* **31**:55-71.

- Villavicencio-Gutiérrez E, Cano-Pineda A y Juárez-Santana A. 2007. Guía para la micropropagación y producción in vitro de plantas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.). *INIFAP-CIRNOR*.
- Virtanen R, Henttonen H y Laine K. 1997. Lemming grazing and structure of snowbed plant community a long-term experiment at Kilpisjärvi, Finnish Lapland. *Oikos* **79**: 155-166.
- Vogt K. y Bloomfield J. 1991. N Plant Roots, the Hidden Half (Waisel Y, Eschel A, y Kafkali U ed.) pp: 287-306.
- Went F. 1953. The effect of temperature on plant growth. *Ann Rev Plant Physio.* **4**: 347-362.
- Westoby, M., K. French, L. Hughes, B. Rice y L. Rodgerson. 1991. Why do more plant species use ants for dispersal on infertile compared with fertile soils? *Australian Journal of Ecology* 16:445-455
- Whittaker R. 1975. *Communities and Ecosystems*. Mac Millan Publishing Company, Inc. EUA.
- Willemsen R y Rice E. 1972. Mechanism of seed dormancy in *Ambrosia artemisiifolia*. *Am J Bot.* 248-257
- Williams J y Shaykewich C. 1971. Influence of soil water matric potential and hydraulic conductivity on the germination of rapeseed (*Brassica napus* L). *J. Exp. Bot.* **22**: 586-597.
- Yen H y Wensel L. 2000. The relationship between tree diameter growth and climate for coniferous species in northern California. *Can J Forest Res.* **9**: 1463-1471.
- Zamudio S, Rzedowski J, Carranza E y Calderón G. 1992. *La vegetación en el estado de Querétaro*. Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro. Querétaro, Querétaro, México.
- Zárate L. 2003. Inventario de las poblaciones de soto (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en el Estado de Coahuila. Secretaría de Fomento Agropecuario del estado de Coahuila.
- Zúñiga B., Malda G. y Suzan H. (2005). Interacciones Planta-Nodrizas en *Lophophora diffusa* (Cactaceae) en un Desierto Subtropical de México. *Biotropica* 37, 351–356.