

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Estimación, Producción y Pérdida de Semillas de Tres Poblaciones de *Yucca endlichiana* Trel. en General Cepeda y Ramos Arizpe, Coahuila

Por:

CARLOS ARTURO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Estimación, Producción y Pérdida de Semillas de Tres Poblaciones de
Yucca endlichiana Trel. en General Cepeda y Ramos Arizpe, Coahuila.

Por:

CARLOS ARTURO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría

Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal



Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Coasesor

M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor

Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2018

Esta tesis ha sido apoyada por el proyecto de investigación “Producción de semilla e indicadores reproductivos de pináceas y agaváceas del Norte de México” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38111-425103001-2173, que tiene como responsable al Dr. Celestino Flores López.

A las únicas dos personas que con el transcurrir del tiempo y de los años se han dedicado a enseñarme los caminos correctos y a trazar nuevos caminos en la vida, a infundirme valores, educación, confianza en mí mismo y sobretodo darme amor, confianza y seguridad; a mis padres: José Arturo Hernández Díaz y Flor María Hernández Vázquez.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme crecer y desarrollarme como persona, y por obsequiarme las herramientas necesarias para ser profesionista.

Al Dr. Celestino Flores López, por su tiempo, apoyo y dirección para la culminación de este trabajo. Gracias por compartirme de sus conocimientos, por las exigencias y retos en sus clases, pero sobre todo gracias por preocuparse más allá de su deber como profesor, por compartir anécdotas, por su amistad y por su sinceridad.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por su paciencia y tiempo en la revisión de este trabajo. Especialmente le agradezco por todo el apoyo que me ha brindado desde el inicio de mi formación profesional, por su sensatez, por su amistad y por su ayuda en mi construcción personal.

A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres por su disposición a la participación y por el tiempo en la revisión de este trabajo, por su amabilidad y comprensión.

A la Ing. Karla Stephanie Treviño Ruiz por su ayuda en la primer etapa de este trabajo. A la M.C. Ana Bertha Meza Cota y a Judith Reyes Flores por su ayuda en la obtención de datos en campo, por su amistad, su optimismo y especialmente por todo el amor y el apoyo que me han brindado.

Al cuerpo académico del Departamento Forestal por forjarme como profesionista y procurar la superación académica de todos los alumnos. Especialmente al M.C. Aniseto Díaz Balderas por su singular manera de inculcarme valores y disciplina.

A mis hermanos: Yolanda Isabel, Laura Jaquelina y Francisco Javier, por ser el complemento de felicidad en mi vida, por todos aquellos momentos que enriquecen a mi persona y por los lazos que nos unen; a mis cuñados y sobrinos por aportar nuevas experiencias y enriquecer nuestras relaciones familiares.

A mis amigos: Libni Hilaria Pérez Escalante, Oswaldo Godínez Hernández, Jesús Pérez Díaz, Reyna de Jesús Arredondo Delgado, Alejandro Ramírez Pérez, Jesús Deceano Sánchez, Guadalupe Estafania Rivas del Bosque, Bianey Yaricela Rodas de León, Yareli Vidal Pérez, Juan de Jesús Pérez Ortiz, Liliana Sánchez Salinas, Bárbara Lilibeth Sánchez Sánchez, Brenda Monserrat Vázquez Ramos por su alegría, complicidad, optimismo y ayuda en diferentes aspectos de mi vida y por compartir parte de la suya. Y especialmente por ser mi familia y hogar en esta etapa de mi vida, por todas aquellas incontables situaciones que nos permitieron compartir nuestras emociones y sentires.

A todos mis amigos y compañeros de la generación CXXV de la Carrera de Ingeniero Forestal por todas aquellas experiencias compartidas, y por su incondicional apoyo en la superación de obstáculos que nos encontramos en el proceso de la carrera.

Finalmente agradezco quien lee este apartado y más de mi tesis, por permitir a mis experiencias, investigaciones y conocimiento, incurrir dentro de su repertorio de información mental.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos e hipótesis.....	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 <i>Yucca endlichiana</i> Trel.....	6
2.1.1 Taxonomía.....	6
2.1.2 Descripción botánica.....	6
2.1.3 Aspectos ecológicos e importancia de la especie.....	7
2.2 Fragmentación del hábitat.....	8
2.2.1 Consecuencias	9
2.2.2 Poblaciones pequeñas.....	10
2.3 Semillas de zonas áridas	11
2.3.1 Ecología de semillas	11
2.3.2 Estrategias de germinación	12
2.3.3 Producción de semillas	15
2.4 Análisis de la producción y pérdida de semillas forestales.....	15
2.4.1 Metodologías	16
2.4.2 Análisis y pérdida de semillas	18
2.4.3 Endogamia.....	19
2.5 Estudios relacionados con producción y pérdida de semillas forestales	21
3 MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Descripción del área de estudio	22
3.2 Evaluación de seguimiento de desarrollo de flores y frutos y pérdida floral.....	24
3.3 Recolección de semillas y evaluación de plantas	25
3.4 Análisis de cápsulas, producción y pérdida de semillas.....	26
3.5 Prueba de germinación	29
3.6 Análisis estadístico.....	30

3.6.1 Floración y fructificación	30
3.6.2 Producción y pérdida de semillas	30
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1 Floración y fructificación, producción y viabilidad de semillas de plantas individuales de la población Las Coloradas.	32
4.2 Producción y pérdida de semillas.....	38
5 CONCLUSIONES.....	42
6 RECOMENDACIONES	43
7 LITERATURA CITADA.....	44
8 APÉNDICE	52

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Indicadores potenciales del estado reproductivo y genético en árboles, basados en características de conos y semillas (Mosseler <i>et al.</i> 2000).....	17
Cuadro 2. Trabajos relacionados con la producción de semillas en diferentes ecosistemas.....	20
Cuadro 3. Localización, descripción física y de la vegetación de las poblaciones de <i>Yucca endlichiana</i> Trel.	24
Cuadro 4. Número de plantas y cápsulas colectadas de tres poblaciones de <i>Yucca endlichiana</i> Trel., en año de colecta 2016.	26
Cuadro 5. Comparación de pérdida de semillas en cápsulas de tres especies del género <i>Yucca</i>	40
Cuadro 6. Pérdida de semillas en cápsulas de <i>Yucca endlichiana</i> Trel., en año de colecta 2016.	40
Cuadro 7. Trabajos relacionados con potencial y eficiencia de producción de semillas en cápsulas.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de las poblaciones de <i>Yucca endlichiana</i> Trel., en el estado de Coahuila.	22
Figura 2. Variables morfológicas evaluadas en cápsulas y semillas de <i>Yucca endlichiana</i> Trel.	27
Figura 3. Pérdida floral promedio por fecha de evaluación para <i>Yucca endlichiana</i> Trel., y producción promedio de cápsulas maduras en la población Las Coloradas en el año 2017.	33
Figura 4. Producción de semillas de 16 plantas de <i>Yucca endlichiana</i> Trel. de la población Las Coloradas, en el año 2017.	36
Figura 5. Prueba de germinación de semillas de <i>Yucca endlichiana</i> Trel., de la población Las Coloradas para año de colecta 2017.	37
Figura 6. Producción y pérdida de semillas de tres poblaciones de <i>Yucca endlichiana</i> Trel., para año de colecta 2016.	39

RESUMEN

Yucca endlichiana Trel. es una especie rara de importancia ecológica para el desarrollo de otras especies de zonas áridas. El conocimiento básico de la especie, así como de su capacidad reproductiva son elementos necesarios para la creación e innovación de estrategias de conservación, que pueda asegurar, en primer lugar la existencia de la especie, y en segundo lugar la calidad de semilla que pueda ser utilizada en programas de forestación, conservación y restauración ecológica. Dado al poco conocimiento de la especie, el propósito de este estudio fue evaluar la producción y pérdida de semillas a través de los procesos reproductivos, cápsulas, semillas y plántulas.

Para estimar la pérdida de semillas, se evaluó el proceso fenológico de floración y fructificación de 16 plantas de la población Las Coloradas, en un periodo de tres y medio meses. La producción se estimó por medio del potencial y eficiencia de semillas, para lo cual se evaluaron 32, 41 y 55 cápsulas de las poblaciones San Antonio del Jaral y El Dorado, en General Cepeda y Las Coloradas en Ramos Arizpe, Coahuila, respectivamente.

Las mayores pérdidas en la producción ocurren durante la floración, teniendo pérdidas florales hasta del 75%; sin embargo las pérdidas en la producción se presentan también durante la maduración de los frutos; dichas pérdidas son causadas por hongos, insectos u otros factores como la compresión de lóculos y semillas malformadas, además de los óvulos abortados y semillas vanas que son también una parte importante en la pérdida de semillas. La población con el mayor potencial de semillas fue El Dorado con un total de 52 semillas y una eficiencia de 52.84%, sin embargo la población con mejor eficiencia de semillas fue Las Coloradas con un 54.70% y un potencial de 49 semillas por cápsula; mientras que la población de San Antonio del Jaral presentó los valores más bajos con un potencial de 45 semillas y una eficiencia del 49.89%.

Palabras clave: *Yucca endlichiana*, potencial de semillas, eficiencia de semillas, producción de semillas, fenología.

ABSTRACT

Yucca endlichiana Trel. is a rare species of ecological importance for the development of other species of arid zones. The basic knowledge of the species, as well as its reproductive capacity, are necessary elements for the creation and innovation of conservation strategies, which can ensure, in first place, the existence of the species, and secondly the quality of seed that can be used in forestry, conservation and ecological restoration programs. Given the little knowledge of the species, the purpose of this study was to evaluate the production and loss of seeds through reproductive processes, capsules, seeds and seedlings.

To estimate the loss of seeds, the phenological process of flowering and fruiting of 16 plants of the Las Coloradas population was evaluated in a period of two and a half months. The production was estimated by the potential and efficiency of seeds, for which we evaluated 32, 41 and 55 capsules of the populations of San Antonio del Jaral and El Dorado, in General Cepeda and Las Coloradas in Ramos Arizpe, Coahuila, respectively.

The greatest losses in production occur during flowering, with a floral losses of up to 75%; however the losses in the production are also presented during the ripening of the fruits; these losses are caused by fungi, insects or other factors such as compression of locules and malformed seeds, in addition to aborted ovules and vain seeds that are also an important part in the loss of seeds.

The population with the highest seed potential was El Dorado with a total of 52 seeds and an efficiency of 52.84%, however the population with better seed efficiency was Las Coloradas, with 54.70%, and a potential of 49 seeds per capsule; while the population of San Antonio del Jaral, presented the lowest values with a potential of 45 seeds and an efficiency of 49.89%.

Keywords: *Yucca endlichiana*, seed potential, seed efficiency, seed production, phenology.

1 INTRODUCCIÓN

Una importante porción del territorio nacional (54.3%) está ubicada en terrenos áridos o semiáridos, la cubierta vegetal existente en estas regiones es tan diversa que se han denominado una serie de tipos de vegetación caracterizado por su aspecto sobresaliente en su conjunto son considerados como matorral xerófilo, el cual, debido a su amplia distribución permite una alta riqueza de formas biológicas que constituyen modos de adaptación en estas zonas y con ello una vegetación rica en endemismos (Rzedowski, 2006).

Dentro del matorral xerófilo se presentan gran número de especies, de formas variadas y adaptaciones únicas, entre ellas existe un grupo de plantas muy llamativas pertenecientes al género *Yucca*, del que se cuenta con 29 de las 44 especies registradas a nivel mundial, las cuales llegan a ser especies dominantes en estas regiones y representan una fuente de oportunidades para el desarrollo de otros seres vivos, incluyendo al hombre (Matuda y Piña, 1980).

El género *Yucca* ha tenido un lugar preponderante entre las comunidades rurales; las fibras extraídas de las hojas de las plantas son empleadas para confeccionar cuerdas, sandalias, ropa, redes y bolsas. Además de tener diversos usos como son medicinales, cercas vivas, obtención de pastas celulósicas para fabricación de papel, y ser plantas ornamentales, pero principalmente por ser una fuente de ingreso y de subsistencia entre las comunidades rurales, quienes venden la fibra conocida como “ixtle de palma”, y aprovechan las flores y frutos como alimento (Matuda y Piña, 1980).

Las especies de *Yucca* son componentes importantes de la vegetación nativa, puesto que este género puede ser encontrado en asociación con numerosas comunidades de plantas. Tanto en las praderas llanas como en las zonas más elevadas de los pastizales, se asocia con diferentes especies de pastos perennes; en las partes bajas de las montañas se puede encontrar en asociaciones con matorrales; en regiones más secas se puede encontrar con especies de encinos,

enebros y pinos piñoneros; en los bosques montañosos comúnmente se relaciona con pinos y abetos, así como especies arbóreas de hoja ancha y gran cantidad de especies arbustivas (Webber, 1953).

Debido a su amplia distribución y sus múltiples asociaciones vegetales, el género *Yucca* es de gran importancia en los ecosistemas donde se encuentre y es considerado como uno de los grupos de plantas más exitosos en la adaptación en zonas áridas; sin embargo existen cuatro especies de este género enlistadas en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de Protección Especial (Pr), dichas especies son: *Yucca endlichiana* Trel., *Yucca grandiflora* H. S. Gentry, *Yucca lacandonica* Gómez Pompa y J. Valdés, *Yucca queretaroensis* Piña-Luján, de las cuales existen limitados estudios de investigación que ayuden a su conservación, propagación y/o protección (SEMARNAT, 2010).

Yucca endlichiana es una especie de distribución microendémica, cuya área de distribución está restringida a tres cuadros de 1° de latitud por 1° de longitud, que representarían una superficie aproximada de 30,000 km²; pero se encuentra reducida a una porción del estado de Coahuila entre los municipios de General Cepeda y Ramos Arizpe, según reportes de colectas taxonómicas e inventarios de zonas áridas. La importancia de esta especie radica en su papel ecológico ya que permite el desarrollo de otras especies vegetales, especialmente de un gran número de cactáceas, evita la erosión eólica, es refugio para especies de serpientes e insectos, así como alimento para algunos insectos; a pesar de estar en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de Sujeta Protección Especial (Pr) no existe ningún proyecto o estrategia de conservación y/o manejo específico para la especie o su hábitat (García-Mendoza, 2003).

Los factores de riesgo para *Yucca endlichiana* los componen principalmente su endemismo, y el ser una especie de distribución restringida, además de la modificación, fragmentación y destrucción de su hábitat por desmonte, incendios y cambios de uso del suelo, destrucción de la vegetación por la extracción ilegal de plantas con fines ornamentales y comerciales (García-Mendoza, 2003). Además la falta de conocimientos sobre su fenología y ecología (tiempo de apertura floral,

polinización, procesos de fructificación y dispersión de semillas, así como periodos de alta productividad o año semillero), pérdidas de floración por problemas de polinización, formas de producción distintas a las de su género, en pocas cantidades, y por ser poblaciones fragmentadas con plantas aisladas y condiciones no aptas para floración homogénea, en donde pocas y distantes plantas producen polen y permiten el desarrollo de cápsulas con semillas viables (James *et al.*, 1994).

Esta especie posee la ventaja de pertenecer a un género conocido por la resistencia de sus fibras de las cuales se obtiene el “ixtle”, por lo cual podría establecerse un programa de manejo de la especie con fines de aprovechamiento de fibras naturales. Para lograr esto, es necesario estudiar la producción de semillas dentro de las poblaciones existentes, así como la pérdida de semillas y el estado de la regeneración, la cual tiende a ser de difícil regeneración; y así poder conservar a la especie (Matuda y Piña, 1980).

La conservación de estas especies pertenecientes a Agavaceae y Nolinaceae (como *Agave*, *Dasyllirion* y *Yucca*), se ha visto afectada por problemas antropogénicos, destacándose la destrucción, fragmentación y modificación del hábitat siendo las principales causas la expansión agrícola y ganadera, la expansión de áreas rurales y urbanas, así como la apertura de vías de comunicación. Además el continuo incremento de las poblaciones en las zonas áridas y semiáridas ha dejado como consecuencia malas prácticas de aprovechamiento de los recursos naturales, debido a que se han realizado no solo de manera intensiva y no sustentable, sino también con falta de un plan que integre a todos los recursos susceptibles de explotación. El mal aprovechamiento de estos recursos se ve reflejado en la fragmentación del ecosistema y en la disminución considerable de las poblaciones naturales (González-Medrano, 2012).

La reproducción mediante semillas constituye una forma segura de perpetuación de las especies vegetales y la base de la repoblación; la eficiencia reproductiva de las poblaciones se puede determinar por medio de la evaluación de características asociadas con la producción de semillas, como son el tamaño y apertura de los frutos, proporción de semillas llenas y vanas por fruto, proporción de

escamas fértiles e infértiles, número de óvulos abortados, germinación de semillas, y desarrollo y vigor de plántulas (Bramlett *et al.*, 1977).

El método normal para estimar la producción de semilla consiste en realizar el conteo de flores o frutos en una muestra representativa de árboles, sin embargo, este dato por sí solo no puede dar una aproximación confiable de la cantidad de semilla, por lo que es necesario, además, contabilizar la cantidad de semillas contenidas en una muestra de frutos (Willan, 1991).

La metodología del análisis del cono, propuesta por Bramlett *et al.* (1977), permite realizar esta estimación y además relacionarla con el potencial biológico del cono para producir semillas; las semillas desarrolladas son clasificadas como semillas llenas, semillas vanas, semillas llenadas por insectos, semillas dañadas por hongos y semillas con otro tipo de daños. Lo mejor es clasificar las semillas dañadas por insectos indicando a qué se atribuye el daño, con el objetivo de realizar actividades de manejo y prevención adecuadas. Esta metodología permite evaluar la productividad de las especies desde cuatro ángulos: eficiencia y potencial de semilla, eficiencia de extracción, porcentaje de germinación y eficiencia de plántulas (Bramlett *et al.*, 1977).

Debido a la importancia de conocer la producción de semillas del género *Yucca* y al poco conocimiento que se ha generado para especies de zonas áridas, específicamente de *Yucca endlichiana* (la cual es una planta endémica), se evaluará la floración y fructificación de la especie, así como la producción de semillas a través de las características de cápsulas y semillas para estimar el potencial, eficiencia y pérdida de semilla. La pérdida de producción se estimará en dos procesos, el primero mediante el seguimiento de la floración hasta la fructificación y, el segundo, al igual que la eficiencia reproductiva de las poblaciones se determinará evaluando las características asociadas con la producción de semillas, modificando la metodología propuesta por Bramlett *et al.* (1977). A su vez, el desconocimiento general de la especie y su fenología, permite que su importancia ecológica siga siendo menospreciada; por lo cual, el conocimiento del hábitat y las características fenotípicas de las poblaciones de *Yucca endlichiana*, se utilizarán para planeación de

programas de conservación y posible manejo de estas poblaciones con fines antropogénicos.

1.1 Objetivos e hipótesis

El objetivo general fue:

- Estimar la producción y pérdida de semillas de tres poblaciones de *Yucca endlichiana* mediante el análisis de cápsulas y semillas; así como describir las pérdidas ocurridas durante las etapas fenológicas de floración y fructificación.

Los objetivos específicos fueron:

- Monitorear 16 plantas en base a la etapa fenológica floración y fructificación en el año 2017 y explicar la pérdida de semillas ocurrida desde la floración y colecta de cápsulas hasta el análisis de semillas en una de las poblaciones.
- Determinar el potencial y la eficiencia de semillas de *Yucca endlichiana* para estimar la producción de semillas en el año de colecta 2016 de cada una de tres poblaciones.

La hipótesis planteada en este trabajo fue:

Ho₁: El potencial y la eficiencia de semillas son iguales entre las tres poblaciones de *Yucca endlichiana*.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *Yucca endlichiana* Trel.

Es una especie endémica de distribución restringida (Coahuila, México), habita en climas secos, crece en lomas de pendiente suave, sobre suelos arenosos derivados de rocas ígneas, sustrato rocosos de color negro, crece en densos macollos, en altitudes de 1000 – 1200 msnm (Matuda y Piña, 1980; García-Mendoza, 1995)

Incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría: Sujeta a Protección Especial (Pr), y en la lista roja de la IUCN (1997) bajo la categoría de especie rara (R).

2.1.1 Taxonomía

Su nombre es en honor al botánico alemán Rudolf Endlich. Corresponde a la familia de las agaváceas, dentro del género *Yucca*, y se ubica en la sección *Endlichiana* según Hochstätter (2010), quien menciona que el género *Yucca* comprende alrededor de 50 especies y 24 subespecies clasificadas en 5 secciones: (1) Sección *Endlichiana* (*Yucca endlichiana* único representante); (2) Sección *Yucca* (antes *Sarcocarpa*); (3) Sección *Clistocarpa*; (4) Sección *Hesperoyucca*; (5) Sección *Chaenocarpa*.

2.1.2 Descripción botánica

Planta acaule, rizomatosa y surculada, con pocas hojas, erguidas, gruesas y rígidas, de 1.5 cm de ancho por apenas 50 cm de largo, semirrígidas cerca de la base, estrechamente en forma de V por encima, lisas, verde azulado ligeramente moteadas por debajo con guiones longitudinales oscuros cerca de punto gris muy corto y grueso cuya parte basal es negruzca-púrpura: margen marrón, bastante fino o escasamente filiforme por debajo, las fibras recurvadas rígidas se hacen cortas y muy gruesas cerca del ápice. Espina terminal cota y cónica. Panícula más corta que las hojas, libremente ramificada, ramillas con alrededor de seis flores. Flores con pedicelos filiformes de más de 2.3 cm de largo, cremosas a opaco marrón violáceo, muy pequeño para el género: segmentos del perianto ovals, agudos, cerca de 0.8 X

1.5 cm, filamentos cortos, minuciosamente papilares: ovario oblongo, coronado por un estilo delgado de cerca de la mitad de su longitud. Fruto pendiente, subgloboso o ampliamente elipsoidal, de 2 X 2.5 a 3 cm, con carne delgada secándose rápidamente: semillas de 5 a 6 X 6 a 7 mm, más bien delgadas, la albúmina poco desarrollada. Su hábito, estructura, floración y disposición de las hojas son características desviadas del género (Trelease, 1907; Matuda y Piña, 1980) (Apéndice 1).

2.1.3 Aspectos ecológicos e importancia de la especie.

Yucca endlichiana se desarrolla sobre vegetación de matorral en asociación con otras especies como el hojaseén (*Flourensia cernua* D. C.), la gobernadora (*Larrea tridentata* Coville) y un amplio número de cactáceas. Este tipo de asociación es denominado como matorral desértico micrófilo, y se caracteriza por la presencia dominante de especies arbustivas de hojas pequeñas, a veces espinosas, y por plantas crasas, efímeras y cactáceas que se desarrollan a lo largo de abanicos aluviales, planicies, valles, bajadas y lomeríos suaves, en suelos de textura fina y que presentan una capa de rocas (Rzedowski, 1978).

También se encuentra asociada a otras especies de matorral de porte bajo, como son el ocotillo (*Fouquieria splendens* Engelm.), cenizo (*Zinnia acerosa* A. Gray); arbustos bajos: falso guayule (*Parthenium incanum* Kunth), sangre de drago (*Jatropha dioica* Sessé ex Carv), corona de cristo (*Koeberlinia spinosa* Zucc.); y arbustos espinosos: mezquites y acacias (*Prosopis glandulosa* Torr., *Acacia berlandieri* Benth., *Acacia rigidula* Benth., *Acacia tortuosa* Willd.). La alta abundancia de cactáceas también caracteriza a esta asociación, de los cuales destacan: *Ariocarpus retusus* Scheidw., *A. furfuraceus* S. Wats., *A. bravoanus* H. M. Hern. y E. F. Anderson, *Astrophytum capricorne* Lem., *A. ornatum* (D.C.) Britton y Rose, *Coryphantha radians* (D.C.) Lem., *C. glanduligera* (Otto in A. Dietr.) Lem., *C. speciosa* (Engelm.) Britton y Rose, *C. palmeri* (Engelm.) Britton y Rose, *C. poselgeriana* (A. Dietr.) Britton y Rose, *C. wohlschlagerei* (Weing.) Bravo, *Cylindropuntia imbricata* (Haw.) F.M. Knuth, *C. leptocaulis* (D.C.) F.M. Knuth, *C. tunicata* F.M. Kunth, *Echinocactus horzonthalonius* Lem., *E. parryi* Engelm., *E.*

platyacanthus Link y Otto, *Echinocereus conglomeratus* C.F. Först., *E. enneacanthus* Engelm., *E. dubius* Engelm. , *E. nivosus* Glass y R.A. Foster, *E. poselgeri* Lem., *E. stramineus* (Engelm.) F. Seitz, *E. viridiflorus* Engelm., *E. waldeisii* E. Haugg., *Lophophora fricii* (Croizat) Bravo, *L. williamsii* (Lem.ex Salm-Dyck) J.M. Coult, *Mammillaria aurihamata* D.C., *M. candida* (Scheidw.) Buxb., *M. gummifera* Muehlenpf., *M. lenta* K., *M. microcarpa* Engelm., *M. pilispina* J.A. Purpus, *M. plumosa* F.A.C. Weber, *M. pottsii* Scheer ex Salm-Dyck, *Opuntia rastrera* F.A.C. Weber, *O. microdasys* (Lehm.) Pfeiff., *Thelocactus leucacanthus* (K. Schum.) Britton y Rose, *Turbinicarpus beguinii* (N.P. Taylor) Mosco y Zanov. y *T.mandragora* (Fric ex A. Berger) A.D. Zimmerman (Ugalde *et al.*, 2008; Arredondo y Sotomayor, 2009).

El clima es extremoso, particularmente durante el día (promedio anual de oscilación diurna hasta de 20°C), insolación intensa, humedad atmosférica baja, evaporación y transpiración altas; vientos fuertes poco frecuentes, pero provocan erosión por la cantidad de partículas de suelo que levantan y que llevan en suspensión. La precipitación media anual es de 175 mm; de los cuales cerca del 65-80% cae durante los meses de verano (junio-septiembre), con una ligera precipitación de octubre a diciembre. Entre enero y mayo el área es muy seca; las temperaturas diurnas en verano son de 5.5 a 11°C crece en densos macollos que junto con *Yucca torreyi* Shafer, *Yucca treculeana* Carrière y *Agave lechuguilla* Torr. forman parte del matorral desértico (Matuda y Piña, 1980).

La importancia de *Yucca endlichiana* radica en su endemismo, y en el papel que juega dentro del ecosistema al estar asociada a diversas especies de cactáceas, fungiendo como planta nodriza; debido a su crecimiento en densos manchones circulares ayuda a prevenir la pérdida de suelo por erosión eólica, así como a la retención de agua y aumentando el contenido orgánico del suelo; además de proveer alimento y refugio a la fauna silvestre, y ser una planta con fibras resistentes para el uso en cordelería (Matuda y Piña, 1980).

2.2 Fragmentación del hábitat

La fragmentación es el resultado de un proceso de división progresiva de un hábitat relativamente continuo en un conjunto de fragmentos aislados y de pequeña

extensión, que quedan absorbidos en una matriz de hábitat degradado, cualitativamente muy diferente al original; que puede producirse por procesos naturales que alteran el medio lentamente (como el viento, tormentas, derrumbes, fuegos, depredación) o por actividades humanas, como el establecimiento de cultivos, carreteras, ciudades, etc. (Saunders *et al.*, 1991)

Este complejo fenómeno engloba tres procesos simultáneos e interdependientes de alteración al paisaje, debido a los cuales se incrementa el riesgo de extinción de las poblaciones de los hábitats originales: (1) La continua reducción de la superficie de los fragmentos origina una pérdida de hábitat que puede dar lugar a reducciones directas de los tamaños poblacionales. Esto implica un aumento de la estocasticidad demográfica y ambiental que puede inducir al colapso demográfico (Turner, 1996); (2) La separación progresiva de los fragmentos de hábitat conduce al aislamiento creciente de las poblaciones que albergan, con lo que disminuye la capacidad de dispersión (Fahrig y Merriam, 1994), y se reducen de forma indirecta los tamaños de población; (3) Los efectos de borde, resultantes del incremento de la relación perímetro/superficie de los fragmentos, consiste en cambios en las condiciones biológicas y físicas en las zonas cercanas a los límites de los fragmentos, y pueden alterar los ciclos de vida de las especies que viven en ellos (Murcia, 1995). Estos tres procesos están interrelacionados, y en general la subdivisión del hábitat y los efectos de borde son mayores en áreas con disponibilidad de hábitat intermedia (Fahrig, 2003).

2.2.1 Consecuencias

La fragmentación del hábitat tiene un efecto negativo sobre la adecuación biológica de las plantas a través de la reducción en la calidad de semillas producidas, al disminuir atributos como el tamaño y su capacidad germinativa, y por tanto la viabilidad de las mismas. Dicho efecto es causado por la reducción en los tamaños poblacionales en los fragmentos, el grado de aislamiento que presentan y por la disminución del flujo genético, causando una menor variabilidad genética en las poblaciones e inducir a la expresión de depresión por endogamia (Henríquez, 2004).

También involucra la pérdida del hábitat, debido a la transformación a otro tipo de uso de suelo en algunos fragmentos de paisaje, con lo cual, los flujos naturales de materia y energía se ven alterados. Cuanto más pequeño son los fragmentos, mayor vulnerabilidad para las especies a las condiciones ambientales adversas, que son más frecuentes en sus bordes que en el interior, y por tanto hay una mayor probabilidad de extinción. También esta probabilidad aumenta cuanto menor sea el número de individuos que formen las poblaciones que permanecen en los fragmentos (Estades, 2003; Santos y Tellería, 2006).

Los efectos de la fragmentación sobre la flora y la fauna dependerán del grado de vulnerabilidad que presenten las especies ante las nuevas condiciones del ecosistema y a su resistencia al efecto del borde, el cual puede tener dos tipos de efectos sobre los hábitats: (1) abióticos: cambios en las condiciones medioambientales. Formación de un gradiente hacia el interior del fragmento de forma que normalmente disminuye la luminosidad, la evapotranspiración, la temperatura y la velocidad del viento, y aumenta la humedad del suelo, como consecuencia hay cambios en los procesos biológicos como la fotosíntesis, el desarrollo de la vegetación, la descomposición o el ciclo de nutrientes. (2) bióticos: cambios en la abundancia y distribución de especies y sus interacciones (depredación, parasitismo, competencia, polinización, dispersión de semillas, etc.). Desplazamiento de especies nativas por especies invasoras, así como algunas especies que viven entre dos tipos de ambiente pueden verse favorecidas por la creación de bordes y ser una importante competencia (Fahrig, 2003).

2.2.2 Poblaciones pequeñas

Las poblaciones pequeñas de plantas y animales son frecuentes dentro de la naturaleza, pues algunas especies habitan de modo natural en forma reducida y dispersa, y básicamente existen tres tipos. En primer lugar, las poblaciones que siempre han sido pequeñas debido a limitaciones ecológicas (confinamientos a zonas geográficamente aisladas, adaptaciones a un tipo de clima o recurso escaso, sitios con los requisitos específicos del hábitat de las especies son distantes entre sí y se encuentran más allá de la distancia normal de dispersión, o una baja capacidad

de dispersión). En segundo lugar están las que provienen de poblaciones grandes venidas a menos; como es el caso de diversas especies mexicanas cuyo hábitat ha sido fragmentado, colocándolas en un umbral de riesgo o borde a la extinción, la mayoría de estas especies se encuentran enlistadas en la NOM-059.SEMARNAT-2010, bajo alguna categoría de riesgo para evitar su extinción. Y por último, aquellas que son propágulos de poblaciones grandes que están empezando a medrar en sitios recientemente colonizados, como lo hacen las especies invasoras (Martínez y Oro, 2006; Loo, 2011).

Las poblaciones pequeñas poblaciones afrontan, además, cuestiones genéticas y ecológicas que las colocan en un umbral de riesgo, como son: la deriva genética, diversidad genética baja y la endogamia; así como la reducción de su densidad (por depredadores u otros factores), la fragmentación del hábitat, la falta de interacción con otras formas de vida, alta susceptibilidad a eventos estocásticos ambientales y demográficos; todo esto se traduce en un menor éxito reproductivo o una mayor tasa de mortalidad, lo que conduce a las poblaciones a la extinción (Martínez y Oro, 2006).

2.3 Semillas de zonas áridas

2.3.1 Ecología de semillas

Los aspectos ecofisiológicos de las semillas de plantas de zonas áridas se conocen poco. Los estudios que se han hecho son escasos y con análisis muy someros. Entre los trabajos pioneros resaltan los realizados por Went (1973), quien inicia el estudio de las relaciones existentes entre los factores bióticos y abióticos con las plantas de los ambientes áridos.

El banco de semillas se entiende como una reserva de semillas viables presentes en el suelo, que tienen diferentes orígenes, unas son producidas por las plantas del área, o provienen de otros sitios y han llegado a dicha zona por la actividad de diferentes agentes dispersores. Hay dos tipos de factores que influyen en que se conserven sin germinar: intrínsecos, como diversos tipos de latencia, inhibidores químicos u otros no bien conocidos aún, o bien factores extrínsecos,

como escasez de agua, de luz, de una escarificación mecánica o de oxígeno suficiente, debido al hecho de encontrarse enterradas (Went, 1973).

La abundancia y la distribución en el espacio de las semillas en suelos del desierto son importantes, en la estructura de las comunidades vegetales y como fuente de alimento para los animales. Childs y Goodall (1972) mencionan que hay una disminución significativa del contenido de semillas a medida que aumenta la profundidad del suelo, y que las áreas abiertas albergan una menor proporción de semillas que aquéllas localizadas bajo los arbustos. Barbour *et al.* (1999) encontraron que casi dos terceras partes de todas las semillas fueron encontradas en la superficie del suelo, y sólo 10 % se ubicó entre 1 y 10 cm de profundidad. Las variaciones temporales del banco de semillas están relacionadas con varios factores, como la precipitación y la temperatura, que afectan, a su vez, la germinación y la producción de semillas de las anuales de invierno, así como con la actividad de los depredadores de semillas. Durante largos periodos la producción de semillas fue mayor en las especies arbustivas que en las demás especies (Chew y Nelson, 1975).

2.3.2 Estrategias de germinación

Las especies de zonas áridas han desarrollado adaptaciones necesarias para asegurar sus poblaciones por medio de la reproducción por semillas, a estas adaptaciones se le conocen como estrategias germinativas; las cuales se deben a que generalmente en estos ecosistemas los organismos se encuentran continuamente en altos niveles de estrés (temperaturas extremas, escasez del recurso hídrico, altos niveles de depredación), por las condiciones propias del ecosistema; y que se considera de bajo disturbio debido a una ausencia prolongada de eventos que modifiquen repentinamente al mismo, a excepción de la fragmentación (Pickett y White, 1985; Sánchez *et al.*, 2010).

Las especies de zonas áridas responden estratégicamente al ambiente formando semillas de diferentes tamaños, donde las semillas pequeñas poseen capacidades germinativas vertiginosas, resistencia a largos periodos de sequía (hasta que las condiciones de humedad favorezcan su germinación) y una mayor efectividad en la dispersión, viabilidad, emergencia, supervivencia e incremento de la habilidad competitiva de las plántulas (Harper *et al.*, 1970); el tamaño de las semillas

puede variar por diferencias en la historia de vida de cada planta, al período ambiental en que se genere, por diferencia entre poblaciones y/o individuos o como resultado de diferencias genéticas; por lo tanto el tamaño de la semilla producirá resultados germinativos distintos en cada especie (Barbour *et al.*,1999). El efecto de mayor importancia se presenta a nivel de sobrevivencia en plántulas (debido a que éstas deben desarrollarse en un período corto de humedad que se presente de manera espontánea o periódica) y no del tamaño de la semilla que se produce (Venable y Pake, 1999).

Generalmente la cantidad de semillas por fruto pasa desapercibida al enfocarse al tamaño de las mismas, pero es importante principalmente en especies que carecen de algún tipo de mucílago o estructura accesoria. La estrategia consiste en formar y ofrecer una gran cantidad de semillas disminuyendo la probabilidad de contener semillas en mal estado (no apetecibles para el consumidor o dispersor) y aumentar las cualidades nutritivas atrayendo principalmente a las hormigas granívoras, aves y roedores que son las principales dispersores de ambientes áridos (Buckley, 1982). Por otro lado, las semillas de ambientes áridos producen estructuras que les ayudan a la dispersión como elaiosomas (reservas de sustancias nutritivas), pulpa, arilos o características de adhesión. Las que carecen de ellas poseen estructuras laminares o “alas” para una dispersión eólica (Jurado y Westoby, 1999); las cuales funcionan como parte de la dieta de algunos reptiles menores en la cual incluyen granos (Sáez y Traveset, 1995; Corlett, 1998).

Las semillas de ambientes áridos han demostrado algún tipo de habilidad (ya sea por adaptaciones morfológicas, fisiológicas o por estrategias reproductivas, o la combinación de algunas de éstas) para alcanzar la madurez y poderse reproducir en este ambiente. El fenómeno de viviparidad es un claro ejemplo de estas estrategias, pues activa la germinación de las semillas dentro del fruto con la finalidad de formar plántulas con estados de desarrollo más avanzados que las que germinan en el exterior (Cota, 2007). La combinación de características de los frutos vivíparos, tales como pericarpio grueso, generalmente carnosos y con pulpa, proporciona condiciones propicias que promueven la germinación y a la vez incuban y embeben a

las semillas y plántulas en una barrera protectora aislante contra factores adversos (Salisbury y Ross, 2000).

Las especies de ambientes áridos producen semillas que responden positivamente en mayor o menor grado a los períodos intermitentes del recurso hídrico. Generalmente se presentan dos estrategias típicas, la primera donde se agrupan especies que arriesgan un lote mínimo de semillas post-precipitación, germinando rápidamente y la segunda donde se encuentran semillas con alta germinabilidad, las cuales germinan a consecuencia de la acumulación de humedad en el suelo de varios días (Jurado y Westoby, 1999). Se ha propuesto que generalmente la velocidad de germinación aumenta en forma directa con la temperatura, respondiendo a fluctuaciones estacionales y cotidianas (Taylor *et al.* 1999) o bien por el incremento de la actividad enzimática que se encarga del desdoblamiento de las sustancias de reserva en las semillas (Copeland, 1976). La velocidad de germinación se encuentra relacionada proporcionalmente con el tamaño de la semilla, por lo que las semillas grandes presentarán una germinación más lenta por tomarles mayor tiempo en acumular humedad y embeberse, mientras que las semillas pequeñas presentan un menor cociente de superficie/volumen aumentando su velocidad germinativa (Harper *et al.* 1970).

La dormancia es una de las respuestas estratégicas de mayor importancia para la sobrevivencia de las plantas en ambientes áridos, se presenta cuando en el medio no se reúnen las características favorables y por consecuencia no se lleva a cabo la germinación, y las semillas son capaces de tolerar extrema desecación y mantener la capacidad de germinar cuando sea conveniente (Rolston, 1978; Priestley, 1986; Leprince *et al.*, 1993). Además se puede interpretar como el resultado de una estrategia de formación de bancos de semillas persistentes en el suelo que poseen como característica principal una cubierta tegumentaria dura, o como una estrategia de dispersión en el tiempo que previene la germinación de semillas ante eventos climáticos ocasionales (chubascos, rocíos) que se presentan en épocas secas pero que no aportan la humedad suficiente para que pueda asegurar el establecimiento y crecimiento de las plántulas (Fenner, 1985).

2.3.3 Producción de semillas

Lyons (1956) desarrolló el primer estudio que dio inicio a las metodologías de análisis de conos y semillas, en dicho estudio utilizó los términos “seed production capacity” y “seed production efficiency” al estudiar la biología de la producción de semillas del pino rojo (*Pinus resinosa* Ait.) en Ontario, Canadá; el primer concepto se refiere al número de óvulos que son capaces de convertirse en semillas por estar desarrollados normalmente al tiempo de la polinización; el segundo es la proporción de esos óvulos que se en realidad se convirtieron en semillas. La capacidad de producción de semillas es una característica fijada en el cono en el momento de la polinización, la eficiencia en cambio es variable y expresa el éxito del cono en la producción de semillas. Para ello, tomó en cuenta (primeramente) las variables de: tamaño de cono y posición del cono dentro del árbol, argumentando que la relación entre el tamaño del cono y la producción de semillas es variable entre cada individuo, pero que generalmente un cono más grande implica un mayor número de escamas, y por consecuencia, mayor número de óvulos con la oportunidad de desarrollarse; y que la posición del cono dentro del árbol es un tanto influyente en la producción de semillas, dado que los conos de la parte superior de copa son más grandes, vigorosos y productivos que los conos de la parte inferior de la copa, lo que implica un mayor número de óvulos desarrollados.

2.4 Análisis de la producción y pérdida de semillas forestales

Lyons (1956) menciona que para comprender mejor la producción de semillas (para pino rojo), hay que comprender primeramente la biología de la producción de conos, enfatizando a los factores que restringen la producción por conos formados (condiciones óptimas del ambiente y equilibrio fisiológico) e indica que uno de los factores más importantes son los insectos pero que, es obvio que éstos no explican completamente la pérdida de semillas y la reducción de producción de semillas. Para realizar el análisis de producción y pérdida de semillas se debe estudiar el ciclo reproductivo desde el inicio e identificar la naturaleza de los conos, es decir, observar que no todo el cono es productivo, sino que está dividido en tres regiones, las dos primeras regiones, que contienen más de la mitad de los óvulos del cono, se consideran incapaces de producir semillas, mientras que la tercera región, en virtud

de sus óvulos normales, es capaz de producir semillas y alberga el 45% de los óvulos aproximadamente. La pérdida de semillas comienza desde el desarrollo temprano de los conos, muchos óvulos abortan después del tiempo de la dispersión del polen, de modo que el rendimiento de la semilla rara vez, si es que lo es, es tan grande como la capacidad de la semilla. Aunque es obvio que los fenómenos asociados con la polinización representan solo una pequeña parte del total de los óvulos abortados, es decir, los pocos óvulos que abortan en el tiempo normal de la fecundación, cualquier intento de explicar la causa del aborto de óvulos en los conos sería especulativo en la actualidad, pero se sugiere que pueden estar involucrados factores nutricionales.

2.4.1 Metodologías

Las técnicas para determinar la eficiencia y producción de semillas fueron desarrolladas por primera vez por Lyons (1956) en el estudio de *Pinus resinosa* o pino rojo, metodología que sería aún más desarrollada por Bramlett *et al.* (1977), quienes establecen que la producción de semillas de pinos puede ser evaluada en cuatro estados del proceso productivo del huerto semillero, desarrollando cuatro conceptos de eficiencia: eficiencia de conos, eficiencia de semillas, eficiencia de extracción y eficiencia de germinación. La eficiencia de conos (EC) es la tasa resultante del número de conos desarrollados entre el total de flores producidas por un árbol o clon; la eficiencia de semillas (ES) es la tasa resultante del número de semillas desarrolladas en un cono entre el potencial de semillas del mismo; la eficiencia de extracción (EE) es la tasa resultante del número de semillas extraídas en la apertura del cono entre el total de semillas producidas en el mismo; y, la eficiencia de germinación (EG) es la tasa del número de semillas germinadas entre el total de semillas desarrolladas del cono. El potencial de semillas es el número máximo que el cono es biológicamente capaz de producir, es decir, es el límite biológico superior de producción de semillas de un cono dado.

Cuadro 1. Indicadores potenciales del estado reproductivo y genético en árboles, basados en características de conos y semillas (Mosseler *et al.* 2000).

Criterio de viabilidad de la población	Indicadores
Estado reproductivo	Peso del cono Cantidad de semillas llenas por cono Eficiencia de la semilla Proporción de semillas Eficiencia reproductiva Calidad de semilla Vigor de plántula Coeficiente de endogamia Estimaciones de endogamia basadas en genes marcadores morfológicos.
Estado genético	Varianza genética Presencia de alelos raros Frecuencias genéticas Deriva genética.
Tamaño mínimo de población viable	Tamaño de población Densidad de población Distribución del paisaje (fragmentación).

Más tarde, Mosseler *et al.* (2000) utilizan la metodología del análisis de conos de Bramlet *et al.* (1977) para estudiar la viabilidad genética de las poblaciones de *Picea rubens*, determinar su estado reproductivo y genético. Para ello, evaluaron los indicadores reproductivos, lo que les permitió estimar los parámetros de viabilidad poblacional, dentro de los que se incluyen los tamaños poblacionales, las densidades dentro de las poblaciones, así como los niveles de fragmentación poblacional. Los parámetros evaluados se basan principalmente en las características de los conos, semillas y plántulas (Cuadro 1), y permiten evaluar desde la producción y eficiencia de semillas hasta el éxito reproductivo y la aptitud de la progenie.

2.4.2 Análisis y pérdida de semillas

Ciertamente el estudio de la producción de semillas de cualquier especie forestal implica analizar la pérdida de semillas, la cual generalmente se atribuye a factores externos a la planta (insectos, hongos, daños mecánicos, e incluso los factores ambientales), y pocas veces se considera la biología de la producción de semillas. Lyons (1956) y Bramlett *et al.* (1977) especifican que el análisis de pérdida de semillas (en estudios de especies de pino) consta de dos partes: el aborto de óvulos en los primeros dos años de desarrollo de los conos y en el desarrollo de las semillas.

Muchos óvulos son abortados durante el primer año de desarrollo de los conos, debido a la falta de polen o que éste no sea viable; ya que el polen debe estar disponible en cantidad suficiente cuando las flores son receptivas, germinar y crecer en el tejido del óvulo, de otro modo el óvulo es abortado. También se debe a la alimentación de insectos (en estado larvario o de ninfas), quienes se alimentan de los óvulos, interrumpiendo así el proceso de desarrollo, y con ello, una pérdida en las semillas producidas. En el segundo año de desarrollo, los óvulos abortados son el resultado de daños por insectos, por perforaciones para alimentarse o para ovopositar sus huevecillos, estos óvulos a menudo aparecen resinosos, colapsados o necróticos en la madurez; pero también por problemas en el desarrollo, es decir, los óvulos dejan de crecer quedando como semillas minúsculas, éstos están todos

vacíos. Se desconoce la causa de este tipo de mortalidad de los óvulos (Bramlett *et al.*, 1977).

Para entender el desarrollo de las semillas, Bramlett *et al.* (1977), clasificaron las semillas desarrolladas en tres categorías: (1) semillas llenas (potencialmente semillas sanas) son aquellas que tienen el tejido gametofito intacto y sano, una característica normal, y sin evidencia de daño por insectos o hongos; (2) semillas parcialmente llenas, son aquellas que tienen el tejido gametófito desarrollado pero dañado por diversas causas, no son semillas totalmente sanas, las causas de estos daños son causados principalmente por la alimentación de insectos que se alimentan del gametofito mientras completan su ciclo de madurez, daños por hongos, que reduce el porcentaje de germinación y aumenta la defoliación en las plántulas; daños por semillas malformadas (embriones incompletos, distorsionados o gametofitos incompletos), y (3) semillas vacías, son aquellas que contienen sólo un remanente de gametofito o tejido embrionario, causadas por dos factores: primero, presencia de algunos genes letales recesivos, y en segundo lugar, la depredación de semillas por insectos durante las primeras etapas de embrión y gametofito, el desarrollo de éstas producirá una capa de semilla completamente vacía, dado que el tejido de gametofito es completamente destruido por el aparato digestivo y enzimas del insecto.

2.4.3 Endogamia

La endogamia reduce la diversidad en poblaciones pequeñas y aisladas, y es el resultado del cruzamiento de individuos que tienen al menos un ancestro común; las consecuencias del cruzamiento entre individuos emparentados en la progenie es que dos alelos en un locus determinado pueden ser idénticos por descendencia lo que significa que son copias de un alelo presente en un ancestro común. Tanto los individuos como las poblaciones, pueden experimentar los efectos de la endogamia, la cual puede incrementarse rápidamente si el apareamiento es entre parientes muy cercanos; por ejemplo, progenitores que se aparean con su descendencia, o apareamiento entre hermanos; los efectos pueden aumentar más lentamente si el apareamientos ocurre entre individuos menos emparentados; sin embargo, a largo plazo, la endogamia aumenta en una población aislada (Loo, 2011).

Cuadro 2. Trabajos relacionados con la producción de semillas en diferentes ecosistemas.

Autor (es)	Especie (s) estudiada (s)	Investigación realizada
Lyons (1956)	<i>Pinus resinosa</i>	
Alba-Landa et al. (2003)	<i>Pinus hartwegii</i>	
Alba-Landa y Márquez (2006)	<i>Pinus oaxacana</i>	Potencial y eficiencia de producción de semillas
Mendizábal-Hernández et al.(2010)	<i>Pinus teocote</i>	
Bustamante-García et al.(2012)	<i>Pinus engelmannii</i>	
Mendizábal-Hernández et al. (2015)	<i>Pinus chiapensis</i>	
Flores-López et al. (2012)	<i>Picea martinezii</i>	
Niembro (1995, a) [†]	<i>Cedrela odorata</i>	Rendimiento de semillas y relaciones existentes entre peso (g), longitud (mm), diámetro (mm), NSDM, PP, NSG, PS, EP y EG.
Niembro (1995, b) [†]	<i>Swietenia macrophylla</i>	
Álvarez (2000) [†]	<i>Cedrela odorata</i> <i>Tabebuia rosea</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Cupressus lusitanica</i>	Relación entre peso y tamaño de cono con la cantidad de semillas producidas.
Rodríguez-Rivas et al. (2001) [†]	<i>Cedrela odorata</i>	Potencial y eficiencia de los frutos en producción de semillas, así como su relación entre su peso, largo y ancho.
Treviño (2016) ^{††}	<i>Yucca filifera</i> <i>Yucca treculeana</i>	Potencial de semillas e indicadores reproductivos.

[†]Investigación en la que se realizaron modificaciones a la metodología de Bramlett et al. (1977) para frutos de especies tropicales. ^{††} Investigación en base a la metodología de Bramlett et al. (1977) y las modificaciones de Niembro (1995a, 1995b) para frutos de especies de zonas áridas. NSDM: Número de semillas desarrolladas y malformadas. PP: Potencial de producción de semillas. NSG: Número de semillas germinadas. PS: Peso de semillas desarrolladas. EP: Eficiencia de producción de semillas viables. EG: Eficiencia de germinación.

2.5 Estudios relacionados con producción y pérdida de semillas forestales

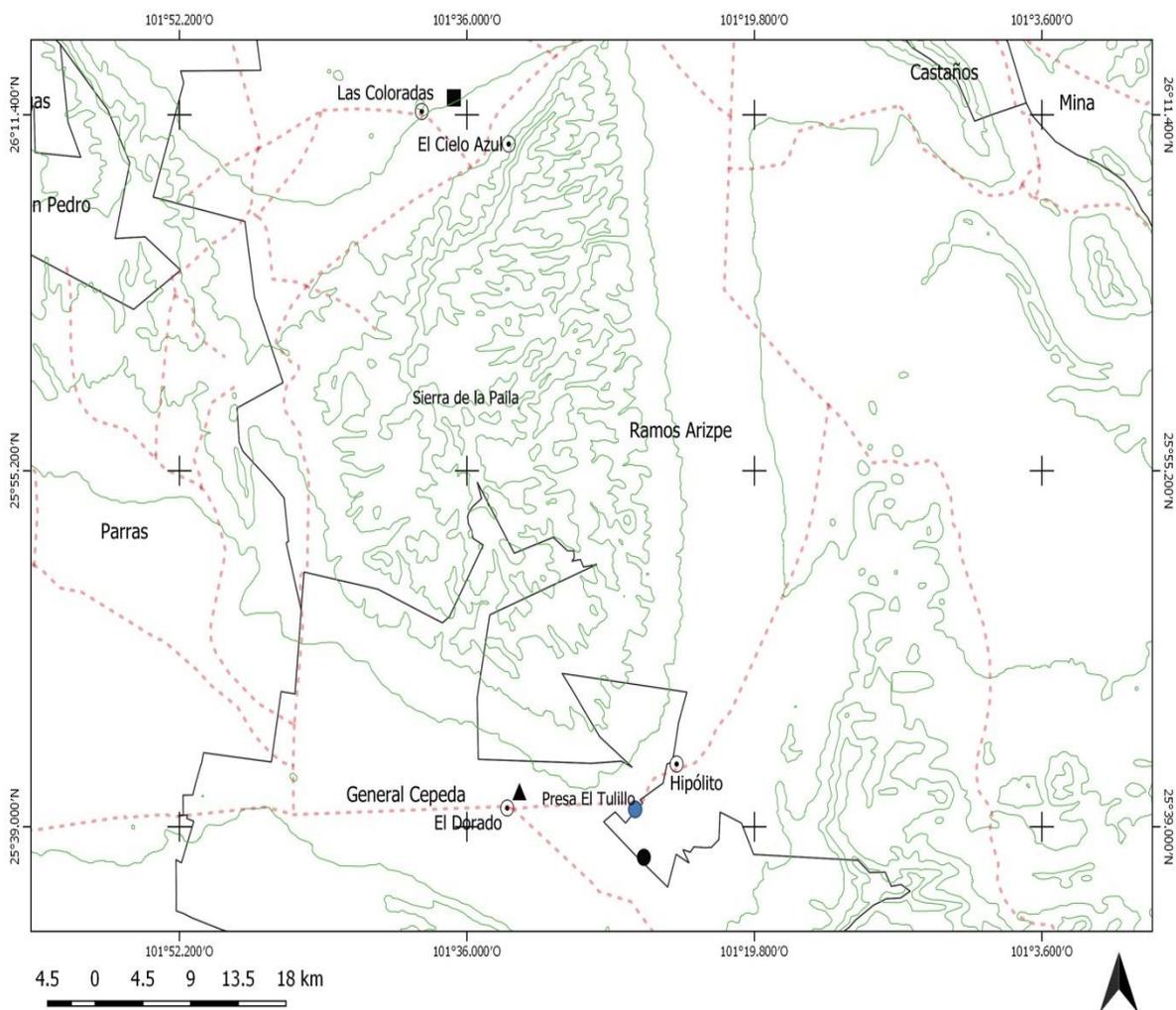
Los primeros estudios sobre la producción de semillas fueron realizados por Lyons (1956) y Bramlett *et al.* (1977), quienes relacionan el desarrollo y la mortalidad de flores y conos en las primeras etapas de desarrollo con la producción total de semillas en especies de pinos. Gracias a estos estudios y a la metodología desarrollada, se han realizado algunos trabajos sobre el potencial y eficiencia de semillas en especies de coníferas, como son: *Pinus resinosa* Alt., *Pinus hartwegii* Lind., *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus teocote* Schl. et Cham., *Pinus chiapensis* Martínez (Andresen), *Pinus engelmanni* Carr, *Picea martinezii* T.F. Paterson, por Lyons (1956), Alba-Landa *et al.* (2003), Alba-Landa y Márquez (2006), Mendizábal-Hernández *et al.* (2010, 2015), Bustamante-García *et al.* (2012), Flores-López *et al.* (2012); en dichos estudios se calcularon el potencial de producción de semillas y la eficiencia de producción de semillas.

El conocimiento generado para especies de coníferas de clima templado es lo suficientemente amplio para comprender la producción de semillas y la forma de evaluarla, contrastante a esto, las metodologías para especies tropicales no han sido desarrolladas completamente, siendo poca la información disponible, y enfocada a especies maderables de importancia ecológica y valor comercial como son el cedro y la caoba, estudiadas por Niembro (1995a, 1995b); y los estudios en zonas áridas pasan prácticamente desapercibidos, recientemente Treviño (2016) basado en Bramlett *et al.* (1977), Niembro (1995a, 1995b) y Mosseler *et al.* (2000), desarrolló un estudio de producción de semillas e indicadores reproductivos para las especies de *Yucca filifera* y *Yucca treculeana*, el cual resulta de gran importancia para el presente estudio (Cuadro 2).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en tres poblaciones de *Yucca endlichiana* ubicadas en: ejido Las Coloradas en Ramos Arizpe; ranchería El Dorado y ejido San Antonio del Jaral en el municipio de General Cepeda, Coahuila (Figura 1, Cuadro 3).



● Población San Antonio del Jaral ▲ Población El Dorado ■ Población Las Coloradas.

Escala gráfica de carta 1:350,000.

Figura 1. Ubicación de las poblaciones de *Yucca endlichiana* Trel., en el estado de Coahuila.

Las tres poblaciones de *Yucca endlichiana* se encuentran dentro del matorral xerófito micrófilo, y el uso de suelo es de Agricultura de temporal de parte de las

comunidades rurales que ahí se encuentran; crecen en densos manchones dispersos, a veces discontinuos y en asociación con un amplio número de especies, en especial con *Agave lechuguilla* (lechuguilla) y *Euphorbia antisiphylitica* (candelilla), lo que provoca la extracción de plantas durante el aprovechamiento de las especies anteriormente mencionadas.

Cabe mencionar que la población de San Antonio del Jaral se encuentra en los límites del Área de Importancia para la Conservación de Aves (AICA) Presa El Tullillo, reconocida a nivel nacional como AICA No. 71, la cual es importante por presentar altas concentraciones de aves residentes, así como de aves migratorias de invierno y primavera (CONABIO, 2006).

Las poblaciones se encuentran en lomas de pendiente suave, ubicadas en un rango altitudinal de 1100-1200 msnm, dentro de dos regiones hidrológicas (RH): las poblaciones de San Antonio del Jaral y El Dorado corresponden a la RH Bravo-Conchos, mientras que la población de Las Coloradas se encuentra en la RH Mapimí. Las poblaciones estudiadas forman parte del mismo tipo de vegetación denominado matorral xerófilo-micrófilo, y presentan un clima tipo BSohw: árido, semi-cálido, temperatura entre 18°C y 22°C, y lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual (García-CONABIO, 1998).

Por otra parte, estas poblaciones difieren en el tipo de suelo en el que se desarrollan, en la población de El Dorado el tipo de suelo dominante es xerosol cálcico, caracterizados por una capa superficial clara y delgada, con cantidades variables de materia orgánica y con cales en alguna parte del suelo; en la población Las Coloradas dominan los suelos xerosol háplico, que difiere del suelo anterior por ausencia de cales en el suelo; mientras que en San Antonio del Jaral predomina el suelo tipo solonchak órtico, que son suelos alcalinos con alto contenido de sales en alguna capa a menos de 125 cm de profundidad, con una capa superficial clara y pobre en materia orgánica y nutrientes (INIFAP-CONABIO, 1995).

Cuadro 3. Localización, descripción física y de la vegetación de las poblaciones de *Yucca endlichiana* Trel.

Descripción	Localidad		
	El Dorado	San Antonio del Jaral	Las Coloradas
	25°39'41.3"	25°37'28.8"	26°11'48.1"
Coordenadas	101°33'11.3"	101°26'12.0"	101°37'42.9"
Altitud	1140 msnm	1148 msnm	1197 msnm
Hidrología	Región Hidrológica Bravo-Conchos		Región Hidrológica Mapimí
Edafología [†]	Tipo de suelo	Tipo de Suelo Solonchak	Tipo de suelo
	Xerosol Cálcico	Órtico	Xerosol Háplico
Clima ^{††}	Tipo BSohw, Árido, semi-cálido, temperatura entre 18°C y 22°C; lluvias de verano		
Vegetación ^{†††}	Matorral xerófilo micrófilo		

[†]Información tomada de los Datos vectoriales de la carta Edafológica, escala 1:1,000,000. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (INIFAP-CONABIO), 1995). ^{††}Información tomada de los Datos vectoriales de la carta Climas, escala 1:1,000,000 (García-CONABIO, 1998). ^{†††}Información tomada de los Datos vectoriales de la carta Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2013).

3.2 Evaluación de seguimiento de desarrollo de flores y frutos y pérdida floral.

Se levantó información de acercamiento a la fase fenológica de floración y fructificación de 16 ejemplares de *Yucca endlichiana* de la población Las Coloradas, en el ejido Las Coloradas, Ramos Arizpe, Coahuila. Los individuos se eligieron con base a la abundancia del sitio, por presentar manifestación de fases reproductivas (yemas florales) o presentar la emergencia de la panícula (aun no desarrollada).

Se identificaron y georeferenciaron 16 plantas, las cuales fueron las únicas en presentar floración, y se evaluaron durante tres meses y medio, cada 15 días. Se

contabilizaron las flores fecundadas, flores muertas (secas o abortadas), cápsulas en desarrollo y cápsulas abortadas, para coleccionar la panícula con las cápsulas producidas al finalizar el periodo anteriormente mencionado.

3.3 Recolección de semillas y evaluación de plantas

La colecta de semillas del año 2016 se realizó mediante un muestro selectivo, en el cual se seleccionaron 30 individuos como mínimo en cada una de las poblaciones, y en el año 2017 únicamente se colectaron las plantas seleccionadas previamente en la fase fenológica de floración; de estos individuos se colectó la panícula y todas las cápsulas producidas; dado que *Yucca endlichiana* presenta la panícula dentro de la roseta, se realizó el corte de la misma desde la base apartando las hojas más próximas a ésta, evitando así dañar a la planta y a las cápsulas.

El criterio de selección de plantas fue individuos que presentaron una panícula desarrollada con cápsulas suficientes, individuos sanos y de manchones diferentes (dado a que la especie se distribuye en manchones circulares), considerando una distancia mínima de 50 m entre cada planta para evitar obtener una mayor diversidad genética.

Cada uno de los individuos fue georreferenciado utilizando un receptor GPS Garmin Etrex, tomando cada una de las siguientes variables dasométricas: altura de la hoja más larga (cm) y diámetro promedio de roseta (cm). Para la panícula se registraron la longitud (cm), el número de cápsulas presentes y la estimación del número de cápsulas. Además se registrarán las características de altitud y el número de individuos de *Yucca endlichiana* en 250 m².

Para la estimación del número de cápsulas por planta, se contabilizaron el número de pedúnculos desarrollados en la panícula; en otros casos se realizó la suma de las cápsulas presentes, las cápsulas abortadas y el número de flores no fecundadas.

El número de cápsulas colectadas por población fue variable, colectándose un total de 682 cápsulas provenientes de 128 plantas en las tres poblaciones en el año 2016 (Cuadro 4), las cuales fueron guardadas en bolsas de papel correctamente

identificadas por las iniciales de la localidad de dónde se tomaron, el número de individuo y la fecha de colecta. Después se secaron y almacenaron para su posterior evaluación.

Cuadro 4. Número de plantas y cápsulas colectadas de tres poblaciones de *Yucca endlichiana* Trel., en año de colecta 2016.

Población	No. de plantas seleccionadas	Total de cápsulas colectadas
El Dorado	41	175
San Antonio del Jaral	32	97
Las Coloradas	55	410
Total	128	682

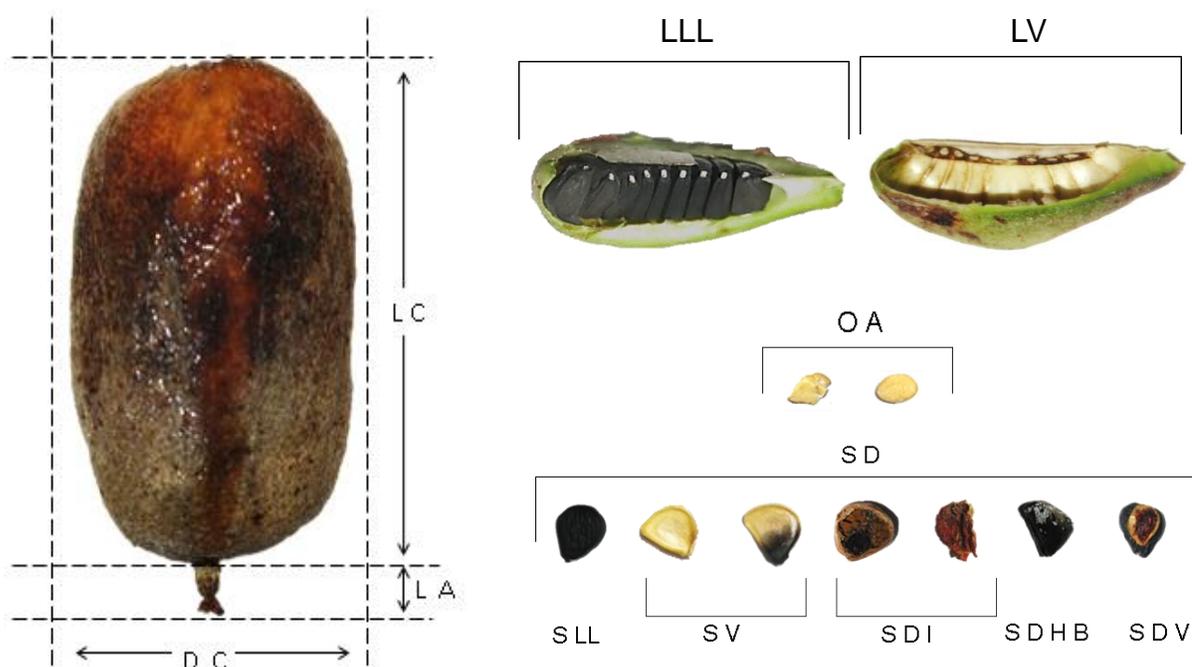
3.4 Análisis de cápsulas, producción y pérdida de semillas.

El análisis de las cápsulas se realizó en base a la metodología de Bramlett *et al.* (1997), haciendo modificaciones y adecuaciones necesarias para las cápsulas del género *Yucca*, y también basados en las experiencias de Niembro (1995a, 1995b) en cápsulas de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King.

Siguiendo estas metodologías, las variables evaluadas fueron: peso de la cápsula (PC) longitud de cápsula (LC), diámetro de cápsula (DC), número de óvulos abortados (NOA), número de semillas desarrolladas por cápsula (NSD), peso de semillas desarrolladas por cápsula (PSD), peso de óvulos abortados y semillas vanas (NOASV), potencial de producción de semillas (PPS), y eficiencia de producción de semillas por cápsula (NSG).

Se evaluaron todas y cada una de las cápsulas de todos los individuos seleccionados, siendo un total de 682 cápsulas para el año de colecta 2016 (provenientes de las tres poblaciones), y de 42 cápsulas para el año de colecta 2017 (provenientes únicamente de la población Las Coloradas), las variables evaluadas de cápsulas fueron: largo (mm) y diámetro (mm), además de la longitud del apéndice - punta de la cápsula- (mm) en las cápsulas que lo presentaron. Posteriormente se

separaron los lóculos de cada una de las cápsulas (cada cápsula presenta un promedio de seis lóculos), contabilizando el número de semillas desarrolladas así como el número de óvulos abortados por cada uno de ellos. Las semillas desarrolladas se clasificaron de acuerdo al siguiente criterio: semillas vanas, semillas llenas, semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias, y semillas dañadas por otros factores como son: daños mecánicos, daños por exposición a efectos del clima o perforaciones (Figura 2); las semillas llenas fueron debidamente guardadas en bolsas marcadas con la identificación correspondiente al número de cápsula y clave del individuo (mencionada anteriormente), y almacenadas para su posterior evaluación.



LC: Longitud total de la cápsula (mm); LA: Largo del apéndice terminal de la cápsula (mm); DC: Diámetro de la cápsula; LLL: Lóbulo lleno con semillas; LV: Lóbulo vacío; OA: Óvulos abortados; SD: Semillas desarrolladas; SLL: Semillas llenas; SV: Semillas vanas; SDI: Semillas dañadas por insectos; SDHB: Semillas dañadas por hongos o bacterias; SDV: Semillas dañadas por diversos factores.

Figura 2. Variables morfológicas evaluadas en cápsulas y semillas de *Yucca endlichiana* Trel.

El peso de cápsulas y semillas fue determinado en gramos con ayuda de una balanza analítica; la longitud y diámetro de cápsulas se determinó de manera individual utilizando un vernier electrónico graduado en milímetros.

Los óvulos abortados se identificaron por ser de un tamaño reducido y una coloración crema-amarillenta; las semillas vanas fueron aquellas que no se desarrollaron o no completaron su desarrollo, por lo cual no tienen posibilidades de germinar y son de color amarillo o bicolor (amarillo-negro); las semillas llenas son aquellas que completaron su desarrollo y son potencialmente germinativas, y son de color negro; semillas dañadas se clasificaron en tres categorías: (1) dañadas por insectos, presentaron perforaciones, excrementos y evidencias de estar vacías o parcialmente vacías, es decir sin embrión; (2) dañadas por hongos y/o bacterias, las cuales presentaron micelios blanquecinos adheridos a la testa de la semilla; y (3) dañadas por diversos factores (daños mecánicos, constricción por desarrollo de otras semillas, perforaciones de la cápsula, etc.). Todas estas semillas se clasificaron de manera manual, observándolas de manera individual y contabilizándolas por lóculo.

El total de semillas desarrolladas es la sumatoria de las semillas clasificadas como llenas, vanas y dañadas. El potencial de producción de semillas es el número máximo de semillas que una cápsula puede llegar a producir, este valor incluye tanto a las semillas desarrolladas como los óvulos abortados, e indica la capacidad biológica de la especie para producir determinada cantidad de semillas (Niembro, 1995a). El potencial de producción de semillas se calculó de la siguiente manera:

$$PPS= OA + TSD$$

Dónde:

PPS= Potencial de producción de semillas

OA= Óvulos abortados

TSD= Total de semillas desarrolladas

La eficiencia de producción de semillas indica la proporción de semillas desarrolladas en cada cápsula y expresa el éxito o el fracaso de ésta para producir

determinada cantidad de semillas provistas de un embrión funcional (Niembro, 1995a), es decir, la relación entre el potencial de semillas y el número de semillas desarrolladas clasificadas como llenas, expresándose mediante la fórmula:

$$\text{EPS} = \frac{\text{SLL}}{\text{PPS}} * 100$$

Dónde:

EPS= Eficiencia de producción de semillas

SLL= Semillas llenas

PPS= Potencial de producción de semillas

3.5 Prueba de germinación

Para realizar la prueba de germinación, primeramente se sumergieron las semillas de cada planta en agua destilada durante 24 horas. Al día siguiente se estableció la prueba de germinación, para la siembra de las semillas se preparó el agua destilada con captan a una proporción de 1.5 gr por 1.5 lt de agua, esto para disminuir el riesgo por afección por hongos; las semillas de cada planta se colocaron en hojas germinativas previamente identificadas, enrolladas a modo de taco, y colocadas en una cámara germinativa para su posterior evaluación.

Las clases de vigor (I.S.T.A., 2016) sirvieron como base durante el desarrollo de la prueba de germinación, para ver la clase de vigor que presentaron las plántulas de *Yucca endlichiana*. Para definir las diferencias entre una planta normal de una anormal se tomaron los siguientes criterios: Las plántulas en general se clasificaron como normales cuando éstas no presentaron defectos o solamente pequeños defectos que no impiden continuar su desarrollo y la plántula puede continuar creciendo en el suelo en condiciones favorables; por lo que una plántula normal no debe tener las características (I.S.T.A., 1979):

a) Sistema de raíz decolorada o mancha necrótica, rajada o cortada, rajaduras o aberturas de profundidad limitada; b) Hipocótilo intacto o con pequeños daños no significantes como decolorado o manchas necróticas, con rajada o cortado, rajaduras

o aberturas de profundidad limitada y torcido; c) cotiledón intacto o con pequeños daños insignificantes: que sea menor del 50% del tejido no funcionando; d) las yemas terminales intactas.

Se considera como plántulas anormales aquellas que presentan daños como: albinismo, plántulas torcidas, plántulas enanas, germinación invertida y poliembrionía (Apéndice 2).

3.6 Análisis estadístico

Los datos que se obtuvieron del análisis de cápsulas y semillas de las tres poblaciones fueron capturados en Excel y después se pasó la información al paquete Statistical Analysis System (SAS), a través de éste se obtuvieron las medias para las variables dasométricas utilizando el procedimiento MEANS (SAS, 1998).

Una vez en el paquete estadístico SAS se utilizó el procedimiento UNIVARIATE PLOT para identificar datos aberrantes en la base de datos para ser corregidas de ser necesario, así como observar la distribución de las variables, las cuales fueron transformadas de acuerdo a Box y Cox (1964) elevadas a una determina potencia incluida en el rango de valores de -2 a 2, para que estas tiendan a la normalidad.

3.6.1 Floración y fructificación

Para comparar la relación entre el número de flores con el total de cápsulas producidas, con respecto a la producción de semillas, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r) (Steel y Torrie, 1988).

3.6.2 Producción y pérdida de semillas

Para el análisis de producción y pérdida de semillas se usaron las variables de potencial de semillas (semillas desarrolladas y óvulos abortados) y eficiencia de semillas, los valores de estas variables discretas fueron sometidos una transformación de acuerdo a Box y Cox (1964) para normalizar los datos y adecuarla a una distribución normal, el potencial de semillas se transformó elevándolo a un valor de lambda (λ) de 0.7 y la eficiencia de semillas de 0.9, esta transformación se realizó en el paquete estadístico SAS.

Se realizó un análisis de varianza para comparar la eficiencia y el potencial de producción de semillas entre las tres poblaciones de *Yucca endlichiana*, mediante el programa SAS, empleando un modelo de clasificación anidada, para detectar diferencias entre poblaciones para el año de colecta 2016 (Mosseler, 1992):

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + a_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = valor de la variable

μ = media poblacional

p_i = efecto de la i-ésima población

$a_{j(i)}$ = efecto del j-ésima planta dentro de la población

ε_{ijk} = error experimental

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Floración y fructificación, producción y viabilidad de semillas de plantas individuales de la población Las Coloradas.

La floración para la población de Las Coloradas en el año 2017 no fue homogénea ni representativa (con respecto a la extensión de terreno que ocupa la población), la pérdida de producción total fue del 93.07%, resultado de dos eventos; el primero de ellos fue el desarrollo de la floración en el que la pérdida floral (antes de la polinización) fue del 75%, causado por factores como: marchitamiento floral, desprendimiento peduncular, depredación de las flores, aborto de la floración; el segundo evento ocurrió durante la polinización y representa el 18.07% de pérdida floral, causado por una polinización no eficiente, depredación de las flores fecundadas, o aborto de inicio de maduración de frutos; lo anterior implica poco éxito en la producción de cápsulas y con ello, de producción de semillas.

Parte de esta pérdida fue por la depredación de la panícula y flores por parte de la fauna y entomofauna del lugar (Apéndice 3), así como la muerte, aborto y marchitamiento de algunas flores. El seguimiento de la floración realizado demuestra claramente las magnitudes de la pérdida floral en el paso del tiempo (Figura 3), así como una disminución de la tasa de pérdida floral, pero a la vez, una baja probabilidad de éxito de la formación de cápsulas.

El 93.07% de la floración (725 flores) de *Yucca endlichiana* no inició la formación de cápsulas, el 1.55% (12 flores) inició la formación de cápsulas que posteriormente fueron abortadas y únicamente el 5.38% (42 flores) produjeron cápsulas maduras; los valores de pérdida de producción y maduración de cápsulas son ligeramente bajas a las obtenidas por Aker y Udovic (1981) en estudios de *Yucca whipplei*, en donde el 12.3% (252 de 1622 flores) fueron cápsulas abortadas y el 8.4% (172 de 1622 flores) fueron cápsulas completamente desarrolladas. El éxito de desarrollo y maduración de cápsulas para *Yucca endlichiana* fue de un 5.38%, respecto a 780 flores (16 inflorescencias de plantas individuales en total),

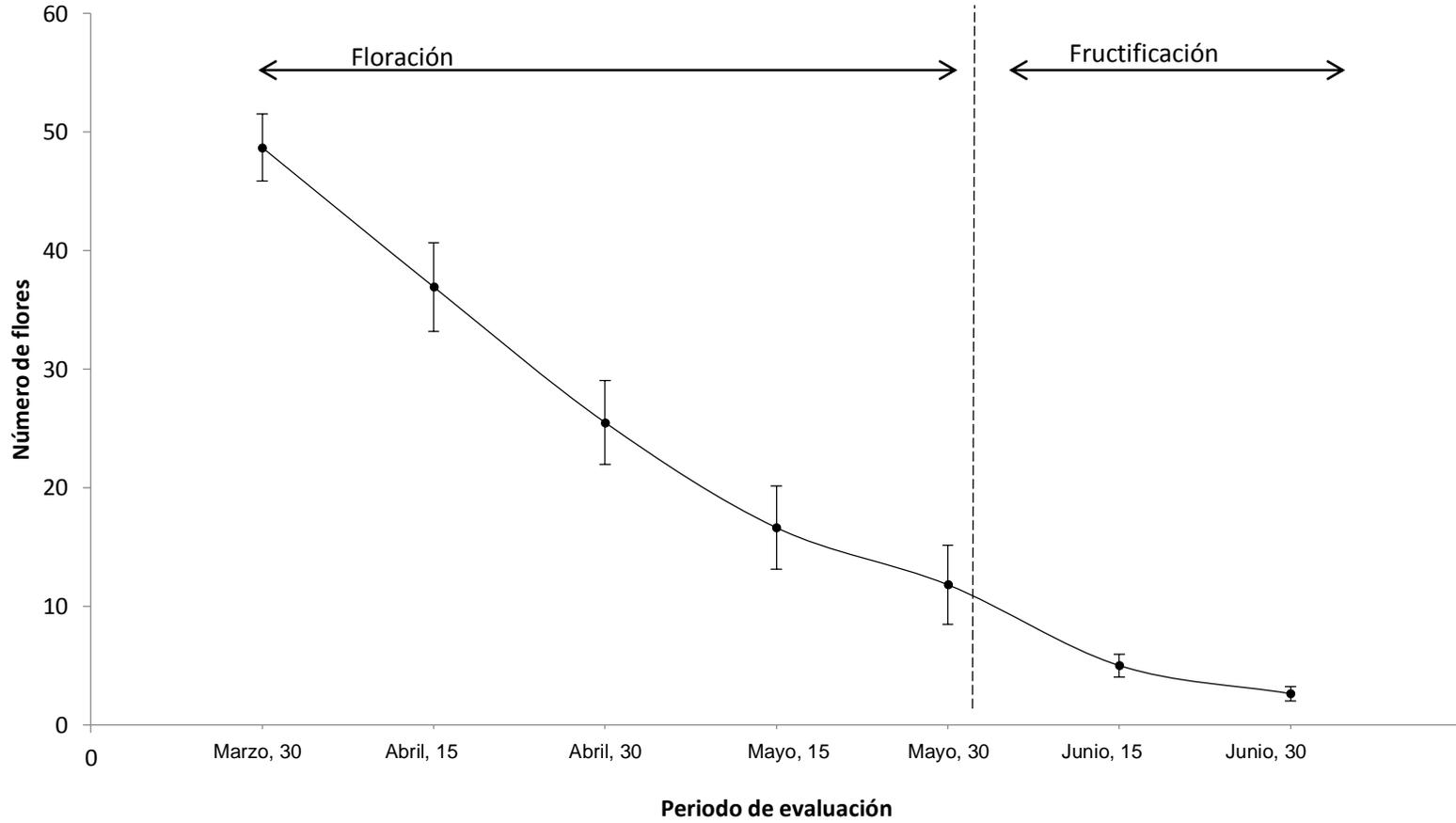


Figura 3. Pérdida floral promedio por fecha de evaluación para *Yucca endlichiana* Trel., y producción promedio de cápsulas maduras en la población Las Coloradas en el año 2017.

que representan 42 cápsulas desarrolladas, estos valores son parecidos a los encontrados por James *et al.* (1994) en estudios de *Yucca elata*, en donde el éxito de maduración de frutos fue de 5.93% (699 cápsulas) respecto a 11876 flores (38 inflorescencias en total).

Pocos estudios del género *Yucca* señalan consistentemente que, como resultado de las altas tasas de aborto floral y de cápsulas, las especies de *Yucca* producen frutos maduros de menos del 10% de la floración por panícula y en algunos casos se da el aborto completo de la inflorescencia relacionada directamente con la falta de humedad (James *et al.*, 1994).

Las consecuencias más probables que afectan a la floración e incrementan el aborto de la misma son: (1) la asociación mutualista obligada con las especies de polillas de los géneros *Tegeticula* y *Parategeticula* (*Prodoxidae*), las cuales son únicos polinizadores del género *Yucca* y se consideran limitados (Aker y Udovic, 1981); (2) los recursos insuficientes previenen el desarrollo de frutos maduros de todas las flores polinizadas; (3) la baja calidad de polen impide la polinización exitosa de las flores (Stephenson, 1981) y (4) la hiper-oviposición por parte de una o más polillas en una sola flor, la cual aborta debido a la gran cantidad de huevecillos depositados en el ovario (James *et al.*, 1994).

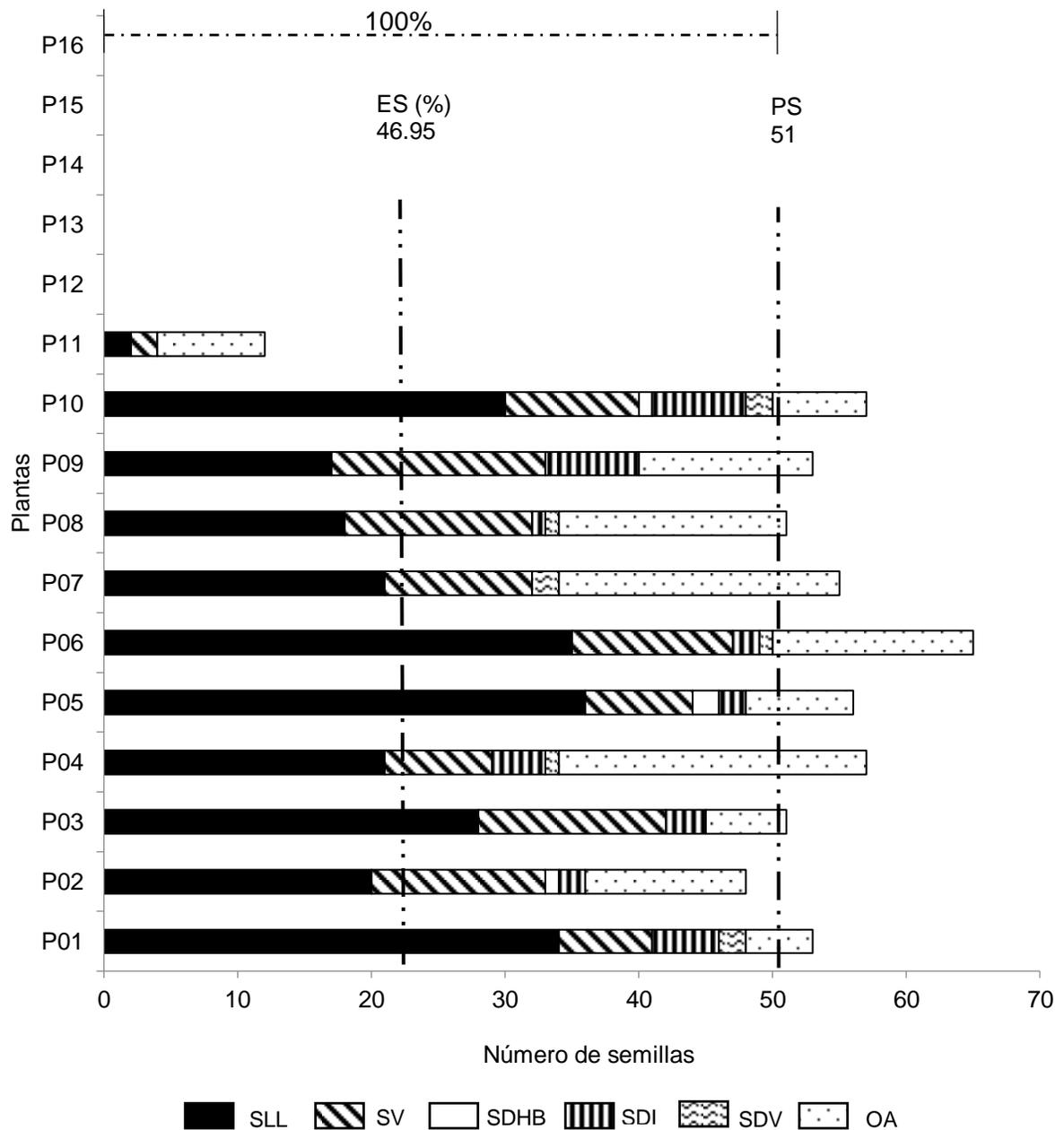
La producción de cápsulas fue de un 28% (respecto al número final de flores), de las cuales se diferenciaron dos tipos: (1) cápsulas abortadas y (2) cápsulas desarrolladas (Apéndice 4), siendo 12 y 42 cápsulas, representando el 22% y 78% respectivamente. Además de que no existe una correlación entre el número de flores y el total de cápsulas desarrolladas (Apéndice 5). El aborto de cápsulas puede presentarse cuando: (1) están dañadas o tienen menos semillas (Stephenson y Winsor, 1986); (2) se encuentran más lejos de la fuente de nutrientes, es decir, en el extremo distal de la inflorescencia (Wyatt, 1980); (3) han iniciado tarde su proceso de crecimiento y maduración, es decir, cuando las demás cápsulas ya han sido desarrolladas (Wyatt, 1982); y (4) es polinizado con polen inadecuado, es decir, autopolinización (Stephenson y Winsor, 1986). Matuda y Piña (1980) afirman que las plantas del género *Yucca* son entomófilas y su polinización sólo es posible

mediante la intervención de un agente polinizador, específicamente de una polilla cuya larva se desarrolla en el interior de los frutos, cuando el adulto ovoposita sus huevecillos en el ovario de las flores, transportando así el polen desde las anteras hasta el estigma; con base en lo anteriormente mencionado, se puede observar la ausencia de agentes polinizadores o en su caso, poca efectividad en los mecanismos de atracción por parte de las plantas.

De las 42 cápsulas desarrolladas provenientes de 11 individuos diferentes (el resto de individuos no produjeron cápsulas desarrolladas, y 1 de ellos se encontró con la panícula depredada por la fauna del lugar), se realizó el análisis de semillas para cada una de las cápsulas y, posteriormente, se obtuvieron los promedios por individuo, ya que la producción de cápsulas por planta varía de 0 a 8 cápsulas desarrolladas (Apéndice 6). Del análisis de semillas por individuo se obtuvo un potencial de semillas promedio de 51 semillas por cápsulas, y una eficiencia de semillas promedio de 46.95 % equivalente a 24 semillas llenas por cápsula (Figura 4).

La germinación de las semillas se presentó en los primeros 3-4 días del ensayo, siendo la germinación de 83%, y siendo afectada principalmente por hongos; el 77% de la germinación lo constituyen plántulas normales contra un 6% de anomalía en las mismas (Figura 5).

El término germinación, en la práctica de laboratorio de semillas, es la emergencia y desarrollo de las estructuras esenciales del embrión de la semilla, lo cual para el tipo de semilla en cuestión, son indicadores de la habilidad para producir una plántula normal bajo condiciones favorables. El objetivo de la prueba de germinación es determinar el porcentaje de plántulas normales en la prueba (A.O.S.A., 1992).



ES (%)= Eficiencia de semillas promedio expresada en porcentaje; PS= Potencial de semillas promedio; SLL= semilla llena; SV= semilla vana; SDHB= semilla dañada por hongo o bacteria; SDI= semilla dañada por insecto; SDV= semilla dañada por varios factores; OA= óvulos abortados.

Figura 4. Producción de semillas de 16 plantas de *Yucca endlichiana* Trel. de la población Las Coloradas, en el año 2017.

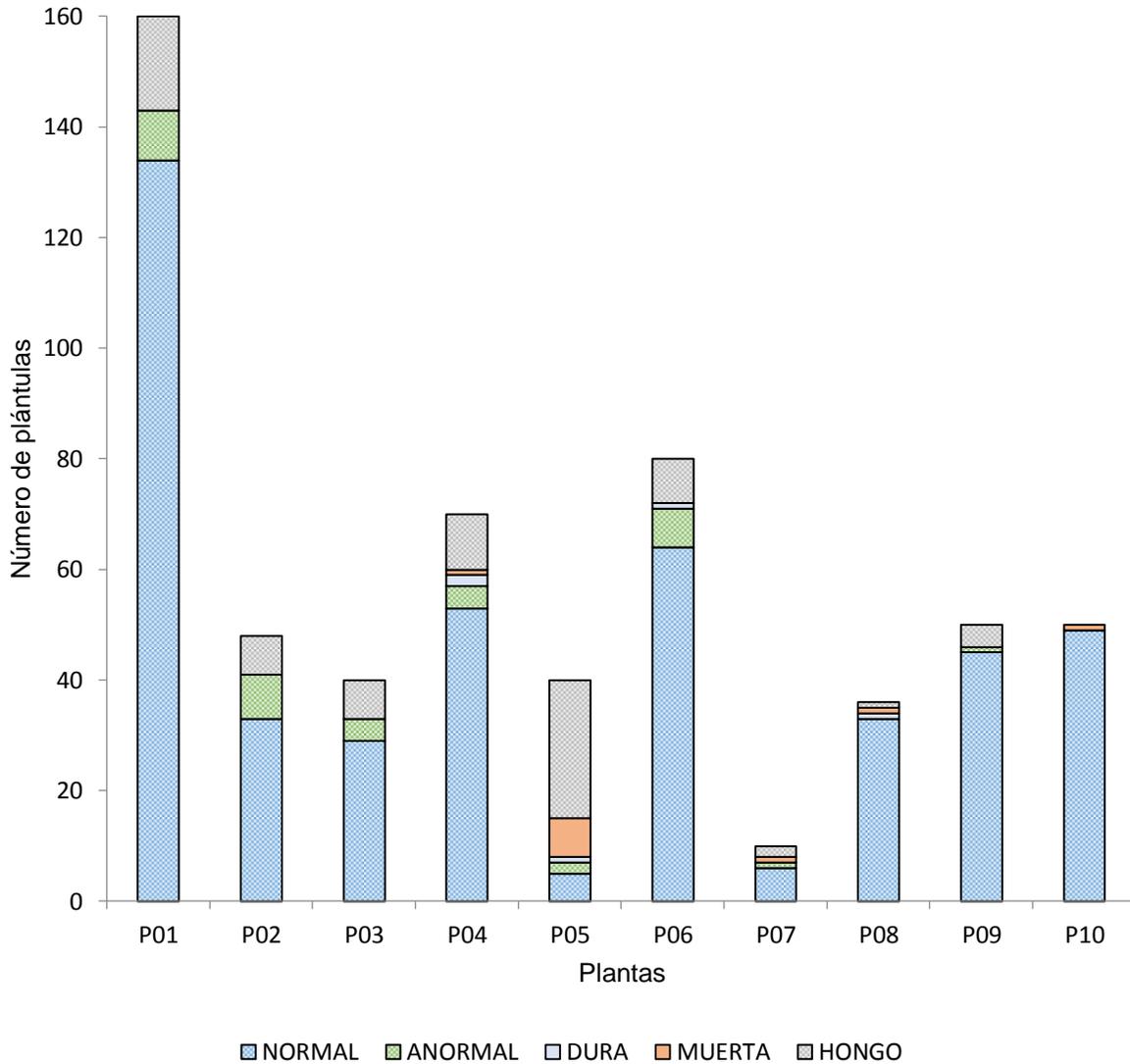


Figura 5. Prueba de germinación de semillas de *Yucca endlichiana* Trel., de la población Las Coloradas para año de colecta 2017.

Los porcentajes de germinación de las semillas en la mayoría de las especies del género *Yucca* oscilan entre 60 y 80%, sin embargo la viabilidad sólo alcanza un 48%, es decir, que únicamente el 48% de las semillas producen plántulas normales y con mayor probabilidad de establecimiento, con base a lo anterior se afirma que el porcentaje de viabilidad es alto (Matuda y Piña, 1980).

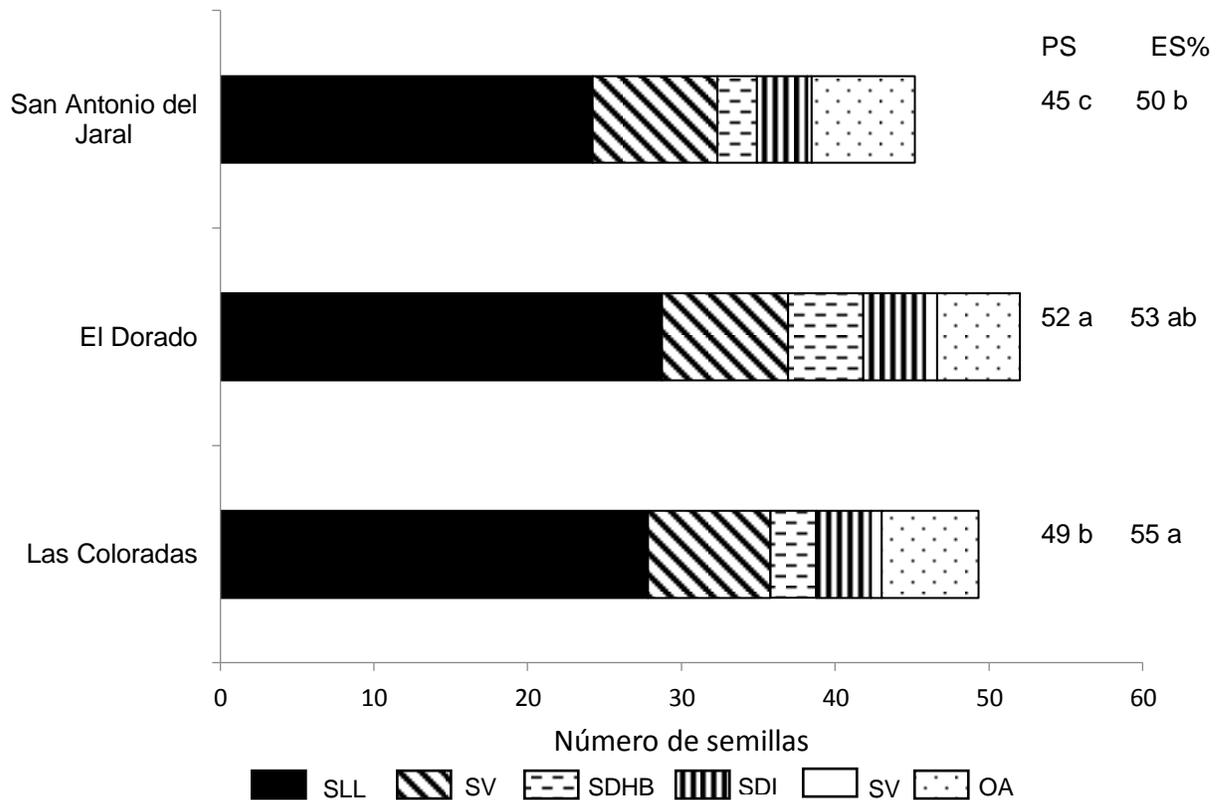
4.2 Producción y pérdida de semillas.

La producción de semillas se expresó en base al potencial de semillas, que es el número máximo de semillas producidas en una cápsula; el potencial de semillas promedio de las tres poblaciones fue de 49 semillas por cápsula, habiendo diferencias significativas entre ellas (Figura 6); donde la población de San Antonio del Jaral presentó el valor más bajo con un promedio total de 45 semillas y el valor más alto se encontró en El Dorado que obtuvo un potencial de 52, mientras que en Las Coloradas el valor promedio fue de 49 semillas por cápsula.

Este potencial de semillas por cápsula encontrado en las diferentes poblaciones es relativo, debido a que no existen estudios previos al respecto en la especie, además de que se desconoce la capacidad y eficiencia de producción de semillas de numerosas especies de zonas áridas de importancia ecológica y la magnitud de la producción en un año semillero.

En cuanto a la eficiencia de semillas se encontró un promedio de 52.7% de las tres poblaciones de *Yucca endlichiana*; donde el porcentaje de eficiencia más bajo se presentó en la población de San Antonio del Jaral, el cual es de 49.8%, mientras que el porcentaje más alto se presentó en la población Las Coloradas con un 54.7%, existiendo diferencias significativas entre estas dos poblaciones (Figura 6).

La cantidad de semillas llenas producidas por cápsula es, generalmente, inferior al potencial de semillas, esto a causa a que durante el proceso reproductivo gran parte de los óvulos son abortados, así como la incidencia de diversos factores que dañan las semillas desarrolladas; debido a esto la variable que mejor representa la producción es la eficiencia de semillas, definida como la cantidad de semillas llenas en relación al potencial de semillas expresadas en porcentaje (Bramlett, 1972).



PS= Potencial de semillas; Eficiencia de semillas; SLL= semilla llena; SV= semilla vana; SDHB= semilla dañada por hongo o bacteria; SDI= semilla dañada por insecto; SDV= semilla dañada por varios factores; OA= óvulos abortados.

Nota: los valores de PS y ES con letra diferente son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) determinado por la prueba de medias de Tukey.

Figura 6. Producción y pérdida de semillas de tres poblaciones de *Yucca endlichiana* Trel., para año de colecta 2016.

Algunas causas de mortalidad y pérdida de semillas son fácilmente identificables y en ocasiones pueden representar enormes pérdidas dentro de la producción de semillas (Bramlett y Godbee, 1982). *Yucca endlichiana* presenta pérdidas de 49.62% las cuales son mayores a las encontradas en *Yucca treculeana* (34.74%), pero menores que las obtenidas en *Yucca filifera* (68.35%), estas últimas estudiadas por Treviño (2016). Las principales causas de pérdida de semillas son las altas proporciones de semillas vanas, así como la presencia de insectos y hongos, en las cuales *Yucca endlichiana* se mantiene con porcentajes menores a *Yucca filifera* pero mayores a los encontrados en *Yucca treculeana* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de pérdida de semillas en cápsulas de tres especies del género *Yucca*.

Población	Porcentaje			
	Óvulos abortados	Semilla vana	Semilla dañada por Hongos o Insectos	Semilla dañada por varios factores
<i>Y. endlichiana</i>	12.68	19.12	16.47	1.35
<i>Y. filifera</i> ¹	0.68	33.54	33.95	0.18
<i>Y. treculeana</i> ¹	0.27	29.25	7.60	0.71

Nota: el porcentaje ha sido considerado respecto al total de semillas desarrolladas a excepción de los óvulos abortados, el cual se consideró respecto al potencial de semillas, tal y como se menciona en la metodología de Bramlett *et al.*(1977). ¹ Estudiadas por Treviño (2016).

Las pérdidas obtenidas del análisis de cápsulas y semillas indican una pérdida de semillas del 51.93% para la población San Antonio del Jaral, del 48.79% para la población El Dorado y del 48.15% para la población Las Coloradas; la cual se reparte en óvulos abortados, semillas vanas, semillas dañadas por hongo, semillas dañadas por insectos y semillas dañadas por varios factores (Cuadro 6). Encontrando que la cantidad de semillas vanas es el factor que más afecta al total de semillas desarrolladas, además de los daños por insectos y hongos que representan, en conjunto, la segunda causa de pérdida de semillas viables del total de semillas desarrolladas.

Cuadro 6. Pérdida de semillas en cápsulas de *Yucca endlichiana* Trel., en año de colecta 2016.

Población	Porcentaje					
	Óvulos abortados	Semilla vana	Semilla dañada por:			
			Hongo	Insecto	Varios Factores	
San Antonio del Jaral	14.88	21.18	6.58	8.51	0.78	
El Dorado	10.40	17.62	10.45	8.67	1.65	
Las Coloradas	12.77	18.55	6.88	8.32	1.63	

Nota: el porcentaje ha sido considerado respecto al total de semillas desarrolladas a excepción de los óvulos abortados, el cual se consideró respecto al potencial de semillas, tal y como se menciona en la metodología de Bramlett *et al.*(1977).

Niembro (1995a, 1995b) encontró en cápsulas de cedro y caoba un potencial de semillas promedio de 66 y 56 semillas y una eficiencia de 73% y 45%, respectivamente. Por otra parte, Treviño (2016) estudió el potencial y eficiencia de semillas de *Yucca treculeana* Carr. y *Yucca filifera* Chabaud; obteniendo un potencial de semillas promedio de 100 y 64 semillas, y una eficiencia de 62.26% y 31.65%, respectivamente. En comparación con estos trabajos, *Yucca endlichiana* es la especie con el menor potencial de semillas, pero presenta mejor porcentaje de eficiencia de semillas en comparación de *Yucca filifera* y *Swietenia macrophylla* (Cuadro 7). Probablemente esto se deba, primeramente a que las tres poblaciones estudiadas de *Yucca endlichiana* son menos extensas que las de otras especies, presentan una fragmentación de su ecosistema y a que el número de frutos desarrollados por planta son menores en comparación con los de las otras especies.

Cuadro 7. Trabajos relacionados con potencial y eficiencia de producción de semillas en cápsulas.

Espece	Potencial de semillas	Eficiencia de semillas (%)	Autor
<i>Cedrela odorata</i> L.	66	73	Niembro (1995a)
<i>Swietenia macrophylla</i>	56	45	Niembro (1995b)
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	102	35	Rentería-Arrieta y Cantú (2003)
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	64	31.65	Treviño (2016)
<i>Yucca treculeana</i> Carr.	100	62.26	Treviño (2016)
<i>Yucca endlichiana</i> Trel.	49	52.7	Trabajo actual

5 CONCLUSIONES

La mayor pérdida de semillas ocurre durante la etapa fenológica de floración y fructificación, debido a la alta mortalidad de flores y aborto de frutos.

La población de El Dorado presenta el mayor potencial de semillas, sin embargo la población Coloradas es la que presenta la mayor eficiencia de semillas.

El daño por insectos y hongos, así como la cantidad de semillas vanas representan la mayor pérdida de semillas.

6 RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores se recomienda identificar la presencia de larvas de diferentes especies de insectos, puesto que para este trabajo no fue posible identificar el número de especies de insectos que afectan la producción de semillas; así como las especies de fauna que depredan a las cápsulas.

Se recomienda realizar un estudio sobre la efectividad y procesos de polinización, así como identificar los agentes polinizadores involucrados, de una o más especies.

7 LITERATURA CITADA

- Aker, C. L. y D. Udovic. 1981. Oviposition and pollination behavior of the yucca moth, *Tegeticula maculate* (Lepidoptera: Prodoxidae), and its relation to the reproductive biology of *Yucca whipplei* (Agavaceae). *Oecología* 49: 96–101.
- Alba-Landa, J., A. Aparicio-Rentería y J. Márquez-Ramírez. 2003. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de dos poblaciones de México. *Foresta Veracruzana* 5(1):23-26.
- Alba-Landa, J. y J. Márquez R. 2006. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de los Molinos, Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 8(1):31-36.
- Álvarez, M. 2000. Caracterización de frutos y semillas de *Cedrela odorata* L., *Tabebuia rosea*, *Alnus acuminata* y *Cupressus lusitánica*. In: Memorias del II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Salazar, R. (comp.) 18-22 de Octubre. Santo Domingo, República Dominicana. pp. 145-150.
- Arredondo G., A. y J. M. Sotomayor. 2009. Cactáceas en categoría de riesgo del estado de San Luis Potosí. INIFAP. Publicación Especial No. 1 México. 98 p.
- Association Official Seed Analysts (A.O.S.A.). 1992. Seedling evaluation handbook. Published by the Association Official Seed Analysts Zurich, Switzerland. 101 p.
- Barbour, M. G., J. H. Burk, W. D. Pitts, F. S. Gillian y M. W. Schwartz. 1999. Allocation and life history patterns. In: *Terrestrial Plant Ecology*. 3 ed. Benjamin Cummings. An Imprint of Adison Wesley Longman, USA. pp. 88-116.
- Box, G. E. P. y D. R. Cox. 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (methodological)* 26(2): 211-252.
- Bramlett, D. L. 1972. Cone drop development records for six years in short leaf pine. *Forest Science* 18(1): 31-33.
- Bramlett D. L., E. W. Belcher, G. L. Debarr, G. D. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware y H. O. Yates III. 1977. Cone analysis of southern pines, a guidebook. General Technical Report SE-13. Southeastern Forest Experiment

- Station, Asheville, North Carolina and Southeastern Area, State and Private Forestry, Atlanta, Georgia., USDA-Forest Service. USA. 32 p.
- Bramlett, D. L. y J. F. Godbee, Jr. 1982. Inventory-Monitoring System for Southern pine seed orchards. Georgia Forest Research Paper 18. Georgia Forestry Commission. USA.17 p.
- Buckley, R. C. 1982. Ant-plant interactions: a world review. In: Buckley, R. C. (ed.). Ant-plant interactions in Australia. Junk, The Hague. pp. 111–141.
- Bustamante-García, V., J. A. Prieto-Ruíz, E. Merlín-Bermudes, R. Álvarez-Zagoya, A. Carrillo-Parra y J. C. Hernández-Díaz. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. Madera y Bosques 18(3): 7-21.
- Chew, R. M. y J. F. Nelson. 1975. Factors affecting seed reserves in the soil of a desert ecosystem. Progress reports. Ecology Center, Utah State University, USA. 91 p.
- Childs, S. y D.M. Goodhall. 1972. Seed reserves of desert soils. U.S. International Biological Program, Desert Biome, Utah State University, Logan, Utah. 1972 Progress Reports, Process Studies, RM 73-5, USA. 24 p.
- CONABIO. 2006. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 32 p.
- Copeland, L. O. 1976. Principles of seed science and technology. Burgues Publishing Company Minnestota. USA. 369 p.
- Corlett, R. T. 1998. Frugivory and seed dispersal by vertebrates in the Oriental (Indomalayan) region. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society 73: 413-448.
- Cota, S. H. J. 2007. Viviparidad en cactáceas: Un extenso campo de investigación. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas 4(1): 5-7.
- Estades, C. F. 2003. Fragmentación del hábitat. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Depto. Manejo de Recursos Forestales. Santiago, Chile. s/p.

- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34: 487-515.
- Fahrig, L. y G. Merriam. 1994. Conservation of fragmented populations. *Society for Conservation Biology* 8(1): 50-59.
- Fenner, M. 1985. Seed ecology. Chapman and Hall. USA. 151 p.
- Flores-López, C., C. G. Geada-López, C. J. López-Upton y E. López-Ramírez. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. *Revista Forestal Baracoa* 31(2):49-58.
- García, E. - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.
- García-Mendoza, A. J. 1995. Riqueza y endemismo de la familia Agavaceae en México. En: *Conservación de plantas en peligro de extinción: Diferentes enfoques*. Instituto de Biología, UNAM. México. 4 p.
- García Mendoza, A. J. 2003. *Yucca endlichiana*. Revisión de las Agavaceae (sensu stricto), Crassulaceae y Liliaceae incluidas en el PROY-NOM-059-ECOL-2000. Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W020, México. pp. 1-4.
- González-Medrano, F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México. 194 p.
- Granados-Sánchez, D. y G. F. López-Ríos. 1998. Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4 (1): 169-178.
- Harper, J. L, P. H, Novell y R. G. Moore. 1970. The shapes and sizes of seeds. *Annual Review of Ecology and Systematic* 1:327-356.
- Henríquez, C. A. 2004. Efecto de la fragmentación del hábitat sobre la calidad de las semillas en *Lapageria rosea*. *Revista Chilena de Historia Natural* 77(1): 177-184

- Hochstätter, F. 2010. *Yucca* Linné. *Esperaloe* Engelmann (*Agavaceae*). Mannheim, Deutschland. 263 p.
- INEGI, (12/12/2013). 'Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie V (capa unión)', escala: 1:250000. edición: 2a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (INIFAP-CONABIO). 1995. Carta edafológica. Escala 1:50,000 – 1:20,000. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [En línea] 10 de Febrero de 2018. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis>
- International Seed Testing Association (I.S.T.A.). 1979. Handbook for seedling evaluation. Published by the International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 130 p.
- International Seed Testing Association (I.S.T.A.). 2016. Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas 2016. I.S.T.A., Bassersdorf, Suiza. 192 p.
- International Union for the Conservancy of Nature (IUCN). 1998. 1997 IUCN Red List of threatened plants. Compiled by the World Conservation Monitoring Centre. [eds] Walter, K. S. and H. J. Gillett. IUCN – The World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 862 p.
- James, C. D., M. Timm H., D. C. Lightfoot, G. S. Forbes y W. G. Whitford. 1994. Fruit abortion in *Yucca elata* and its implications for the mutualistic association with yucca moths. *Oikos* 69(2): 207–216.
- Jurado, E. y M. Westoby. 1999. Biología de germinación de plantas selectas de Australia central. UANL, Facultad de Ciencias Forestales. Reporte Científico No. 18. México. 25 p.
- Leprince, O, G. A. F. Hendry, y B. D. Mckersie. 1993. The mechanism of desiccation tolerance in developing seeds. *Plant, Cell and Environment* 13: 539-546.
- Loo, J. A. 2011. Manual de genética de la conservación. Principios aplicados de genética para la conservación de la biodiversidad. SEMARNAT, CONAFOR. México. 196 p.

- Lyons, L. A. 1956. The seed production capacity and efficiency of red pine cones (*Pinus resinosa* Alt). Canadian Journal Of Botany 34: 27-36
- Martínez A., y A., D. Oro. 2006. Pequeñas poblaciones, grandes problemas. Quercus 245: 36-39.
- Matuda E. y I. Piña. 1980. Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Libros de México. 145 p.
- Mendizábal-Hernández, L. C., J. Alba-Landa, J. Márquez-Ramírez, E. O. Ramírez-García y H. Cruz-Jiménez. 2010. Potencial de producción y eficiencia de semillas de dos cosechas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. Foresta Veracruzana 12(2):21-26.
- Mendizabal-Hernández, L. C., J. Márquez-Ramírez, J. Alba-Landa, E. Ramírez-García y H. Cruz-Jiménez. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. Foresta Veracruzana 14(2): 31-36.
- Mosseler, A. 1992. Seed yield and quality from early cone collections of black spruce and white spruce. Seed Sci. & Technol. 20: 473-482.
- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.-S. Park, K. H. Johnsen, y O. P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens* L. Reproductive traits and fecundity. Canadian Journal of Botany 78(7): 928-940.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Tree 10(2): 58-62.
- Niembro A. 1995a. Producción de semillas de *Cedrela odorata* L. bajo condiciones naturales en Campeche, México. *In: Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Memorias del Simposio. Compilador: Salazar, R. 16-20 Octubre, 1995. Managua, Nicaragua. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp. 215-228.*
- Niembro, A. 1995b. Producción de semillas de caoba *Swietenia macrophylla* King bajo condiciones naturales en Campeche, México. *In: Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Memorias del Simposio. Compilador: Salazar, R. 16-20 Octubre, 1995. Managua, Nicaragua. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp. 249-263.*

- Pickett, S. T. A. y P. S. White. 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. USA. 472 p.
- Priestley, D. A. 1986. Seed aging: Implications for seed storage and persistence in the soil. Comstock Pub. Cornell University. Press. Ithaca, USA. 304 p.
- Rentería-Arrieta, L. I. y C. Cantú. 2003. El efecto de *Tegeticula yuccasella* Riley (Lepidoptera: Proxidea) sobre la fenología reproductiva de *Yucca filifera* Chabaud (Agavaceae) en Linares, N. L., México. Acta Zoológica Mexicana 89: 85-92.
- Rodríguez-Rivas, G., J. Márquez-Ramírez y V. Rebolledo-Camacho. 2001. Determinación del potencial y eficiencia de producción de semillas en *Cedrela odorata* L. y su relación con caracteres morfométricos de frutos. Foresta Veracruzana 3(1): 23-26.
- Rolston, M. P. 1978. Water impermeability seed dormancy. Botanical Review. 44(3): 365-389.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México. 432 p.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Sáez, E. y A Traveset 1995. Fruit and nectar feeding by *Podarcis lilfordi* (Lacertidae) on Cabrera Archipelago Balearic Islands). Herpetological Review 26: 121-123.
- Salisbury F.B. y C.W. Ross. 2000. Fisiología de las Plantas. In: Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental. Ed. Thomson-Paraninfo. Tomo 3. España. 480 p.
- Sánchez S., J., E. Jurado, M. Pando, J. Flores, G. y P. Muro. 2010. Estrategias germinativas de las semillas en ambientes áridos. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 9:35-38.
- Santos, J. y L. Tellería. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. Ecosistemas 15 (2): 3-12.
- SAS Institute Inc. 1998. SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 9.0. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 378 p.
- Saunders D., R. Hobbs, and C. Margules. 1991. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. Conservation Biology 5(1): 18-32.

- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana 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. México. Segunda edición 2010. 52 p.
- Steel R., G. y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. Ed. McGraw-Hill. México. 622 p.
- Stephenson, A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 12: 253-279.
- Stephenson, A. G. y J. A. Winsor. 1986. *Lotus corniculatus* regulates off spring quality through selective fruit abortion. *Evolution* 40: 453-458.
- Taylor, J. P, D. B. Wester, and L. M. Smith. 1999. Soil disturbance, flood management, and riparian woody plant stablishment in the Rio Grande floodplain. *Wetlands* 19:372-382.
- Treviño R., K. E. 2016. Producción de Semilla e Indicadores reproductivos de *Yucca filifera* Chaubaud y *Yucca treculeana* Carr. de dos localidades al noreste de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 73 p.
- Trelease, W. 1907. Additions to genus *Yucca*. Missouri Botanical Garden Annual Report, Missouri State, USA. pp. 225-230.
- Turner, I. M. 1996. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. pp. 2.
- Ugalde, A. J., D. Granados-Sánchez, A. Sánchez-González. 2008. Sucesión en el matorral desértico de *Larrea tridentata* (DC.) Cov. en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *Terra Latinoamericana* 26(2): 153-160.
- Venable, D. L. and C. E. Pake. 1999. Population ecology of desert plants. In: *Ecology of Desert Plants*. Robichaux R. H. (ed2). The University of Arizona Press. USA. pp. 115 – 142.
- Webber, J. M. 1953. *Yuccas of the Southwest*. Agriculture monograph No. 17 U.S. Department of Agricultura. U.S. Government Printing Office. USA. 174 p.

- Went, F. W. 1973. Competition Among Plants. Proceedings of the National Academy of Science USA 70(2): 585-590
- Willan, R. L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales. Centro de Semillas Forestales DANIDA FAO, Roma. 502 p.
- Wyatt, R. 1980. Inflorescence architecture: how flower number, arrangement, and phenology affect pollination and fruit-set. American Journal of Botany 69: 585-594.

8 APÉNDICE

Apéndice 1. Características botánicas de *Yucca endlichiana* Trel.



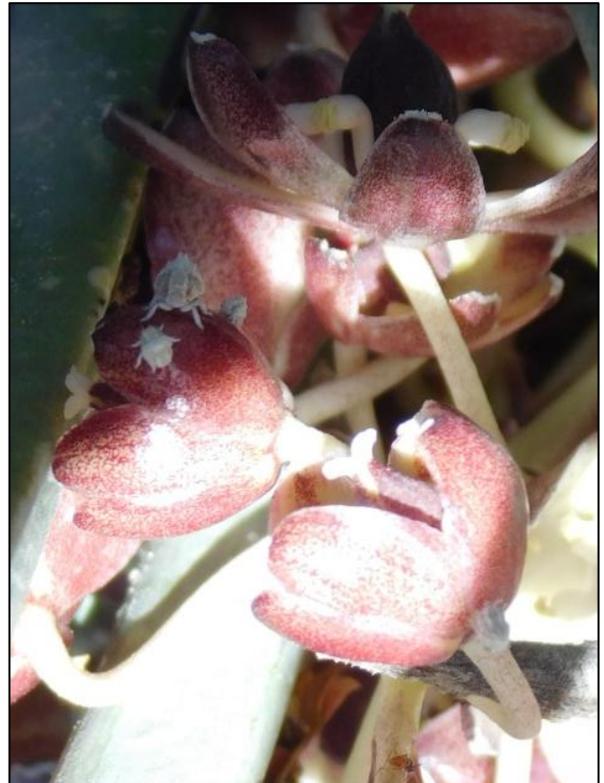
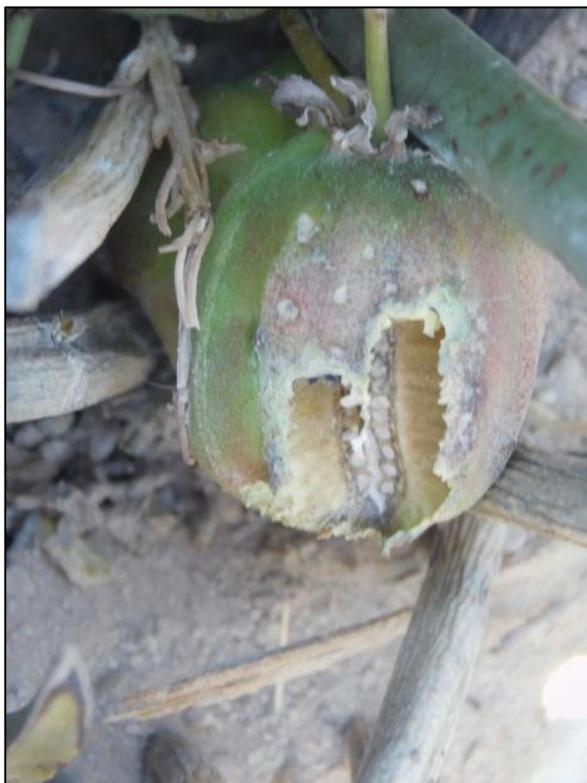
A) Planta de *Yucca endlichiana*; B) Flor de *Yucca endlichiana*; C) Inicio de maduración de cápsulas; D) Cápsulas desarrolladas. Fotografías tomadas en la población de San Antonio del Jaral, durante periodo de evaluación de floración y fructificación. Coordenadas: 25°37'32.0" N, 101°26'14.8" W, a 1128 msnm.

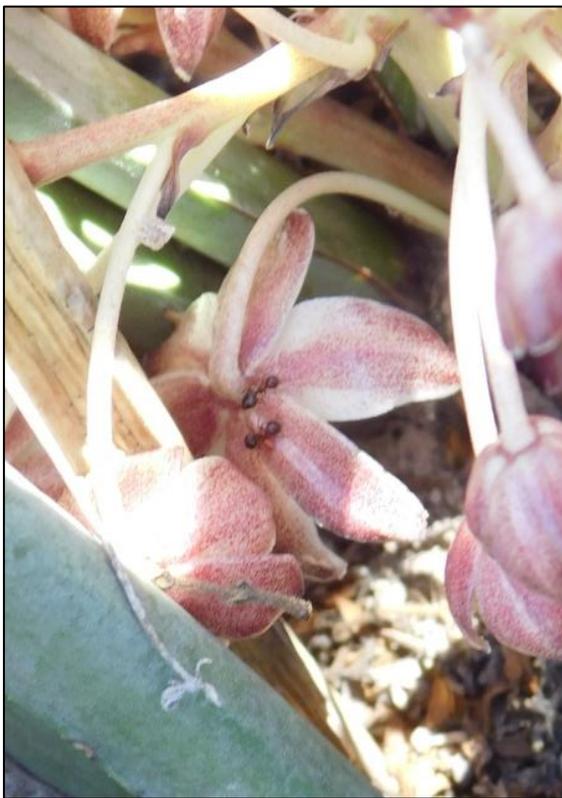
Apéndice 2. Normalidad y anormalidad de plántulas de *Yucca endlichiana* Trel.



Plántula normal: a) Hoja primaria y raíz principal completamente desarrollada. Plántulas anormales: b) Hojas primarias no desarrolladas, raíz principal desarrollada con presencia de raíces secundarias que impiden su crecimiento normal. c) Hojas primarias medianamente desarrolladas y raíz principal con presencia de raíces secundarias. d) plántulas afectadas por hongos. e) y f) Hojas principales con poco o nulo crecimiento y sin raíz principal desarrollada. g) plántulas con raíz invertida.

Apéndice 3. Fauna asociada a la depredación de flores, cápsulas y semillas de *Yucca endlichiana* Trel.





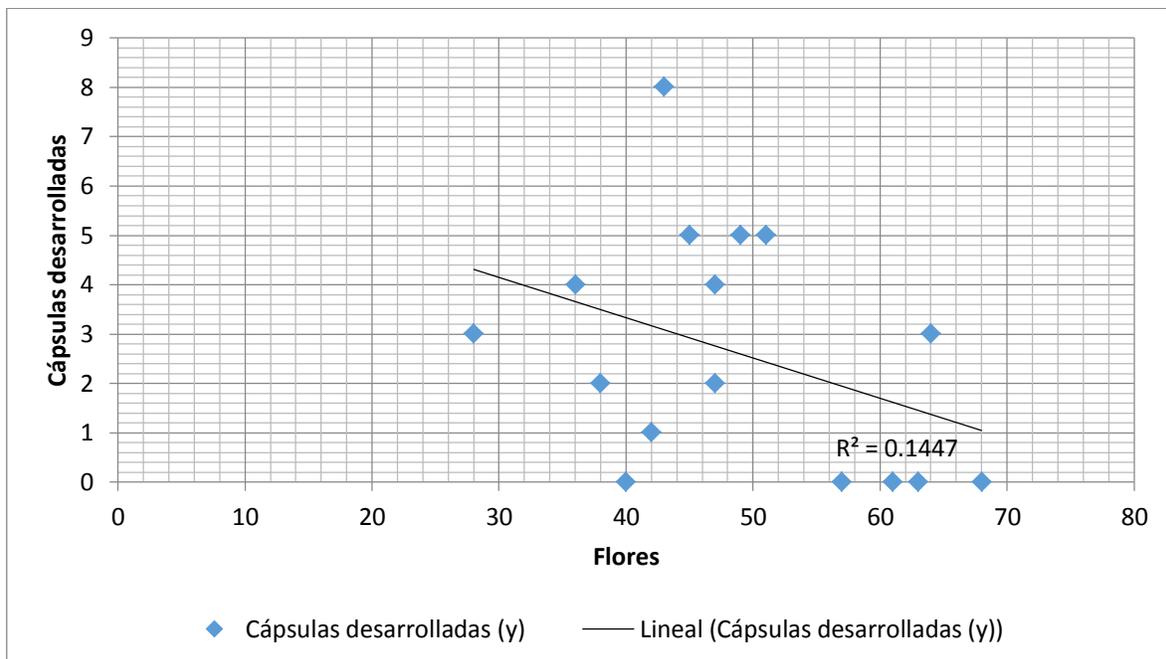
Fotografías tomadas en la población de Las Coloradas, en ejido Las Coloradas, Ramos Arizpe, Coahuila, durante periodo de evaluación de floración y fructificación.

Apéndice 4. Diferencia entre cápsulas abortadas y cápsulas desarrolladas de *Yucca endlichiana* Trel.



Las cápsulas abortadas se identifican por ser de menor tamaño, generalmente un tercio del tamaño de una cápsula desarrollada.

Apéndice 5. Correlación no significativa entre el número inicial de flores y número final de cápsulas desarrolladas por panícula de 16 individuos de *Yucca endlichiana* Trel.



Apéndice 6. Variación de producción promedio de semillas y su clasificación por cápsulas de *Yucca endlichiana* Trel. en la población Las Coloradas en el año 2017.

Planta	Producción promedio por cápsula de:						Número de cápsulas/planta
	SLL	SV	SDHB	SDI	SDV	OA	
01	34	7	0	5	2	5	8
02	20	13	1	2	0	12	4
03	28	14	0	3	0	6	2
04	21	8	0	4	1	23	5
05	36	8	2	2	0	8	2
06	35	12	0	2	1	15	5
07	21	11	0	0	2	21	1
08	18	14	0	1	1	17	4
09	17	16	0	7	0	13	5
10	30	10	1	7	2	7	3
11	2	2	0	0	0	8	3
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0

Dónde: SLL= Semilla llena. SV= Semilla vana; SDHB= semillas dañadas por hongos o bacterias; SDI= Semillas dañadas por insectos; SDV= Semillas dañadas por varios factores; OA= Óvulos abortados.