

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Producción de Semilla e Indicadores Reproductivos de *Yucca filifera* Chabaud  
y *Yucca treculeana* Carr. de Dos Localidades al Noreste de México

Por:

**KARLA STEPHANIE TREVIÑO RUIZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Producción de Semilla e Indicadores Reproductivos de *Yucca filifera* Chabaud  
y *Yucca treculeana* Carr. de Dos Localidades al Noreste de México

Por:

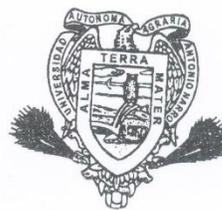
**KARLA STEPHANIE TREVIÑO RUIZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

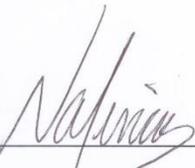
Aprobada por el Comité de Asesoría:



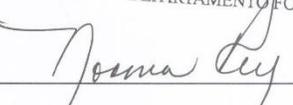
  
Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal

DEPARTAMENTO FORESTAL

  
M.C. Salvador Valencia Manzo

Coasesor

  
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2016

Esta tesis fue apoyada por el proyecto de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38.111.3613.2122, que tiene como responsable al  
Dr. Celestino Flores López.

## DEDICATORIA

A mi madre:

Karla Lucía Ruiz Martínez, primero que nada, por darme la vida y siempre luchar por darnos lo mejor a mí y a mi hermana, por brindarme su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo de tesis, por darme ánimos en los malos momentos y por compartir a mi lado los buenos momentos.

A mi padre:

Eduardo Treviño Hernández, por enseñarme a ser responsable y trabajadora, por apoyar mis decisiones en todo momento, y por siempre animarme a seguir mi camino espiritual.

A mi hermana:

Lucía Monserrat Treviño Ruiz, por acompañarme en todas las etapas de este trabajo, por dedicar gran parte de su tiempo para ayudarme sin importarle lo cansado que pudiera ser, por animarme a seguir adelante y nunca darme por vencida.

A mi familia por apoyar y respetar todas las decisiones que he tomado y que sigo tomando tanto en el ámbito personal como profesional.

## AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios y darme la mejor preparación dentro de mi ámbito laboral. Por darme la oportunidad de conocer y convivir con personas maravillosas que han aportado mucho a mi vida.

Al Dr. Celestino Flores López, por el apoyo incomparable que me brindó a lo largo de éste trabajo, por dedicarme su tiempo y estar disponible en todo momento, por el ánimo y entusiasmo que le puso a la realización de este trabajo y por animarme a superarme académicamente. Gracias por su confianza y por la dedicación y empeño que le brinda a sus tesis.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por dedicar parte de su tiempo en atender mis dudas, por sus comentarios y aportaciones a este trabajo, por mostrar siempre interés en la superación académica de los estudiantes

A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres, por su disposición a la participación en este trabajo y por dedicar su tiempo durante la revisión y aportaciones del mismo.

A todos mis maestros que a lo largo de la carrera han compartido su experiencia y conocimientos conmigo. Gracias por la formación que me han brindado.

A mis amigos Catalina Butrón Rojas, Miguel Ángel López Bravo, Jonatan Omar Baez Bautista por la ayuda que me brindaron durante el trabajo de campo, así como su incomparable amistad a lo largo de toda la carrera, gracias por compartir a mi lado tantos buenos momentos. A mis compañeros María de Jesús Arellanos Ramos, Justino Hernández González y Enrique Eguiluz Pedraza, por su apoyo durante el trabajo de campo y de laboratorio.

A Karla Lucía Ruiz Martínez y Lucía Monserrat Treviño Ruiz, por ayudarme y apoyarme durante el trabajo de laboratorio y en el invernadero. A Luis Fernando Quiñonez Moya por toda la ayuda que me has brindado en cada etapa de este trabajo, así como por el ánimo que me has dado para terminar esta tesis. Sin el apoyo de todos ustedes no hubiera podido culminar con todo el trabajo que tuve, estoy inmensamente agradecida.

A todos mis compañeros y amigos de la carrera, por compartir conmigo tantas buenas experiencias, y por ser parte de mi vida y de una etapa que ha sido maravillosa.

Al Dr. José Ángel Villareal Quintanilla y al M.C. Antonio Cárdenas Elizondo por su ayuda en la identificación del material botánico y entomológico de este trabajo. A

todos mis amigos y profesores que se han visto involucrados en este trabajo y que han dedicado parte de su tiempo para ayudarme.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Hipótesis.....	4
1.2. Objetivo General.....	4
1.2.1. Objetivos específicos .....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Descripción del género <i>Yucca</i> .....	5
2.1.1 Características generales.....	5
2.1.2 Distribución geográfica en México .....	7
2.1.3 Importancia .....	7
2.2 Descripción de <i>Yucca filifera</i> y <i>Yucca treculeana</i> .....	9
2.2.1 <i>Yucca filifera</i> Chabaud.....	9
2.2.2 <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	9
2.3 Producción de semillas .....	10
2.3.1 Importancia en el género <i>Yucca</i> .....	10
2.3.2 Conceptos y estimación de la producción de semillas .....	10
2.3.3 Estudios relacionados.....	12
2.4 Indicadores reproductivos .....	15
2.4.1 Estudios relacionados.....	16
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1 Descripción del área de estudio.....	19
3.2 Recolección de semillas y evaluación dasométrica.....	20
3.3 Análisis de cápsulas y estimación de eficiencia y potencial de semilla.....	21
3.3.1 Análisis estadístico.....	23

3.4 Indicadores reproductivos .....	24
3.4.1 Análisis de cápsulas.....	24
3.4.2 Calidad de semilla .....	25
3.4.3 Vigor de plántulas.....	28
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1 Producción de semilla.....	31
4.1.1 Correlación entre variables dasométricas evaluadas y variables relacionadas con la producción de semilla.....	31
4.1.2 Potencial y eficiencia de semilla .....	38
4.2 Indicadores reproductivos .....	42
5 CONCLUSIONES.....	47
6 RECOMENDACIONES .....	48
7 LITERATURA CITADA .....	49
8 APÉNDICE .....	57

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Descripción de estudios relacionados con el tema de producción y eficiencia de semillas para especies tropicales. ....	13
Cuadro 2. Descripción de estudios realizados en el género <i>Yucca</i> .....	14
Cuadro 3. Indicadores potenciales del estado reproductivo y genético basados en las características de conos y semillas (Mosseler <i>et al.</i> , 2000). ....	15
Cuadro 4. Indicadores utilizados para evaluar el estado reproductivo de las especies, basado en Mosseler <i>et al.</i> (2000). ....	17
Cuadro 5. Descripción de estudios relacionados con el estado reproductivo de especies de coníferas. ....	17
Cuadro 6. Localización y descripción física y de la vegetación de las localidades de estudio de <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	20
Cuadro 7. Medias para las variables dasométricas evaluadas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	31
Cuadro 8. Medias para las variables relacionadas con la producción de semilla de <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	32
Cuadro 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables dasométricas y variables de producción de semilla de 30 palmas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud.....	33
Cuadro 10. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables combinadas de caracteres dasométricos y reproductivos de 30 palmas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud.....	33
Cuadro 11. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables combinadas de caracteres dasométricos y reproductivos de 30 palmas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud.....	34
Cuadro 12. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características de cápsulas y el potencial y características de semillas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud.....	34

Cuadro 13. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables dasométricas y variables de producción de semilla de 30 palmas de <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	35
Cuadro 14. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables dasométricas y características de cápsulas y semillas de 30 palmas de <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	36
Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características de cápsulas y el potencial y características de semillas de <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	36
Cuadro 16. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables combinadas de caracteres dasométricos y reproductivos de 30 palmas de <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	37
Cuadro 17. Potencial y eficiencia de semilla obtenidas de la evaluación de cápsulas <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	38
Cuadro 18. Pérdida de semilla en cápsulas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	39
Cuadro 19. Indicadores reproductivos relacionados con características de cápsulas y semillas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	42
Cuadro 20. Indicadores reproductivos relacionados con características de plántulas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Ubicación de las localidades de Huachichil, Arteaga, Coah. ( <i>Yucca filifera</i> Chabaud) y Santa Teresa, Castaños, Coah. ( <i>Yucca treculeana</i> Carr.).....	19
Figura 2. Variables morfológicas evaluadas en las cápsulas y semillas de <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	23
Figura 3. Variables morfológicas evaluadas en plántulas de <i>Yucca treculeana</i> Carr.....	29
Figura 4. Potencial y pérdida de semilla obtenidas del análisis de cápsulas de <i>Yucca filifera</i> Chabaud y <i>Yucca treculeana</i> Carr. ....	38

Correo electrónico; Karla Stephanie Treviño Ruiz, [k.trevinorui@gmail.com](mailto:k.trevinorui@gmail.com)

## RESUMEN

*Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr. son especies destacadas por su importancia económica, social y ambiental. El conocimiento básico sobre la capacidad reproductiva de estas especies es necesario para implementar estrategias de conservación que permitan asegurar la calidad de semilla que es utilizada en los programas de forestación, reforestación y restauración ecológica. En este sentido, el propósito de este estudio fue evaluar la producción de semilla e indicadores reproductivos a través de las características de cápsulas, semillas y plántulas.

Para estimar la producción por medio del potencial y eficiencia de semilla y los indicadores reproductivos se evaluaron cápsulas de 30 palmas de *Yucca filifera* y de *Yucca treculeana* en las localidades de Huachichil, Arteaga, Coah. y Santa Teresa, Castaños, Coah., respectivamente. Los indicadores reproductivos evaluados fueron la proporción de semillas llenas y abortadas, el coeficiente de endogamia, el peso de semillas, porcentaje y valor de germinación y vigor de plántulas: características morfológicas e Índice de Calidad de Dickson (ICD).

La especie con el mayor potencial de semillas fue *Yucca treculeana* con un total de 100 semillas y con una eficiencia del 62.26%, mientras que *Y. filifera* obtuvo un potencial de 64 semillas con una eficiencia del 31.65%. En cuanto a los indicadores reproductivos, se encontró que *Y. treculeana* es la especie con mejores valores de porcentajes de semillas llenas, abortadas y coeficiente de endogamia con valores de 62.44%, 0.27% y 0.28, respectivamente. Sin embargo *Y. filifera* mostró los mejores porcentajes y valor de germinación (70.05% y 9.70). En cuanto al vigor de plántulas de *Y. filifera* y *Y. treculeana* los resultados muestran un ICD de 0.47 y 0.31, respectivamente.

Palabras clave: *Yucca filifera*, *Yucca treculeana*, indicadores reproductivos, potencial de semillas, eficiencia de semillas, producción de semillas.

## ABSTRACT

*Yucca filifera* Chabaud and *Yucca treculeana* Carr. are noted species for their economic, social and environmental importance. Basic knowledge of reproductive capacity of these species is needed to implement conservation strategies that ensure the quality the seed that is used in the programs of afforestation, reforestation and ecological restoration. In this sense, the purpose of this study was to evaluate seed production and reproductive indicators by capsules, seeds and seedlings traits.

To estimate the seed production throughout seed potential, seed efficiency and reproductive indicators, capsules from 30 palms of each species were collected in the localities of Huachichil, Arteaga, Coah. y Santa Teresa, Castaños, Coah. Reproductive indicators as proportions of filled and aborted seeds, inbreeding quotient, seed weight, germination rate and value and seedling vigor: morphological traits and Dickson Quality Index (DQI).

*Yucca treculeana* is the species with the highest seed potential (100.02) and seed efficiency (62.26%) while *Yucca filifera* shows values of 63.84% and 31.65%, respectively. Regarding to reproductive indicators, *Y. treculeana* shows the best values in percentages for filled seeds, aborted seeds and inbreeding quotient with 62.44%, 0.27% and 0.28, respectively. However *Y. filifera* shows the highest results of germination percentage and germination value (70.05% and 9.70). As to seedling vigour, *Y. filifera* and *Y. treculeana* showed a DQI of 0.47 and 0.31, respectively.

Key Word: *Yucca filifera*, *Yucca treculeana*, reproductive indicators, seed potential, seed efficiency, seed production.

## 1 INTRODUCCIÓN

La cubierta vegetal de las regiones de clima árido y semiárido de México ocupa más de la mitad del territorio nacional. Se ha reunido las comunidades arbustivas de este tipo de clima bajo el nombre matorral xerófilo, el cual es de gran importancia debido a la riqueza de formas biológicas y endemismos que lo constituyen (Rzedowski, 2006).

Debido a su amplia distribución, estas regiones albergan numerosas especies que de manera potencial pueden llegar a aprovecharse, sin embargo, solo un pequeño grupo de especies, han llamado la atención de los habitantes de las zonas áridas. Las especies que se han destacado por su uso son nopal (*Opuntia* spp.), lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), palma (*Yucca* spp.), y candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), esto debido tanto al volumen e intensidad con las que son explotadas, así como por constituir la principal fuente de recursos económicos (Marroquín *et al.*, 1964; González-Medrano, 2012)

De entre estas plantas, las especies del género *Yucca*, han sido ampliamente utilizadas, éstas se destacan por ser especies dominantes en las zonas áridas, así como por tener una distribución geográfica muy amplia, la cual se puede extender desde los Estados Unidos hasta el norte de México, parte de Centroamérica y hacia el este desde la costa Atlántica y las Bermudas hacia las Antillas orientales (Matuda y Piña, 1980; Rzedowski, 2006).

*Yucca filifera* Chabaud y *Y. treculeana* Carr. son especies destacadas por su importancia económica, social y ambiental. Ambas especies contribuyen a la defensa del suelo contra la erosión, favoreciendo al mismo tiempo la retención del agua y aumentando su contenido orgánico. Proporcionan alimento, sombra y refugio contra el viento y otras inclemencias, tanto al hombre, como al ganado y a la fauna silvestre (Matuda y Piña, 1980).

*Yucca filifera* es de gran importancia económica para las comunidades, siendo sus hojas una fuente de fibra y sus flores muy usadas para su consumo en época de cuaresma. Además, los pobladores utilizan sus troncos y hojas para la construcción

de paredes y techos de sus viviendas, los tallos son frecuentemente usados como cercos para los corrales del ganado. Cabe mencionar que en nuestro país han sido plantadas en los taludes de algunas carreteras, tanto para favorecer la consolidación de los mismos, como con fines estéticos (Matuda y Piña, 1980; Foroughbakch *et al.*, 2005).

A su vez, *Yucca treculeana* ha sido utilizada para la extracción de fibra en algunos municipios de Coahuila, como Castaños, Candela, Escobedo y Monclova, mientras que, en el estado de Durango, se utiliza como alimento para el ganado utilizando la parte tierna del tallo. Además, sus flores al madurar son guisadas o usadas en ensaladas. Debido a que sus fibras son de buena calidad, se ha estudiado su potencial como materia prima para la obtención de celulosa en los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (Erdos y Alvarado, 1960; Marroquín *et al.*, 1964; Alanis-Flores, 2001).

A pesar de ser plantas destacadas por su utilidad, el conocimiento que se tiene sobre su biología básica es escaso (Golubov *et al.*, 2007). De *Yucca filifera* y *Y. treculeana* se ha descrito su polinización y su relación con la producción de semillas (Rentería-Arrieta y Cantú, 2003; Crabb y Pellmyr, 2004), su importancia como nicho ecológico y su relación con la avifauna (García-Salas, 1999), así como usos potenciales (Mclaughlin y Schuck, 1991).

La conservación de especies pertenecientes a Agavaceae y Nolinaceae (como *Agave*, *Dasyllirion* y *Yucca*), se ha visto afectada por problemas antropogénicos entre los cuales destaca la destrucción y modificación del hábitat causado principalmente por la expansión agrícola, forestal y ganadera, el sobrepastoreo, la expansión de áreas rurales y urbanas, y la apertura de vías de comunicación. A su vez, el continuo incremento de las poblaciones en las zonas áridas y semiáridas ha traído como consecuencia que el aprovechamiento de los recursos naturales se realice no solo de manera intensiva y no sustentable, sino que además sin un plan que integre a todos los recursos susceptibles de explotación. Todo esto se ve reflejado en las poblaciones naturales, las cuales han disminuido considerablemente (González y Scheffey, 1964; Golubov *et al.*, 2007; González-Medrano, 2012).

El proceso de fragmentación al que se han visto expuestas las comunidades vegetales de zonas áridas y semiáridas, ha traído como consecuencia una pérdida importante de recursos genéticos forestales tanto maderables como no maderables. Debido a esto es necesario implementar estrategias de conservación que permitan asegurar la calidad de semilla que es utilizada en los programas de forestación, reforestación y restauración ecológica, con esto asegurando el éxito de dichos programas (García-de la Cruz *et al.*, 2011).

Para lograr esto, es necesario el conocimiento básico sobre la capacidad reproductiva y de producción anual de flores, frutos y semillas de las especies, así como el estudio del comportamiento de las semillas antes de germinar y establecerse como plántulas, así como la germinación de las mismas, puesto que estas etapas son de vital importancia para las poblaciones de plantas. A pesar de esto, los aspectos ecofisiológicos de las semillas de plantas de zonas áridas se conocen poco y los estudios que se han hecho son escasos y con análisis muy someros, lo que muestra la necesidad de conducir estudios más detallados sobre la producción de semilla que aporten dichos conocimientos (Cloudsley-Thompson, 1977; Nassar y Emaldi, 2008; González-Medrano, 2012).

Debido a la importancia de conocer el estado reproductivo de las especies y al poco conocimiento que se ha generado para especies de zonas áridas, específicamente *Yucca*, se evaluó la producción de semilla a través de las características de cápsulas, semillas y plántulas para determinar indicadores reproductivos y estimar el potencial y eficiencia de semilla. Los indicadores reproductivos son herramientas básicas para el monitoreo de las poblaciones y permiten evaluar el estado reproductivo en el que se encuentran. La eficiencia reproductiva de las poblaciones se puede determinar evaluando características asociadas con la producción de semillas, como el tamaño del fruto, número de semillas llenas y vanas por fruto, proporción de óvulos abortados, germinación de semillas, supervivencia y vigor de las plántulas (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000).

## 1.1. Hipótesis

Las hipótesis nulas propuestas para el presente trabajo son:

Ho: No existe correlación entre las variables dasométricas y la producción de semilla e indicadores reproductivos de *Yucca filifera* y *Yucca treculeana*.

Ho: La producción de semillas y los indicadores reproductivos son iguales entre las especies de *Yucca filifera* y *Yucca treculeana*.

## 1.2. Objetivo General

Analizar la producción de semilla y estimar los indicadores reproductivos de *Yucca filifera* y *Yucca treculeana* mediante la evaluación de cápsulas, semillas y plántulas.

### 1.2.1. Objetivos específicos

Identificar las variables relacionadas con la producción de semilla con las variables desométricas de *Yucca filifera* y *Yucca treculeana*.

Comparar la producción de semilla estimando el potencial de semilla y su eficiencia entre *Yucca filifera* y *Yucca treculeana*.

Evaluar y comparar los indicadores reproductivos mediante el análisis de cápsulas, semillas, germinación y plántulas de *Yucca filifera* y *Yucca treculeana*.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

La vegetación natural que protege la superficie del suelo de la erosión hídrica, es un elemento fácilmente modificado por las actividades del hombre como la agricultura y la ganadería. En las regiones áridas la vegetación cobra mayor importancia puesto que al destruirse, las condiciones desérticas se manifiestan rápidamente (Cloudsley-Thompson, 1977).

En la actualidad, la población rural de las zonas áridas obtiene ingresos de la agricultura y de la ganadería, sin embargo, las condiciones climáticas no son ventajosas para estas actividades, por lo que el uso de plantas útiles cobra gran importancia como recurso económico. A pesar de esto no se han establecido planes integrales que permitan aprovechar todos los recursos que podrían ser utilizados, esto se debe en parte al poco conocimiento que se tiene de estas regiones y por otro lado a la explotación preferente de un grupo reducido de especies: candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), guayule (*Parthenium argentata* A. Gray.), lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), palma (*Yucca filifera* Chabaud y *Yucca carnerosana* Trel.), zamandoque (*Hesperaloe funifera* (K. Koch) Trel.), mezquite (*Prosopis laevigata* H. & B. y *Prosopis juliflora* Sw.), las cuales se han explotado tan intensivamente que sus poblaciones han disminuido considerablemente (González y Scheffey, 1964; Marroquín *et al.*, 1964; González-Medrano, 2012).

La composición florística de los matorrales xerófilos es diversa y rica en endemismos. Se caracteriza por un número considerable de formas biológicas que han permitido a las especies adaptarse a la aridez. Un claro ejemplo son las Agavaceae, familia representada por una gran diversidad de taxa, entre las cuales las especies del género *Yucca* logran destacar en las comunidades vegetales puesto que pueden llegar a ser especies dominantes o codominantes (Rzedowski, 2006).

### 2.1 Descripción del género *Yucca*

#### 2.1.1 Características generales

Las especies del género *Yucca* son plantas perennes y suculentas de porte acaulescente, arbustivo o arborescente. Sus hojas generalmente se encuentran

agrupadas hacia los extremos de los tallos, pueden ser rígidas, planas o convexas, su coloración es habitualmente verde, pero se pueden encontrar especies con coloraciones amarillo-verdosas, verde-azulosas o verde muy claro; el ápice de las hojas es agudo. La Inflorescencia en panícula puede ser pendular o erecta. Flores campanuladas o globosas, con seis tépalos curvados, usualmente de color blanco-cremoso algunas veces con tintes rosáceos o morados. Fruto indehisciente, tanto carnoso (baya), como seco y esponjoso; o dehiscente (cápsula). Semilla plana, lisa o rugosa, brillante u opaca (Matuda y Piña, 1980).

Los aspectos morfológicos que han sido descritos como comunes de cada especie de *Yucca* son hojas agrupadas en cabezuelas terminales, hojas con espina terminal, flores blancas en algunos casos coloreadas, fruto de color verde antes de madurar que se torna café rojizo conforme madura y semillas de color negro (Matuda y Piña, 1980). Dentro del fruto, las semillas se encuentran dispuestas en carpelos, cada uno a su vez compuestos por dos hileras en donde se encuentran las semillas, teniendo un total de seis hileras (Arnott, 1962).

Estas plantas dependen para su polinización de una pequeña especie de polilla (principalmente las especies de *Tegeticula yuccasella* Riley y *Prodoxus quinquepunctellus* Chambers). Ésta asociación, donde la polilla poliniza a la planta y las semillas de ésta a su vez alimentan a las larvas, ha sido descrita inicialmente por Trelease (1902) y Webber (1953); sin embargo, existe poca información sobre el tema, lo que hace difícil determinar si la *Yucca* depende completamente de la polinización de la polilla, si la polinización es cruzada (entre dos plantas) o si se ha dado una interferencia entre ambos ciclos de vida que ha logrado mantenerse bajo una continua compensación o en equilibrio (Trelease, 1902; Webber, 1953).

Los tipos de diseminación de semilla son altamente especializados en este tipo de plantas. Las semillas de algunas especies son diseminadas a través del viento una vez que salen de las cápsulas, tal es el caso de *Yucca glauca* Nutt. y *Y. elata* Engelm. (Young y Young, 1992), en cambio las cápsulas indehiscientes están adaptadas para ser transportadas por las ráfagas de viento y los frutos de otras especies presentan formas inusuales de diseminación como secarse completamente

hasta alcanzar una consistencia leñosa de tal forma que sus semillas caen poco a poco (Trelease,1902). Por otro lado, algunas especies tienen frutos dulces y comestibles que son diseminadas a través de los animales, especialmente aves (Webber, 1985).

### 2.1.2 Distribución geográfica en México

Debido a la gran influencia que ejerce el clima sobre las comunidades bióticas, éste es el principal factor que determina la distribución de la vegetación, sin embargo, existen otros factores como el sustrato geológico, el tipo de suelo y la latitud que contribuyen a la distribución de la vegetación. Estos rasgos ambientales y su estrecha relación con las comunidades vegetales, son muy notorias en condiciones de aridez (González-Medrano, 2004).

Algunas comunidades de plantas xerófitas son exclusivas de México, tal es el caso de algunas especies del género *Yucca*. Nuestro país alberga una diversidad de 29 especies de dicho género ampliamente representadas a lo largo del territorio. La mayoría de estas especies se encuentran fuertemente distribuidas en la región norte del país principalmente en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas y Baja California Norte. Sin embargo, podemos encontrar algunas especies en el Centro y Sur del país en los estados de Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Colima, Veracruz, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (Matuda y Piña, 1980; González-Medrano, 2004).

### 2.1.3 Importancia

Las especies de *Yucca* son componentes importantes de la vegetación nativa (Young y Young, 1992), 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 perenes; en las partes bajas de las montañas podemos encontrar asociaciones de *Yucca* con matorrales; en regiones más secas podemos encontrarla con especies de encino (*Quercus* spp.), enebro (*Juniperus* spp.) y pino piñonero (*Pinus cembroides*);

en los bosques montañosos comúnmente se relaciona con pinos (*Pinus* spp.) y abetos (*Picea* spp.) así como especies arbóreas de hoja ancha y gran cantidad de especies arbustivas (Webber, 1953).

Las *Yuccas* se encuentran entre las especies más valiosas de los climas áridos y semiáridos. Sus hojas y troncos interceptan la lluvia y reducen su flujo, así como sus raíces protegen el suelo de la erosión. Las *Yuccas* muertas, así como el material de los animales asociados con ellas, incrementan el material orgánico del suelo. Estas plantas permiten a su vez el establecimiento de pequeñas comunidades alrededor de ellas: pequeñas plantas, roedores, insectos y aves, las cuales no sobrevivirán sin su protección; además proveen comida, sombra y protección del viento al ganado, venados, aves, numerosos roedores y otros pequeños animales (Webber, 1953).

Las especies del género *Yucca* han sido de gran utilidad para las comunidades que viven en las zonas áridas. De estas plantas es posible aprovechar casi todas sus partes: raíces, flores, frutos, tallos y hojas. Las raíces se usan como jabón. Varias especies producen flores y frutos comestibles tanto para el ser humano como para el ganado. Con sus troncos y hojas se construyen chozas y tejados, además se han utilizado para elaborar cercas. De sus hojas se extraen fibras, con las cuales se elaboran cuerdas, sandalias, ropa, redes y bolsas. Inclusive han sido utilizadas en zonas urbanas como ornamentación de parques, jardines y taludes de algunas carreteras (Rzedowski, 1964; Cloudsley-Thompson, 1977; Matuda y Piña 1980; González-Medrano, 2012).

Existen otros usos potenciales que han ido tomando importancia dentro del campo de investigación de estas especies. Se ha reportado que de los rizomas de *Yucca* se pueden elaborar hormonas femeninas que pueden llegar a ser utilizadas en intervenciones ginecológicas. Por otro lado, numerosos estudios han sido enfocados a obtener bases técnicas que permitan el desarrollo industrial de estas especies. Unificado a todo esto, se han realizado estudios para determinar si las fibras de algunas especies de *Yucca* pueden ser empleadas en la industria del papel para la elaboración de papeles especiales incluyendo el papel moneda, bolsitas de té, y

otros productos. Estos estudios incluyen las especies de *Yucca australis* Engelm., *Y. baccata* Torr., *Y. carnerosana* (Trel.) McKelvey., *Y. elata* Engelm., *Y. rigida* Engelman Trel., *Y. schottii* Engelman., *Y. thornberi* McKelvey y *Y. treculeana* Carr. (Webber, 1953; Rzedowski, 1964; Matuda y Piña 1980; Mclaughlin y Schuck, 1991).

## 2.2 Descripción de *Yucca filifera* y *Yucca treculeana*

### 2.2.1 *Yucca filifera* Chabaud

Planta arborescente que puede alcanzar hasta más de 10 m de altura, muy ramificada. Su fruto es colgante, oblongo, de 5.0-8.8 cm de largo por 2.7-3.3 cm de diámetro, termina en un pico de 0.2-0.7 cm de largo. Semillas de 8 x 2 mm, algo rugosas. Florece de fines de abril a fines de mayo. Usualmente se puede encontrar esta especie en planicies con suelos profundos, bien drenados o con deficiente drenaje (cuencas endorreicas); con altitudes entre 500 y 2400 msnm. Forma parte del estrato arbóreo, principalmente en el Matorral Desértico. En México, es la especie con más amplia distribución y con las mayores densidades, se encuentra en Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Michoacán y en las porciones menos húmedas del Estado de México (Matuda y Piña, 1980).

### 2.2.2 *Yucca treculeana* Carr.

Planta arborescente, tronco simple rara vez ramificado por lo general por debajo de los 5 m de altura. Hojas gruesas, rígidas y muy cóncavas de color azul-verdoso. Fruto de 6.5-10 cm de largo por 17-24 mm de diámetro, cilíndrico con su parte terminal cónica, simétrico, suturas carpelares profundas en forma de "U". Semillas de 4-5 mm por 5-6 mm, planas, gruesas, rugosas. Flores pequeñas y blancas, en ocasiones teñidas de púrpura, florece de mediados de marzo a principios de abril. Podemos encontrar esta especie en planicies con suelos profundos, algunas veces salinos; con altitudes entre 100 y 1600 msnm, formando parte del Matorral desértico. Se distribuye en el centro-sur de Texas, Estados Unidos y en México en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Durango, encontrando sus

mayores densidades en los municipios de Parras, San Pedro, Viesca y Torreón, Coahuila (Trelease, 1902; Webber, 1953; Matuda y Piña, 1980).

## 2.3 Producción de semillas

### 2.3.1 Importancia en el género *Yucca*

La reproducción mediante semillas constituye una forma segura de perpetuación de las especies vegetales y la base de la repoblación (Peñuelas-Rubira y Ocaña-Bueno, 2000). Las semillas de *Yucca* presentan un conjunto de características que les permiten adaptarse a la aridez, éstas son su dureza, cubierta externa, un endospermo abundante, la cantidad de cera que contiene y su alta viabilidad; además caracteres taxonómicos que son de importancia pueden ser encontrados en las semillas de este género, razón por la cual diversos trabajos taxonómicos prestan suma atención a ellos, encontrando buena correlación entre el tipo de fruto y las características de las semillas (Trelease, 1902; Webber, 1953; Arnott, 1962).

La *Yucca* se reproduce tanto sexualmente como vegetativamente, esto es, por semilla en el primer caso y mediante brotes o retoños en el segundo. A pesar de la alta producción de semilla viable, la reproducción por este medio se ha visto muy limitada, esto se puede atribuir a lluvias escasas e irregulares, al crecimiento y establecimiento extremadamente lento de las plántulas y al ataque de roedores como ratas y conejos que aprovechan el pequeño tamaño de las plántulas para alimentarse de sus hojas (Matuda y Piña 1980; Webber, 1953).

La germinación de las semillas se lleva a cabo cuando las condiciones del ambiente son favorables, siendo ésta consistente y usualmente alta, especialmente si se da bajo condiciones uniformes y controladas, mostrando una germinación del 80-90% en semillas recientemente recolectadas, de las cuales un 48% producen plántulas (Arnott, 1962).

### 2.3.2 Conceptos y estimación de la producción de semillas

La eficiencia reproductiva de las poblaciones se puede determinar evaluando características asociadas con la producción de semillas, como 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 las plántulas. La metodología conocida como análisis de cono recolecta dicha información y permite identificar en qué estado del desarrollo de la semilla ocurrieron pérdidas y que tipos de fallas en las semillas se pueden identificar y cuantificar (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 los frutos. Posteriormente, es de gran utilidad relacionar la estimación de los conos con la producción de semillas (Willan, 1991). La metodología del análisis de cono, propuesta por Bramlett *et al.* (1977), permite realizar esta estimación y además relacionarla con el potencial biológico del cono para producir semillas.

Siguiendo esta metodología, las semillas desarrolladas son clasificadas como semillas llenas, semillas vanas, semillas dañadas por insectos, semillas dañadas por hongos y semillas con otro tipo de daños. Lo ideal es clasificar las semillas dañadas por insectos indicando a qué especie se atribuye el daño, esto con el objetivo de posteriormente realizar las actividades de manejo y prevención adecuadas. Este procedimiento 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).

El potencial de semilla indica el límite biológico de la cantidad de semillas que pueden ser producidas por un cono, mientras que la eficiencia de semillas expresa la proporción de semillas totales desarrolladas y dicho potencial de semilla. Esto significa que se compara la producción de semillas relativo que ha sido producida por el cono, con la producción de semillas potencial que puede llegar a producir dicho

cono. Cabe mencionar que la eficiencia de semilla es la medida más importante en la producción de semillas, puesto que permite hacer comparaciones del desarrollo de dos especies diferentes (Bramlett *et al.*, 1977; Owens, 1995).

La germinación es el punto en el que la emergencia y desarrollo de la plántula determinan si la semilla es capaz de desarrollar una planta normal bajo condiciones favorables. El porcentaje de germinación permite medir la viabilidad de las semillas que han sido clasificadas como llenas. Este valor se obtiene de la proporción del número de semillas germinadas y el número total de semillas llenas producidas por el cono. La eficiencia de extracción indica la facilidad con que las semillas desarrolladas son extraídas del cono. Este procedimiento es el porcentaje de semillas llenas que han sido extraídas después del secado de los conos. En la eficiencia de plántulas se ve reflejada la producción total: conos, semillas y plántulas. Es el producto de los valores de la eficiencia de semillas, porcentaje de germinación y eficiencia de extracción. Si alguno de estos valores es bajo, repercutirá en la eficiencia de la población evaluada (Bramlett *et al.*, 1977; Antonio, 2012).

### 2.3.3 Estudios relacionados

El desarrollo de flores y conos, así como su relación con la producción de semillas en las especies de pinos han sido estudiadas por Bramlett (1972), quien encontró que la mortalidad tanto de flores como de conos en las primeras etapas de producción, impacta en la producción final de semilla.

Algunos de los estudios sobre la eficiencia reproductiva y el potencial de semillas se han realizado en especies de coníferas como *Pinus resinosa* Ait., *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus teocote* Schl. et Cham., *Pinus engelmanni* Carr., y *Picea martinezii* T. F. Patterson, por Lyons (1956); Alba-Landa *et al.* (2003); Mendizábal-Hernández *et al.* (2010); Bustamante-García *et al.* (2012); Flores-López *et al.* (2012), respectivamente. En comparación del conocimiento generado sobre coníferas de clima templado, la información con la que se cuenta sobre especies tropicales es limitada (Owens, 1995). Tales investigaciones centran su atención en aquellas especies de valor comercial como lo son el cedro y la caoba (Cuadro 1).

Además, el rendimiento de mano de obra para la recolección y procesamiento de semillas en especies de interés forestal ha sido estudiado por Jara (1998) y Jara y Valle (1996), en donde se estudiaron 17 y 10 especies forestales de interés en América Central y República Dominicana, respectivamente. Entre las especies estudiadas se puede encontrar cedro, eucalipto, laurel, teca, caoba y varias especies de pino. Esta información permitirá sentar las bases para el mejoramiento genético de las semillas forestales que se usan en programas de reforestación, así como para atender las necesidades técnicas y económicas de los productores, quienes desconocen la producción de semillas por individuo, costos de recolección y procesamiento y calidad de la semilla (Jara ,1998).

Cuadro 1. Descripción de estudios relacionados con el tema de producción y eficiencia de semillas para especies tropicales.

Autor (es)	Especie (s) estudiada (s)	Investigación Realizada
Niembro (1995a) †	<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 (1995b) †	<i>Swietenia macrophylla</i>	Rendimiento de semillas y relaciones existentes entre peso (g), longitud (mm), diámetro (mm), NSDM, PP, NSG, PS, EP y EG.
Álvarez (2000) †	<i>Cedrela odorata</i> <i>Tabebuia rosea</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Cupressus lusitánica</i>	Relación entre peso y tamaño de cono con la cantidad de semillas producidas.
Rodríguez-Rivas et al. (2001) †	<i>Cedrela odorata</i>	Evaluar el potencial y la eficiencia de los frutos para producir semillas y determinar su relación entre el peso, largo y ancho de los frutos.
Mendizábal-Hernández et al. (2012) †	<i>Cedrela odorata</i>	Potencial y eficiencia de semillas de dos procedencias.

†: Investigación en la que se realizaron modificaciones a la metodología de Bramlett *et al.* (1977) para frutos de especies tropicales. 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.

En cuanto a especies de zonas áridas, son pocos los trabajos encontrados para el género *Yucca* relacionados con su producción de semillas y germinación. La mayoría de estos trabajos se enfocan en la relación mutualista entre este género y sus polinizadores (Cuadro 2). Trabajos relacionados con su germinación son varios, pero esta información no se ha relacionado con las características de conos, semilla o plántulas desde el punto de vista de eficiencia y potencial reproductivo.

Cuadro 2. Descripción de estudios realizados en el género *Yucca*.

Autor (es)	Especie (s) estudiada (s)	Investigación realizada
García-Salas (1999)	<i>Yucca treculeana</i>	Estudio de la avifauna asociada en aspectos de nicho y competencia.
Rentería-Arrieta y Cantú (2003)	<i>Yucca filifera</i>	Caracterización de estados fenológicos <sup>†</sup> . Efecto del polinizador <sup>††</sup> sobre PS. Relación entre PO y PS, CCS Y PG.
Crabb y Pellmyr (2004)	<i>Yucca treculeana</i>	Efecto del polinizador <sup>††</sup> sobre la cantidad de semilla intacta viable producida y su relación con las cápsulas.
Alexander <i>et al.</i> (2008)	<i>Yucca brevifolia</i> <i>Yucca elata</i> <i>Yucca glauca</i> <i>Yucca schidigera</i>	Descripción: crecimiento, usos, floración, fructificación, características de frutos y semillas, extracción y almacenamiento de semillas, pruebas de germinación y prácticas de cuidado en invernadero.
Jiménez-Aguilar y Flores (2010)	<i>Yucca filifera</i> <i>Yucca carnerosana</i> <i>Yucca elata</i>	Respuesta germinativa relacionada con condiciones de luz y oscuridad y requerimientos de luz para su germinación.
Cambrón-Sandoval <i>et al.</i> (2013)	<i>Yucca filifera</i>	Respuesta germinativa relacionada con diferentes periodos de almacenamiento. Evaluación de características de las semillas: peso, largo, ancho y grueso.

†: Flores (Inmadura, intermedia y madura) y frutos (Inmaduro, maduro y viejo). ††: Depredación ocasionada por las larvas de *Tegeticula* spp. PS: Producción de semilla PO: Producción de óvulos.

CCS: Cuantificación y clasificación de semillas en semillas subdesarrolladas, semillas sanas viables y maduras dañadas. PG: Porcentaje de germinación.

## 2.4 Indicadores reproductivos

El éxito reproductivo es usualmente medido en relación al número de conos y semillas producidas al final del ciclo reproductivo, sin embargo, las proporciones existentes entre frutos, flores, semillas y óvulos también son de utilidad para determinar el potencial reproductivo de las especies. Esta información es determinante para identificar las limitaciones reproductivas ocurridas durante las diferentes etapas de su desarrollo (Owens, 1995).

Los indicadores reproductivos son herramientas básicas para el monitoreo y evaluación de las poblaciones, puesto que permiten determinar su estado reproductivo y genético. Los valores obtenidos de estas evaluaciones permiten estimar parámetros de viabilidad poblacional como lo son tamaños poblacionales, densidades dentro de las poblaciones y niveles de fragmentación poblacional. Los indicadores potenciales que usualmente son evaluados (Cuadro 3), se basan en las características de los conos, semillas y plántulas (Mosseler *et al.*, 2000).

Cuadro 3. Indicadores potenciales del estado reproductivo y genético basados en las características de conos y semillas (Mosseler *et al.*, 2000).

Criterio de viabilidad de la población	Indicadores
Estado reproductivo	Peso del cono, número de semillas viable por cono, eficiencia de semilla <sup>†</sup> , proporción de semilla <sup>††</sup> , eficiencia reproductiva <sup>†††</sup> , calidad de semilla <sup>¶</sup> , vigor de plántula <sup>¶¶</sup> , coeficiente de endogamia <sup>¶¶¶</sup> , y estimaciones de endogamia basadas en genes marcadores morfológicos <sup>§</sup> .
Estado genético	Varianza genética, presencia de alelos raros, frecuencias genéticas y deriva genética.
Tamaño mínimo de población viable	Tamaño de población, densidad de la población, distribución a nivel de paisaje (fragmentación).

†: Proporción entre el número de semillas llenas y óvulos fértiles. ††: Proporción de semillas llenas, vanas y abortadas. †††: Proporción entre peso de las semillas llenas y peso del fruto. †<sup>1</sup>: Peso de semilla y porcentaje y velocidad de germinación. ††<sup>1</sup>: Supervivencia de plántulas y características de crecimiento. †††<sup>1</sup>: Proporción entre semillas vanas y semillas desarrolladas. §: Expresados en frecuencias de albinismo.

Para el presente trabajo, parámetros como el Índice de Calidad de Dickson (Dickson *et al.*, 1960) y el valor de germinación (Czabator 1962), han sido integrados como parte de las variables evaluadas para determinar la calidad de semillas y plántulas, ampliando de esta manera el conocimiento sobre el estado reproductivo de las especies evaluadas.

El primero combina las variables morfológicas más importantes de las plántulas para determinar su calidad y estimar su éxito en campo, este valor ha sido desarrollado de manera exitosa por Dickson *et al.* (1960), quienes combinaron diferentes variables morfológicas con el objetivo de integrar un solo índice capaz de estimar valores de calidad de plántulas, utilizando para su estudio *Picea glauca* (Moench) Voss. y *Pinus strobus* L. Además, este índice fue utilizado con éxito por Olivo y Buduba (2006) para determinar la calidad de planta de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws., con diferentes sustratos encontrando valores de hasta 0.85. En el estudio de Sáenz-Reyes *et al.* (2014) se determinó la calidad de plántula de *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus greggii* Engelm. ex Parl y *Pinus michoacana* Martínez a través de éste índice, encontrando para las primeras especies calidades medias y para la última una calidad alta.

A su vez, el valor de germinación de Czabator (1962) integra velocidad y porcentaje de germinación en un único valor que expresa ambos términos y que permite establecer la relación entre vigor y capacidad germinativa de las semillas.

En el cuadro 4, se muestran los indicadores reproductivos de cápsulas y semillas, así como aquellos indicadores individuales de plántulas, tanto reproductivos como morfológicos que permiten determinar la condición de la planta (Dickson *et al.*, 1960; Rodríguez-Trejo, 2008).

#### 2.4.1 Estudios relacionados

El estado reproductivo y genético de las poblaciones han sido estudiados por diversos autores, encontrándose dichos estudios enfocados a especies de coníferas (Cuadro 5).

Cuadro 4. Indicadores utilizados para evaluar el estado reproductivo de las especies, basado en Mosseler *et al.* (2000).

Indicador del estado reproductivo	Descripción del indicador
Características y análisis de cápsulas	Proporción de semillas llenas, abortadas y coeficiente de endogamia.
Calidad de semilla	Peso de semillas, porcentaje de germinación y velocidad de germinación
Vigor de plántula	Crecimiento de plántulas e índices morfológicos (Dickson <i>et al.</i> , 1960).

Cuadro 5. Descripción de estudios relacionados con el estado reproductivo de especies de coníferas.

Autor (es)	Especie (s) estudiada (s)	Investigación realizada
Mosseler <i>et al.</i> (2000)	<i>Picea Rubens</i>	Compararon los indicadores reproductivos con producción de semillas, calidad de semillas y viabilidad de la población.
Flores-López <i>et al.</i> (2005)	<i>Picea mexicana</i>	Se evaluó la capacidad reproductiva en tres poblaciones y se realizaron correlaciones entre los indicadores reproductivos obtenidos.
Morales-Velázquez (2010)	<i>Pinus leiophylla</i>	Se realizó un análisis de conos para determinar indicadores reproductivos y posibilidades de éxito en programas de propagación.
Rajora <i>et al.</i> (2011)	<i>Picea rubens</i>	Se evaluó el estado genético y reproductivo de la población. <sup>†</sup>

---

Flores-López *et al.* *Picea martinezii*  
(2012)

Determinar los indicadores reproductivos y producción de semillas en cuatro poblaciones, mediante el análisis de conos y semillas.

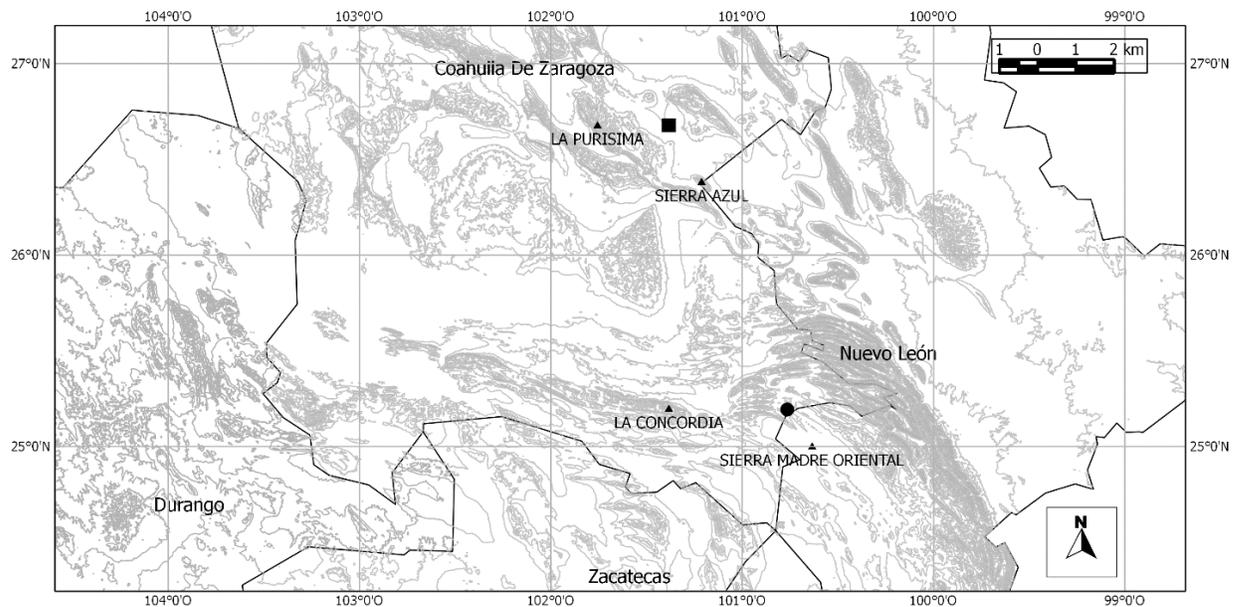
---

†: Determinado por diversidad genética, la estructura genética de la población, las tasas de cruzamiento lejano en las semillas llenas, y los niveles de endogamia.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde a una población de *Yucca filifera* y otra de *Yucca treculeana*, las cuales se encuentran en las localidades de Huachichil, Arteaga, Coah. y Santa Teresa, Castaños, Coah., respectivamente. Parte de la primera población colinda con el Estado de Nuevo León. Ambas poblaciones se ubican en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, formando parte de las subprovincias Gran Sierra Plegada y Pliegues Saltillo-Parras respectivamente (Figura 1, Cuadro 6).



● Localidad Huachichil; ■ Localidad Santa Teresa; ▲ Sierras colindantes a las localidades.

Figura 1. Ubicación de las localidades de Huachichil, Arteaga, Coah. (*Yucca filifera* Chabaud) y Santa Teresa, Castaños, Coah. (*Yucca treculeana* Carr.).

Cuadro 6. Localización y descripción física y de la vegetación de las localidades de estudio de *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

Descripción	Localidad	
	Huachichil, Arteaga, Coah.	Santa Teresa, Castaños, Coah.
Coordenadas	25°11'35.07"N 100°45'52.12"O	26°26'58.73"N 101°21'16.14"O
Altitud	2000 msnm.	1500 msnm.
Hidrología	Región hidrológica El Salado.	Región hidrológica Bravo-Conchos.
Geología <sup>†</sup> y edafología <sup>¶</sup>	Periodo cretácico inferior. Tipo de roca sedimentaria caliza. Tipo de suelo dominante castañozem-cálcico. <sup>††</sup>	Periodos cuaternario y cretácico superior. Tipo de roca sedimentaria caliza-lutita. Tipo de suelos dominantes cambisol-cálcico. <sup>†††</sup>
Clima <sup>¶¶</sup>	T máx: 24.2 °C. T min: 4.9 °C. P: 87.08 mm. Templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año.	T máx: 27.5 °C. T min: 12.6 °C. P: 50.41 mm. Seco semicálido con lluvias escasas todo el año.
Uso y tipo de vegetación*	Matorral desértico micrófilo. Agricultura temporal.	Matorral desértico micrófilo. Agricultura de temporal.

<sup>†</sup>: Datos tomados de los Datos vectoriales escala 1:1000000 de la INEGI. <sup>††</sup>: Clave para tipo de roca: Kí(Cz), Clave para tipo de suelo: Kk+E/3. <sup>†††</sup>: Tipo de roca dominante Q(s) y en menor proporción: Ks(Cz-lu). Clave para tipo de suelo: Bk+l/2. <sup>¶</sup>: Datos tomados de los Datos vectoriales escala 1:250000. <sup>¶¶</sup>: Datos tomados de las estaciones climatológicas: 5146-Huachichil (CONAGUA, 1016a) y 5038-Santa Teresa (CONAGUA, 2016b). T máx: Temperatura máxima anual promedio. T min: Temperatura mínima anual promedio. P: Precipitación anual promedio.

### 3.2 Recolección de semillas y evaluación dasométrica

La recolección de semilla se realizó mediante un muestreo selectivo, donde fueron seleccionados 30 individuos de cada especie. De cada individuo se recolectaron entre 25 y 30 cápsulas, evitando recolectar cápsulas incompletas o con

indicios de plagas u hongos. Dado que *Yucca filifera* presentó más de una panícula, se seleccionaron dos de ellas para efectuar la recolección.

Los criterios de selección de palmas fueron: presentar panículas con suficientes cápsulas, individuos sanos, sin daños mecánicos y con una distancia de al menos 50 m entre palmas para evitar la recolección de semilla entre palmas emparentadas. En caso de que se encontrara un grupo de palmas con fructificación, se seleccionó aquella de altura dominante.

Cada individuo fue georreferenciado utilizando un receptor GPS Garmin Etrex, registrando de cada uno las siguientes variables dasométricas: diámetro normal (cm), altura (m), diámetro de cobertura (m), altura en la que inician ramificaciones (m), número de ramificaciones y número de panículas. Para la panícula se registró: longitud (m) y estimación del número de cápsula. Además, se registraron las características de altitud, exposición y pendiente del terreno en cada punto donde se encontraban los individuos seleccionados, así como la cantidad de palmas de la misma especie que se encontraran a una distancia de 500 m<sup>2</sup> (registrando las palmas como adultos y juveniles).

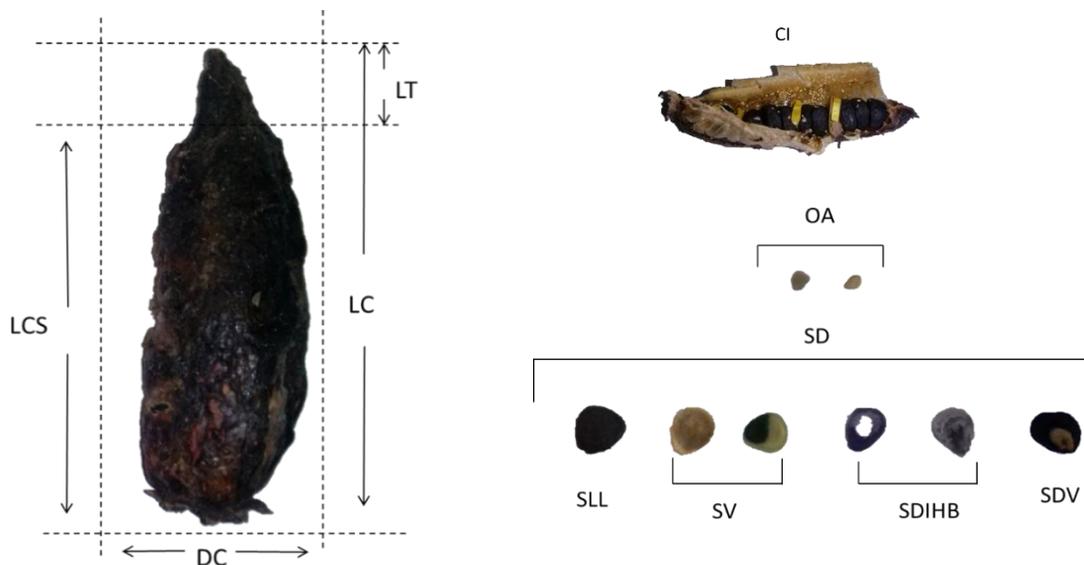
Para la estimación del número de cápsulas, se identificaron tres tipos de ramillas: ramillas basales, ramillas intermedias y ramillas apicales obteniendo un promedio del número de cápsulas presentadas en cada una de ellas. Este promedio se multiplicó por el número de ramillas totales para cada tipo.

Las cápsulas recolectadas se guardaron en bolsas de papel, debidamente identificadas con la inicial de la localidad, el número del individuo y para el caso de *Yucca filifera*, el número de racimo. Posteriormente, las cápsulas recolectadas se dejaron secar durante dos semanas, para su posterior evaluación.

### 3.3 Análisis de cápsulas y estimación de eficiencia y potencial de semilla

Para realizar el análisis de cápsulas, se apoyó en la metodología de Bramlett *et al.* (1977), haciendo las modificaciones necesarias para las cápsulas de *Yucca*. Se evaluaron 10 cápsulas por cada individuo de ambas especies, seleccionadas en forma aleatoria, teniendo un total de 900 cápsulas entre ambas especies. Es importante mencionar que en el caso de *Yucca filifera* se evaluaron las cápsulas de los dos racimos de cada individuo.

Las variables evaluadas fueron: largo (mm) y diámetro (mm). De cada cápsula, se separaron cuidadosamente sus seis carpelos contabilizando el número de óvulos abortados y número semillas desarrolladas por carpelo; clasificando estas últimas en semillas vanas, llenas, dañadas por insectos, hongos o bacterias y daños por otros factores como daños mecánicos o malformaciones (Figura 2). Por último, las semillas clasificadas como llenas fueron guardadas en bolsas debidamente identificadas para su posterior evaluación.



LC: Longitud total de la cápsula (mm). LT: Largo de la parte terminal de la cápsula (mm). LCS: Largo de cápsula sin la parte terminal (mm). DC: Diámetro de cápsula (mm). CI: Carpelo individual. OA: Óvulos abortados. SD: Semilla desarrollada. SLL: Semilla llena. SV: Semilla vana con dos coloraciones amarilla y bicolor. SDIHB: Semilla dañada por insecto, hongos o bacterias. SDV: Semilla dañada por otros factores.

Figura 2. Variables morfológicas evaluadas en las cápsulas y semillas de *Yucca treculeana* Carr.

El total de semillas desarrolladas es la sumatoria de las semillas clasificadas como llenas, vanas y dañadas. El potencial de semillas se calculó sumando los óvulos abortados y el total de semillas desarrolladas, expresado en la fórmula:

$$PS=OA+TSD$$

Donde:

PS= Potencial de semilla

OA= Óvulos abortados

TSD= Total de semilla desarrollada

La eficiencia de semilla evalúa la relación entre potencial de semilla y el número de semillas que han sido clasificadas como llenas, expresándose mediante la fórmula:

$$EF= \frac{SLL}{PS} * 100$$

Donde:

EF= Eficiencia de semilla

SLL= Total de semillas llenas

PS= Potencial de semilla

### 3.3.1 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para comparar la eficiencia y potencial de semillas entre ambas especies, mediante el programa Statistical Analysis System

(SAS), utilizando un diseño completamente al azar, donde el modelo estadístico utilizado es el siguiente (Gutiérrez-Pulido y De la Vara-Salazar, 2008):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Observación de la j-ésima palma correspondiente a la i-ésima especie

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto de la i-ésima especie

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

$i = 1, 2$

$j = 1, 2, \dots, 30$

### 3.4 Indicadores reproductivos

#### 3.4.1 Análisis de cápsulas

Los indicadores del estado reproductivo determinados mediante el análisis de semillas son la proporción de semillas llenas, óvulos abortados y coeficiente de endogamia. La proporción de semillas llenas refleja la cantidad de semillas llenas del total de semillas desarrolladas y se expresada mediante la siguiente fórmula:

$$PSLL = \frac{SLL}{TSD}$$

Donde:

PSLL= Proporción de semillas llenas

SLL= Número de semillas llenas

TSD= Total de semillas desarrolladas

La proporción de óvulos abortados es la relación entre el total de semillas desarrolladas y la cantidad de óvulos abortados, y se puede observar a través de la fórmula:

$$POA = \frac{OA}{PS}$$

Donde:

POA: Proporción de óvulos abortados

OA= Número de óvulos abortados

PS= Potencial de semilla

El coeficiente de endogamia es un valor que nos permite identificar la relación que existe entre las semillas vanas y el total de semillas desarrolladas, valor que se ve representado de la siguiente manera:

$$CE = \frac{SV}{TSD}$$

Donde:

CE= Coeficiente de endogamia

SV= Número de semillas vanas

TSD= Total de semillas desarrolladas

#### 3.4.2 Calidad de semilla

Para determinar los indicadores reproductivos sobre la calidad de la semilla, se evaluaron cinco cápsulas elegidas aleatoriamente de entre aquellas seleccionadas para el análisis de semilla, de las cuales, se determinó el peso del total de semillas llenas contenidas en cada una, utilizando este valor para determinar el peso de mil semillas (g). Posteriormente se seleccionaron 10 semillas

aleatoriamente por cápsula y se evaluaron las variables: largo (mm), ancho (mm) y grosor (mm).

Una vez concluidas las evaluaciones para semillas y cápsulas, se realizó un ensayo preliminar de germinación. Dicho ensayo se realizó en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Semillas, ubicado en el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah. El experimento se realizó bajo un diseño completamente aleatorio. Siendo el modelo estadístico (Gutiérrez-Pulido y De la Vara-Salazar, 2008):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Observación j-ésima correspondiente al i-ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

$i = 1, 2, 3, 4$

El experimento se realizó para cada especie por separado, evaluando el vigor de germinación aplicando cuatro tratamientos: semilla sin tratamiento pre-germinativo, semilla sumergida en agua destilada durante una hora, semilla sumergida en agua destilada durante dos horas y semilla sumergida en agua destilada durante tres horas. Cada tratamiento fue aplicado en cuatro repeticiones de 25 semillas cada uno. Las semillas se colocaron en una cámara de germinación, a una temperatura constante de 25°C, durante aproximadamente 21 días, tiempo en el cual se realizó la evaluación del crecimiento radicular y germinación de las semillas cada dos días. Los resultados de este ensayo permitieron seleccionar el tratamiento más adecuado para el ensayo de germinación: semillas sin tratamiento pre-germinativo.

Posterior al ensayo preliminar, se realizó el ensayo de germinación en el invernadero del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah. Dentro del invernadero, para la temporada primavera-verano, se mantuvo una temperatura aproximada de 28 °C durante el día y de 24 °C por la noche. Para la temporada otoño-invierno, la temperatura aproximada se mantuvo en 24 °C durante el día y de 18 °C por la noche. La humedad relativa fue variante en un rango de 50-60% en las horas que no se presentó riego, llegando hasta un 90-95% durante el riego. Dado que el invernadero cuenta con una pared húmeda, existe la posibilidad de que las corrientes de aire provocaran una diferencia en la temperatura a lo largo del mismo.

Para evaluar tanto la velocidad y porcentaje de germinación, como el vigor de plántulas de las especies, se realizó un diseño en bloques completos al azar. Lo que se busca con el diseño es bloquear los efectos que se puedan ocasionar debido a las condiciones que origina la pared húmeda. El modelo estadístico empleado es el siguiente (Gutiérrez-Pulido y De la Vara-Salazar, 2008):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Observación de la  $i$ -ésima especie y del  $j$ -ésimo bloque

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima especie  $i$ -ésimo

$\beta_j$  = Efecto debido al bloque  $j$ -ésimo

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

$i = 1, 2$

$j = 1, 2, \dots, 6$

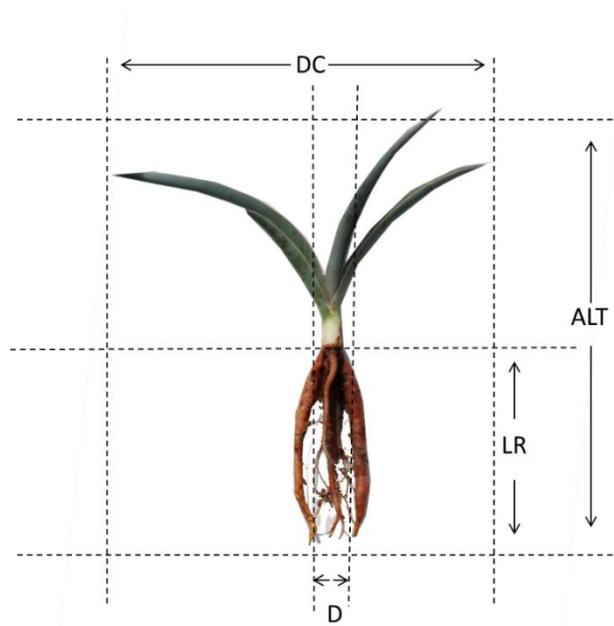
El experimento consistió en seis bloques y dos tratamientos. En este caso los tratamientos corresponden a las dos especies estudiadas. Teniendo de esta manera,

12 parcelas en total. Cada parcela está conformada por 30 palmas de una especie, acomodadas de manera aleatoria. Por cada individuo se sembraron 21 semillas. La mezcla de sustrato utilizada para el experimento fue a base de perlita, vermiculita, peat-moss y osmocote (125 L, 114 L, 107 L y 1 kg, respectivamente).

Una vez que germinó la primera plántula, se registró durante 21 días la germinación diaria, para determinar valor de germinación. La germinación total se expresa en forma de germinación diaria media (GDM), calculada como el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo dividido por el número de días que transcurren desde la siembra hasta el término del ensayo. La velocidad de germinación se expresa en forma de valor máximo (VM), que es la germinación diaria media (porcentaje acumulado de germinación de semilla dividido por el número de días transcurridos desde la fecha de siembra). Por lo tanto, el valor de germinación es el resultado del producto de ambos valores: germinación diaria media y valor máximo (Willan, 1991; Czabator, 1962).

### 3.4.3 Vigor de plántulas

Las características morfológicas de las plántulas fueron evaluadas después de un periodo de crecimiento de seis meses. Se seleccionaron aleatoriamente cuatro plántulas de cada individuo y de cada bloque para ambas especies, siendo extraídas completamente para registrar tanto sus características morfológicas (Figura 3) como el peso verde de la parte aérea y radicular de la plántula.



ALT: Altura de plántula (cm). D: Diámetro basal (mm). DC: Diámetro de cobertura (mm). LR: Largo de la raíz (mm).

Figura 3. Variables morfológicas evaluadas en plántulas de *Yucca treculeana* Carr.

Posteriormente, las plántulas evaluadas fueron colocadas en una estufa de secado a 100°C durante un periodo de 5 días para registrar el peso anhidro radicular y aéreo de cada una. Finalmente, se calculó el Índice de Calidad de Dickson, el cual evalúa la calidad de las plántulas a través de sus características morfológicas, dicho índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICD = \frac{PST}{\frac{H}{D} + \frac{PSA}{PSR}}$$

Donde:

ICD= Índice de Calidad de Dickson

PST= Peso seco total de la plántula (g)

H= Altura (cm)

D= Diámetro (mm)

PSA= Peso seco aéreo (g)

PSR= Peso seco radicular (g)

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Producción de semilla

#### 4.1.1 Correlación entre variables dasométricas evaluadas y variables relacionadas con la producción de semilla

En principio se muestra la caracterización dasométrica de las especies a través de las características de mayor interés que fueron evaluadas en campo y que posteriormente se correlacionaron con aquellas variables de los individuos relacionados con su producción de semillas.

Los individuos de *Yucca filifera* tienen un diámetro promedio de 59.5 cm y una altura promedio de 7.4 m, mientras que las palmas evaluadas de *Y. treculeana* tienen un diámetro y altura promedio de 23.1 cm y 3.2 m, respectivamente. Se encontró que la densidad de palmas total de *Y. filifera* es de 45.3 individuos ha<sup>-1</sup> siendo éste el total de adultos, a diferencia de *Y. treculeana* que presentó un total de 51.4 individuos ha<sup>-1</sup> repartidos entre individuos adultos y juveniles (Cuadro 7).

Cuadro 7. Medias para las variables dasométricas evaluadas de *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

Especie	Diámetro (cm)	Altura total (m)	Diámetro cobertura (m)	Altura limpia (m) <sup>†</sup>	PHA	PJHA
<i>Y. filifera</i>	59.5 ± 3.03	7.4 ± 0.26	4.9 ± 0.28	3.6 ± 0.17	45.3 ± 9.7	0 ± 0
<i>Y. treculeana</i>	23.1 ± 0.71	3.2 ± 0.09	2.0 ± 0.07	1.7 ± 0.12	42.7 ± 7.5	8.7 ± 2.9

<sup>†</sup>: Altura libre de ramificaciones, medida desde el suelo hasta donde comienza la primera ramificación. PHA: Palmas adultas de la misma especie por hectárea. PJHA: Palmas juveniles de la misma especie por hectárea. Se consideró juvenil aquella palma menor a 1.30 m.

En cuanto a las variables relacionadas con la producción de semilla evaluadas en campo, se encontró para la especie de *Y. filifera* una longitud del racimo de 1.3 m, y una cantidad de 8.2 racimos en promedio por individuo con una producción de 253.1

cápsulas, mientras que para *Y. treculeana* estos valores son de 0.9 m, 1.3 y 146.1, respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Medias para las variables relacionadas con la producción de semilla de *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

Especie	Longitud del racimo (m)	Número de racimos	Cápsulas por racimo
<i>Y. filifera</i> <sup>†</sup>	1.3 ± 0.04	8.2 ± 1.77	253.1 ± 21.29
<i>Y. treculeana</i>	0.9 ± 0.03	1.3 ± 0.11	146.1 ± 15.59

†: Se promediaron los dos racimos evaluados para obtener un único valor por palma.

Con el fin de llevar un estudio más exhaustivo de la producción de semilla, otras variables reproductivas obtenidas mediante el análisis de cápsulas y semillas fueron correlacionadas, sin embargo, no se encontró correlación entre las variables dasométricas y las características de cápsulas: largo y diámetro de cápsulas, el potencial de semilla, eficiencia de semilla y coeficiente de endogamia; y las características de semilla: largo, ancho, grosor y peso de mil semillas (Apéndice 1).

Se encontró en *Y. filifera* que el diámetro, la altura total y el diámetro de cobertura son las variables que presentan mejores correlaciones. El diámetro se asocia con la producción de ramificaciones, racimos y cantidad de frutos producidos, con coeficientes de correlación de 0.80, 0.72 y 0.35, respectivamente. De igual manera el diámetro de cobertura presenta correlaciones fuertes para estas mismas variables con valores de 0.74, 0.63 y 0.51. Mientras que la altura presenta correlaciones relativamente altas únicamente con la cantidad de ramificaciones y racimos que se producen con valores de 0.50 y 0.37, respectivamente. Así mismo, los individuos ha<sup>-1</sup> se correlacionan de manera negativa con la cantidad de racimos producidos mostrando un coeficiente de -0.41 (Cuadro 9).

Esperando mejorar los coeficientes de correlación obtenidos a través de variables individuales, se realizaron combinaciones entre las variables dasométricas: diámetro, altura y diámetro de cobertura, y las variables reproductivas: número de

racimos, longitud de racimo y cantidad de cápsulas. Siendo la variable combinada de diámetro y diámetro de cobertura, la que presenta valores altos con la mayoría de las variables de estudio, encontrando coeficientes de hasta 0.83 y 0.74 con el número de ramificaciones y de racimos (Cuadro 10).

Cuadro 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables dasométricas y variables de producción de semilla de 30 palmas de *Yucca filifera* Chabaud.

Variable	Ramificaciones	Racimos	Largo de racimo	Cápsulas por racimo
Diámetro	0.80**	0.72**	0.15ns	0.35*
Altura total	0.50*	0.37*	0.16ns	0.11ns
Cobertura	0.74**	0.63*	0.27ns	0.51*
Altura limpia	-0.30ns	-0.14ns	0.16ns	0.03ns
Individuos ha <sup>-1</sup>	-0.30ns	-0.41*	-0.12ns	0.05ns
Cápsulas por racimo	0.44*	0.46*	0.40*	
Largo de racimo	0.15ns	0.16ns		
Racimos	0.84**			

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables combinadas de caracteres dasométricos y reproductivos de 30 palmas de *Yucca filifera* Chabaud.

Variables <sup>†</sup>	Ramificaciones	Racimos	Cápsulas por racimo	Variables combinadas <sup>††</sup>		
				RAC1	RAC2	RAC3
DH	0.73**	0.62*	0.27ns	0.59*	0.27ns	0.54*
DH1	0.78**	0.70**	0.31ns	0.67**	0.31ns	0.62*
DH2	0.83**	0.74**	0.45*	0.72**	0.44*	0.68**
DH3	0.40*	0.48*	0.28ns	0.50*	0.33ns	0.45*
AL1	0.04ns	0.11ns	0.12ns	0.16ns	0.20ns	0.15ns

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. † : Variables combinadas relacionadas con las variables dasométricas. †† : Variables combinadas relacionadas con la producción de semilla. DH: (diámetro) (altura). DH1: (diámetro<sup>2</sup>) (altura). DH2: (diámetro) (diámetro de cobertura). DH3: (diámetro) (altura libre). AL1: (altura) (altura libre). RAC1: (número de racimos) (largo racimo). RAC2: (número de cápsulas) (largo de racimo). RAC3: (racimos) (número de cápsulas).

Así mismo, las variables combinadas de los racimos, presentan buenas correlaciones con las variables individuales de diámetro, altura y cobertura (Cuadro 11). Los resultados que se muestran son de aquellas variables que se presentaron correlación, el resto de las variables pueden observarse en el Apéndice 2.

Cuadro 11. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables combinadas de caracteres dasométricos y reproductivos de 30 palmas de *Yucca filifera* Chabaud.

Variables	Variables combinadas <sup>†</sup>		
	RAC1	RAC2	RAC3
Diámetro	0.67**	0.33ns	0.61*
Altura total	0.35*	0.15ns	0.31ns
Cobertura	0.62*	0.49*	0.59*
Altura limpia	-0.07ns	0.10ns	-0.05ns

\*\*.: Significativo al  $P \leq 0.001$ . \*.: Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. †: Variables combinadas relacionadas con la producción de semillas. RAC1: (número de racimos) (largo racimo). RAC2: (número de cápsulas) (largo de racimo). RAC3: (racimos) (número de cápsulas).

Se puede observar una clara relación entre variables dasométricas y de producción, sin embargo, esto ocurre únicamente en la producción de inflorescencias y fructificación. No se encontró que las variables dasométricas tuvieran correlación directa con la cantidad total de semillas producidas (potencial de semillas), ésta última se ve más relacionada con las características de las cápsulas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características de cápsulas y el potencial y características de semillas de *Yucca filifera* Chabaud.

Variables	PS	ES	CE	LS	AS	GS	PMS
LC	0.59*	0.30ns	-0.21ns	0.21ns	0.18ns	0.38ns	0.55*
LSC	0.65**	0.28ns	-0.15ns	0.20ns	0.20ns	0.33ns	0.55*
DICA	0.16ns	0.34ns	-0.14ns	0.64**	0.66**	-0.04ns	0.55*

\*\*.: Significativo al  $P \leq 0.001$ . \*.: Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. LC: Largo total de la cápsula (mm). LSC: Largo de la cápsula sin la parte terminal (mm). DICA: Diámetro de la cápsula (mm). PS: Potencial de semilla. ES: Eficiencia de semilla. CE: Coeficiente de endogamia. LS: Largo de semilla (mm). AS: Ancho de semilla (mm). GS: Grosor de semilla (mm). PMS: Peso de mil semillas (g).

En cuanto a *Yucca treculeana* las variables dasométricas que presentaron mejores resultados fueron diámetro y cobertura, las cuales se vieron expresadas únicamente en el largo de racimo, dichos valores obtuvieron coeficientes de 0.38 y 0.36, respectivamente. Mientras que la altura limpia presenta correlaciones negativas relativamente altas con el número de cápsulas por racimo, el largo y diámetro de la cápsula (Cuadro 13). Contrario a lo que sucedió con *Y. filifera*, no se encontraron correlaciones con la cantidad de ramificaciones y racimos que producen los individuos, estos resultados, así como aquellas correlaciones que no presentaron correlaciones se muestran en el Apéndice 3.

Cuadro 13. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables dasométricas y variables de producción de semilla de 30 palmas de *Yucca treculeana* Carr.

Variable	Largo de racimo	Cápsulas por racimo	Largo de cápsula	LSC	Diámetro de cápsula
Diámetro	0.38*	-0.16ns	-0.04ns	-0.01ns	-0.02ns
Altura total	0.14ns	-0.14ns	-0.29ns	-0.25ns	-0.10ns
Cobertura	0.36*	0.18ns	0.14ns	0.16ns	0.35*
Altura limpia	-0.31ns	-0.36*	-0.47*	-0.45*	-0.49*
Individuos ha <sup>-1</sup>	-0.11ns	0.17ns	0.26ns	0.23ns	0.13ns
Individuos juv. ha <sup>-1</sup> ††	-0.21ns	-0.08ns	0.13ns	0.07ns	0.05ns

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $p \leq 0.05$ ; ns: no significativo. LSC: Largo de la cápsula sin la parte terminal. ††: Individuos juveniles ha<sup>-1</sup>.

Se encontraron pocos resultados positivos al correlacionar variables dasométricas con las características de semillas y cápsulas, encontrando que la altura y la cobertura se relacionan con el grosor de la semilla con coeficientes de 0.40 y 0.37, respectivamente (Cuadro 14, Apéndice 4). Los resultados indican que no existe correlación entre las variables dasométricas de las palmas y el potencial y eficiencia de semillas. Sin embargo, se puede observar una relación entre las dimensiones de las cápsulas con el potencial de semillas y las características de las semillas, tales como el largo y el ancho (Cuadro 15).

Cuadro 14. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables dasométricas y características de cápsulas y semillas de 30 palmas de *Yucca treculeana* Carr.

Variable	Características de cápsulas		Características de semillas		
	ES	CE	Largo	Ancho	Grosor
Altura	0.09ns	0.10ns	-0.14ns	-0.33ns	0.40*
Cobertura	0.23ns	-0.37*	-0.11ns	0.15ns	0.37*
Altura libre	-0.24ns	0.30ns	-0.40*	-0.44*	0.007ns
Racimos	-0.37*	0.42*	0.09ns	-0.16ns	0.36*
Largo de racimo	0.30ns	-0.43ns	-0.18ns	-0.06ns	0.36*

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. ES: Eficiencia de semilla (expresada en proporción de semillas llenas y semillas desarrolladas). CE: Coeficiente de endogamia (expresada en proporción de semillas vanas y semillas desarrolladas).

Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características de cápsulas y el potencial y características de semillas de *Yucca treculeana* Carr.

Variables	PS	ES	CE	LS	AS	GS	PMS
LC	0.23ns	-0.16ns	0.01ns	0.45*	0.43*	-0.16ns	0.30ns
LSC	0.14ns	-0.14ns	-0.02ns	0.44*	0.41*	-0.14ns	0.32ns
DICA	0.40*	0.14ns	-0.16ns	0.69**	0.59*	0.07ns	0.53*

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. LC: Largo total de la cápsula (mm). LSC: Largo de la cápsula sin la parte terminal (mm). DICA: Diámetro de la cápsula (mm). PS: Potencial de semilla. ES: Eficiencia de semilla. CE: Coeficiente de endogamia. LS: Largo de semilla (mm). AS: Ancho de semilla (mm). GS: Grosor de semilla (mm). PMS: Peso de mil semillas (g).

De igual manera, se realizaron combinaciones entre las diferentes variables dasométricas y de producción. Encontrando solamente resultados positivos mediante las variables de diámetro y diámetro de cobertura. Esta combinación mostró una correlación positiva con el largo del racimo con un valor de 0.48. El resto de las variables combinadas no mostraron relación con el largo del racimo ni con las demás variables de producción. Además, variables combinadas relacionadas con la producción de semillas presentaron correlación con aquellas variables que combinan diámetro y altura (Cuadro 16).

Cuadro 16. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables combinadas de caracteres dasométricos y reproductivos de 30 palmas de *Yucca treculeana* Carr.

Variables <sup>†</sup>	Largo de racimo	Variables combinadas <sup>††</sup>		
		RAC1	RAC2	RAC3
DH	0.31ns	0.43*	-0.13ns	-0.08ns
DH1	0.33ns	0.43*	0.13ns	-0.09ns
DH2	0.48*	0.29ns	0.14s	0.05ns
DH3	-0.09ns	0.24ns	-0.36*	-0.11ns
AL1	-0.15ns	0.21ns	-0.37*	-0.16ns

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. † : Variables combinadas relacionadas con características dasométricas. †† : Variables combinadas relacionadas con la producción de semillas. DH: (diámetro)(altura). DH1: (diámetro<sup>2</sup>) (altura). DH2: (diámetro) (cobertura). DH3: (diámetro) (altura libre). AL1: (altura) (altura libre). RAC1: (número de racimos) (largo racimo). RAC2: (número de cápsulas) (largo de racimo). RAC3: (racimos) (número de cápsulas).

Los resultados observados en ambas especies, muestran una relación entre variables dasométricas y de producción de semillas. Sin embargo, esto ocurre únicamente en la cantidad de inflorescencias y de fructificaciones que son producidas por las palmas. Éstas etapas fenológicas son muy sensibles a la limitación de agua, por lo que algunas especies de zonas áridas, presentan reservas de agua en sus hojas y tallos, lo cual es una adaptación que les permite sobrevivir a la carencia de agua (Fischer y Turner, 1978). Dicha adaptación puede verse reflejada en el diámetro de las especies, con lo cual podría explicarse la evidente correlación que existe entre esta variable y las etapas reproductivas.

Con base a los resultados obtenidos, se rechaza la primera hipótesis nula que ha sido presentada en este trabajo. Esto indica la posibilidad de realizar tablas de producción que permitan estimar la cantidad de frutos que pueden ser producidos por cada especie. Además, esta información puede ser de utilidad para determinar criterios de selección de palmas en futuras recolecciones de semilla.

#### 4.1.2 Potencial y eficiencia de semilla

Mediante el análisis de cápsulas se encontró que la especie con el mayor potencial de semillas fue *Yucca treculeana* con un promedio total de 100 semillas y con una eficiencia del 62.26%, mientras que *Y. filifera* obtuvo un potencial de 64 semillas con una eficiencia del 31.65% (Cuadro 17, Figura 4).

Cuadro 17. Potencial y eficiencia de semilla obtenidas de la evaluación de cápsulas *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

Variables	Pr>F (Efecto especie)	<i>Yucca filifera</i>	<i>Yucca treculeana</i>
Potencial de semilla	<.0001*	64B	100A
Eficiencia de semilla <sup>†</sup>	<.0001*	31.65B	62.26A

\*: Diferencia significativa entre especies. †: Con respecto al potencial de semillas.

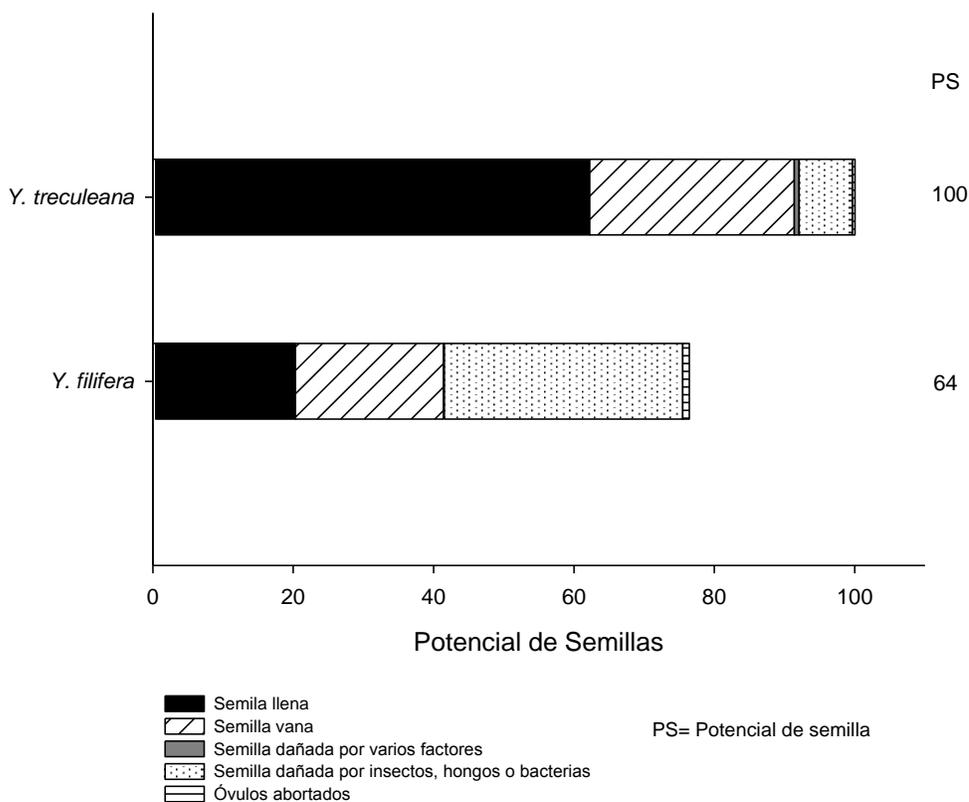


Figura 4. Potencial y pérdida de semilla obtenidas del análisis de cápsulas de *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

En estudios similares, Rentería-Arrieta y Cantú (2003), reportan para *Y. filifera* una media de 101.5 semillas por fruto de las cuales 33.4 son semillas llenas. Estos valores de semillas llenas son similares a los encontrados en este trabajo. Por otro lado, valores de eficiencia de semilla menores al 35%, como los observados en *Y. filifera*, indican una pérdida excesiva de semilla, con lo que se hace necesaria una identificación de las causas más probables de daño y la aplicación de medidas correctivas para incrementar la producción de semilla (Bramlett *et al.*, 1977).

Algunas de las 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). Los resultados obtenidos del análisis de cápsulas y semillas, indican una pérdida de semilla del 68.35% para *Y. filifera* y del 34.74% para *Y. treculeana*, ésta se reparte entre semillas vanas, óvulos abortados, semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias y semillas dañadas por otros factores (Cuadro 18). Encontrando que el daño por insectos, hongos o bacterias es uno de los principales factores que ocasionan la pérdida de semilla en ambas especies estudiadas. Mientras que, la cantidad de semillas vanas es otro de los factores que afecta en gran cantidad el total de semillas desarrolladas.

Cuadro 18. Pérdida de semilla en cápsulas de *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

Especie	Porcentaje			
	Óvulos abortados	Semilla vana	Semilla dañada <sup>†</sup>	Semilla dañada por varios factores
<i>Y. filifera</i>	0.68	33.54	33.95	0.18
<i>Y. treculeana</i>	0.27	29.25	7.60	0.71

<sup>†</sup>: Semilla dañada por insectos, hongos o bacterias. Nota: el porcentaje ha sido considerado respecto al total de semillas desarrolladas a excepción de los óvulos abortados el cual ha sido considerado con respecto al potencial de semilla, tal y como se menciona en la metodología de Bramlett *et al.* (1977).

La cantidad de semilla que se ha perdido por el daño de insectos puede deberse, principalmente, a la presencia de larvas del insecto lepidóptero *Tegeticula* spp. perteneciente a la familia Prodoxidae (en comunicación personal el M. C. Antonio Cárdenas Elizondo sugiere la posibilidad de la presencia de larvas de la especie *T. yuccasella* Riley). Dichas larvas se observaron alimentándose de las semillas de *Yucca* tal y como ha sido reportado por Trelease (1902) y Webber (1953). Sin embargo, el daño por la presencia de otros insectos también es posible, de igual manera la semilla que se ha perdido por daños de hongos o bacterias no ha sido separada del porcentaje total.

Al respecto se ha reportado la presencia el mismo género en el trabajo de Rentería-Arrieta y Cantú (2003), quienes reportan un daño del 3.75% de las semillas en *Y. filifera*. Mientras que Young y Young (1992) reportan para *Y. elata* y *Y. glauca* una pérdida de semilla del 20% por parte de la depredación de larvas de *Pronuba yuccasella* y *Prodoxus quinquepunctellus*.

Crabb y Pellmyr (2004) describieron el efecto que tienen las larvas de *Tegeticula* spp. sobre la producción de semilla de *Y. treculeana*, así como su distribución dentro de la población de plantas. En su estudio, encontraron que, frutos con presencia de larvas produjeron significativamente mayor número de semillas llenas que aquellos frutos con ausencia de larvas. Existiendo, además, un efecto del año de colecta sobre la cantidad de semillas producidas. Para el primer año de colecta se reportaron 65.14 semillas en frutos sin presencia de larvas, mientras que para el segundo año se encontraron 65.90 en frutos con esta misma condición, mientras que aquellos frutos con presencia de larvas presentaron mayor número de semillas intactas 69.82 y 81.99, respectivamente para cada año de colecta.

En cuanto al porcentaje de semilla dañada por insectos, es notable la diferencia que existe entre las especies de estudio, puesto que en *Y. filifera* se observa un porcentaje del 33.54%, mientras que en *Y. treculeana* se obtuvo el 7.60%. Considerando la caracterización de los estados fenológicos de frutos para *Y. filifera*, propuesta por Rentería-Arrieta y Cantú (2003), los frutos evaluados de *Y. filifera* corresponderían a frutos viejos con un exocarpio seco y coloración negra,

mientras que los de *Y. treculeana* entrarían en la descripción de frutos maduros con un mesocarpio carnoso, con una coloración amarilla a punto de llegar a la transición a viejo. Los frutos evaluados por los autores mencionados han sido descritos como maduros y se encontró un porcentaje de daño del 3.75%. Este factor de maduración de cápsulas podría verse reflejado en porcentaje obtenido de pérdida de semilla causada por la presencia de insectos que se alimentan de las semillas.

En cuanto a la pérdida de semilla generada por la cantidad de semillas vacías o vanas, se encontraron porcentajes significativos tanto en *Y. filifera* como en *Y. treculeana*, con porcentajes del 33.54% y 29.25%, respectivamente. Debido a la asociación mutualista entre *Tegeticula* spp. y *Yucca* spp. y la presencia de larvas de este agente polinizador, valores altos de semillas vacías pueden ser consistentes con escasa o nula efectividad de polinización (Mosseler *et al.*, 2000; Crabb y Pellmyr 2004).

Respecto a esto, Rentería-Arrieta y Cantú (2003) reportan 64.2 semillas consideradas como vanas, lo cual corresponde a un 63.31% del total de semillas desarrolladas, y una efectividad de polinización del 76.3% por parte de las palomillas de *T. yuccasella*, registrando para el mes de marzo la mayor densidad de adultos. Mientras que los resultados obtenidos por Crabb y Pellmyr (2004) sugieren la posibilidad de menor efectividad de polinización en aquellos frutos sin presencia de larvas, puesto que aquellos frutos con incidencia de larvas presentaron mayor número de semillas llenas que aquellas sin presencia de larvas. Además, sus estudios muestran que el 19% y 33% de plantas evaluadas en diferentes años, presentaron ausencia de larvas.

Sin embargo, la presencia de otros agentes polinizadores debe ser considerada, tal es el caso de *Parategeticula pollenifera*, la cual funge como agente polinizador, pero sus larvas presentan un comportamiento completamente diferente a las de *Tegeticula*, puesto que se alimenta de los óvulos antes de que las semillas se desarrollen (Baker, 1986). A su vez, otras causas de semillas vacías deben ser consideradas, tales como la existencia de genes letales en el embrión, otros insectos

u hongos que ataquen a la semilla, inclusive problemas de endogamia (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000).

Por último, es necesario considerar que el análisis de cápsulas y semillas no toma en cuenta las primeras etapas del ciclo reproductivo, de tal manera que la mortalidad de flores y frutos ocasionada por diferentes factores como el estrés hídrico, pudieran afectar la producción total de semillas (Bramlett *et al.*, 1977; Fischer y Turner, 1978; Owens, 1995).

#### 4.2 Indicadores reproductivos

Los indicadores reproductivos evaluados pueden dividirse en tres etapas: cápsulas, semillas y plántulas; identificando en cada una de ellas aspectos relacionados con el estado reproductivo de las especies.

*Yucca filifera* presentó los valores más bajos para las características de cápsulas expresadas en porcentaje de semillas llenas (32.33%), y los valores más altos para el porcentaje de óvulos abortados (0.68%) y el coeficiente de endogamia (0.33). Caso contrario para *Y. treculeana*, que para estas mismas variables presentó valores de 62.44% para porcentaje de semillas llenas, 0.27% para porcentaje de óvulos abortados y 0.28 para coeficiente de endogamia. En cuanto a las características de las semillas la especie que obtuvo el mayor peso de mil semillas fue *Y. treculeana* (91.46 g), mientras que *Y. filifera* presentó un peso de 65.73 g, sin embargo, para el resto de las variables esta especie mostró los porcentajes más altos (Cuadro 19).

Cuadro 19. Indicadores reproductivos relacionados con características de cápsulas y semillas de *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

Variable	Pr>F (Efecto especie)	<i>Yucca filifera</i>	<i>Yucca treculeana</i>
Porcentaje de semillas llenas <sup>†</sup>	<.0001*	32.33 B	62.44 A
Porcentaje de óvulos abortados <sup>†</sup>	<.0001*	0.68 A	0.27 B
Coeficiente de endogamia <sup>††</sup>	<.0001*	0.33 A	0.28 B
Peso de mil semillas	<.0001*	65.73 B	91.46 A

Porcentaje de germinación	<.0001*	70.05 A	28.33 B
Valor de germinación	<.0001*	9.70 A	1.86 B

\*: Diferencia significativa entre especies. †: Con respecto al total de semillas desarrolladas. ††: Expresado en proporción de semillas vanas con respecto al total de semillas desarrolladas.

A pesar de que *Y. filifera* presentó los valores más bajos de potencial y eficiencia de semillas con respecto a *Y. treculeana*, el porcentaje de germinación de semillas es significativamente mayor (70.05%) con respecto a la segunda especie (28.33%). De esta manera, la cantidad de plántulas obtenidas del total de semillas llenas podría llegar a ser similar en ambas especies. Estos resultados en la germinación pueden deberse a que las semillas de *Yucca* presentan una serie de características que le permiten adaptarse a la aridez como abundante endospermo y alta viabilidad (Trelease, 1902; Webber, 1953), lo cual puede reflejarse en su alta capacidad de germinación.

Por otro lado, es muy probable que las semillas tengan la capacidad de permanecer en el suelo y germinar hasta que se presenten estaciones favorables, ocurriendo esto con varios años de diferencia, lo cual fue descrito por Webber (1953), quien observó en campo grupos de plántulas de la misma edad y una escasez de plántulas de mayor y menor edad con respecto a estas. Con lo cual podría esperarse que cierta cantidad de semillas germinen tiempo después como una medida de protección de las especies, y por lo tanto observar un aumento en el porcentaje de germinación obtenido.

Con respecto a la germinación, Cambrón-Sandoval *et al.* (2013) reportaron para dos periodos de colecta porcentajes del 92% y 70% en *Y. filifera*, observando un patrón de incremento en la germinación conforme el periodo de colecta fue más reciente, para esta misma especie Jiménez-Aguilar y Flores (2010) reportaron promedios de germinación del 88% bajo condiciones de luz y 72% bajo condiciones de oscuridad, dichos valores fueron mayores a los reportados por estos mismos autores en *Y. carnerosana* (81% y 79%) y *Y. elata* (63% y 72%). Por otro lado, la palma azul (*Y. rigida*) se asocia a *Y. treculeana* y ha sido estudiada por Flores-

Hernández *et al.* (2011) quienes encontraron densidades de 890 individuos ha<sup>-1</sup> y promedios de germinación del 65%.

En cuanto a la variable propuesta de valor de germinación, los resultados indican que el valor más bajo de germinación lo tienen las semillas de *Y. treculeana* (1.86 contra un valor del 9.70). Además, el análisis de varianza identificó diferencias significativas entre estas variables, al igual que con el porcentaje de germinación. Estos resultados indican la posible utilidad de esta variable como un indicador sobre la germinación de las semillas. Gómez-Jiménez *et al.* (2010) integraron con éxito el valor de germinación como un indicador reproductivo en *Pinus leiophylla* Schiede ex Schlttdl. & Cham.

A pesar de estos resultados, hay que considerar que el valor de germinación se vuelve progresivamente menor conforme se alarga el periodo de evaluación, y estos periodos de tiempo han sido usualmente aplicados para especies de pinos y otras coníferas, de tal manera que para otro tipo de especies este periodo debe calcularse de forma empírica (Czabator, 1962). Por lo que los periodos de evaluación para *Yucca* podrían disminuir o aumentar dependiendo de cada especie, con lo cual el valor de germinación podría verse modificado.

En cuanto a las variables relacionadas con características de plántulas, los resultados muestran que los individuos evaluados de *Y. filifera* presentan los valores más altos para las variables de diámetro (8.10 mm) e Índice de Calidad de Dickson (0.47), mientras que los individuos de *Y. treculeana* muestran para estas mismas variables valores de 7.05 mm y 0.31 respectivamente. A su vez, el análisis de varianza encontró que las variables de altura y largo de raíz no presentan diferencias significativas entre especies (Cuadro 20).

Cuadro 20. Indicadores reproductivos relacionados con características de plántulas de *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca treculeana* Carr.

Variable	Pr>F (Efecto especie)	<i>Yucca filifera</i>	<i>Yucca treculeana</i>
----------	--------------------------	-----------------------	-------------------------

Altura (cm)	0.9491	10.75	10.78
Diámetro (mm)	0.0494*	8.10 A	7.05 B
Largo de raíz (cm)	0.8895	8.28	8.27
ICD	0.0214*	0.47 A	0.31 B

\*: Diferencia significativa entre especies al  $p \leq 0.05$ . ICD: Índice de Calidad de Dickson.

En estudios similares, el crecimiento de plántulas de *Y. filifera* fue medido a través de la tasa de crecimiento relativo, este valor fue utilizado para determinar el desarrollo de plántulas en campo bajo condiciones de sombra provistas por árboles de invernadero, encontrando un valor de 7.142, estos resultados indicaron que individuos bajo sombra muestran mayor tasa de crecimiento que aquellas que crecen bajo la influencia directa de los rayos del sol (Pérez-Sánchez *et al.*, 2015).

Siguiendo los indicadores de Mosseler *et al.* (2000), los resultados del análisis de varianza no muestran diferencias significativas para la variable de altura, sin embargo, un solo parámetro morfológico no es indicativo del vigor de las plántulas, sino que se hace necesario el análisis de más variables en su conjunto (Ruano-Martínez, 2003). Mediante el Índice de Calidad de Dickson, se puede observar fácilmente diferencias entre especies, *Y. filifera* presenta el resultado más alto con un valor de 0.47, con respecto a las plántulas de *Y. treculeana* las cuales presentan un valor de 0.31.

La incorporación de parámetros que evalúan el sistema radicular y el estatus fisiológico de las plántulas, es importante en la predicción de sobrevivencia y crecimiento en campo, además esta relación proporciona, principalmente en sitios áridos, un factor muy fiable de supervivencia, puesto que relaciona la parte aérea que se relaciona con la superficie foliar, la fotosíntesis y la transpiración, y la parte radicular que influye en la captación de agua y absorción de nutrientes (Ruano-Martínez, 2003; Davis y Jacobs, 2005).

Con base a los resultados obtenidos de la producción de semilla mediante la estimación del potencial y eficiencia de semilla, así como de los indicadores

reproductivos, se rechaza la segunda hipótesis nula. Encontrando de esta manera diferencias entre las especies estudiadas.

## 5 CONCLUSIONES

Las conclusiones que aquí se presentan, son válidas para las dos poblaciones estudiadas en sus respectivas localidades.

Los individuos que presenten mayores tamaños expresados en diámetro y altura, tendrán el mayor potencial de producción de semillas.

*Yucca treculeana* es la especie con el mayor potencial y eficiencia de semilla.

Para ambas especies el daño por insectos, hongos y bacterias, así como la cantidad de semillas vanas, son los factores principales de la pérdida de semilla.

En cuanto a los indicadores reproductivos, *Yucca treculeana* presentó los mejores resultados en cuanto al análisis de cápsulas, encontrando la mayor cantidad de semillas llenas y la menor cantidad de óvulos abortados y un coeficiente de endogamia bajo.

El análisis de semillas determinó que *Yucca treculeana* tiene las semillas de mayor tamaño, sin embargo, *Yucca filifera* presenta los valores más altos de germinación y vigor de plántulas.

## 6 RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores se recomienda determinar el grado de afectación por parte de larvas de *Tegeticula* spp., puesto que para este trabajo se reunieron diferentes tipos de daños en una sola categoría con lo que fue difícil calcular el porcentaje exacto de semilla dañada por la mencionada especie, además dicho valor puede ser abordado como costo reproductivo.

Estudios sobre la efectividad de polinización se han realizado, sin embargo, para estudios posteriores se podría considerar como una posibilidad, la presencia de individuos de dos o más especies diferentes de polinizadores del género *Tegeticula*, inclusive la presencia de polinizadores que no pertenezcan a dicho género.

Evaluar el efecto de larvas de *Tegeticula* spp. sobre las diferentes etapas de maduración de las cápsulas para determinar si el grado de afectación incrementa con el tiempo, y con esto proponer fechas de colecta adecuadas. Además, identificar que etapa de maduración se relaciona con un mayor o menor porcentaje de germinación de la semilla.

En cuanto al valor de germinación, es necesario determinar para *Yucca* periodos de evaluación que correspondan con el tiempo que necesitan las semillas para expresar todo su potencial germinativo.

## 7 LITERATURA CITADA<sup>1</sup>

- Alanis-Flores, G. J. 2001. Plantas nativas usadas como alimentos, condimentos y bebidas de las comunidades vegetacionales desérticas o semidesérticas en Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*. [En línea]. Enero-marzo 2001. vol 2, no. 1. [Fecha de consulta 19 abril de 2016]. Disponible en: <<http://www.respyn.uanl.mx/ii/1/index.html>>.
- 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.
- Alexander, R. R., F. W. Pond and J. E. Rodgers. 2008. *Yucca* L.: yucca. In: *The Woody Plant Seed Manual*. Bonner, F. T and R. P. Karrfal (eds.). Agric. Handbook No. 727. Department of Agriculture, Forest Service. pp: 1175-1177.
- 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.
- Arnott J., H. 1962. *The seed, germination and seedling of Yucca*. Berkeley: University of California Press. 115 p.
- Antonio B., A. 2012. *Manual de Ensayos de Semillas Forestales Recopilación de Información*. Secretaría de Medio Ambiente. pp: 22.
- Baker, H. G. 1986. *Yuccas and Yucca moths-a historical commentary*. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 73: 556-564.
- Bramlett, D. L., 1972. Cone crop development records for six years in short leaf pine. *Forest Science*. 18(1): 31-33.

1: Para la revisión de literatura se ha seguido la guía de autores de la revista Agrociencia

- Bramlett D. L., E. W. Belcher, G. L. Debarr, G. D. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware and 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. EE.UU., USDA-Forest Service. 32 p.
- Bramlett, D. L. and J. F. Godbee, Jr. 1982. Inventory-Monitoring System for Southern pine seed orchards. Georgia Forest Research Paper 18. Georgia Forestry Commission. 17 p.
- 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 semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. Madera y Bosques. 18(3): 7-21.
- Cambrón-Sandoval, V. H., G. Malda-Barrera, H. Suzán-Azpiri y J. F. Díaz-Salim. 2013. Comportamiento germinativo de semillas de *Yucca filifera* Chabaud con diferentes periodos de almacenamiento. Cactáceas y suculentas mexicanas. 59(3): 83-89.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016a. Estaciones climatológicas SMN-CG-GMC-SPMLP-Climatología. [En línea]. [Citado el: 3 de abril de 2016.] Disponible en Web <<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Estadistica/5146.pdf>>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016b. Estaciones climatológicas SMN-CG-GMC-SPMLP-Climatología. [En línea]. [Citado el: 3 de abril de 2016.] Disponible en Web <<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Estadistica/5038.pdf>>.
- Cloudsley-Thompson, J. L. 1977. El hombre y la biología de las zonas áridas. Primera edición. Editorial Blume. 255 p.
- Crabb, B. A. and O. Pellmyr. 2004. Defection by plants in the *yucca-yucca* moth association: a test of the cheater plant hypothesis for *Yucca treculeana*. Oikos. 107: 321-328.
- Czabator, F. J. 1962. Germination Value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. Forest Science. 8(4): 386-396.

- Davis, A. S. and D. F. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*. 30: 295-311.
- Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of White spruce and White pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*. 36(1): 10-13.
- Erdoz J., B. y J. Alvarado P. 1960. Ensayos sobre el Izote (*Yucca elephantipes* Regel) como materia prima para la obtención de celulosa. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 21(2): 323-334.
- Fischer, R. A. and N. C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology*. 29: 277-317.
- Flores-Hernández, A., J. A. Hernández-Herrera, H. Madinaveitia-Rios, L. M. Valenzuela-Nuñez, B. Murillo-Amador, E. O. Rueda-Puente, J. L. García-Hernández y H. G. Ortiz-Cano. 2011. Evaluación de la población natural y hábitat de palma azul (*Yucca rigida*) en Mapimi, Durango, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(1): 315-321.
- Flores-López, C., J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia*. 39(1): 117-126.
- 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.
- Foroughbakch P., R., M. A. Alvarado-Vázquez., T. E. Torres-Cepeda y J. S. Marroquín-de la Fuente. 2005. Tópicos selectos de botánica 2. Primera edición Universidad Autónoma de Nuevo León. 212 p.
- García-de la Cruz, Y., J. M. Ramos-Prado y J. Becerra-Zavaleta. 2011. Semillas forestales nativas para la restauración ecológica. *CONABIO. Biodiversitas*. 94:12-15.

- García-Salas., J. A. 1999. Uso de recursos, translaje de nicho y competencia de la avifauna asociada a *Yucca treculeana* en un matorral mediano subinermes en General Escobedo, N.L., México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 101 p.
- Golubov J., M. C. Mandujano, S. Arizaga, A. Martínez-Palacios, y P. Koleff. 2007. Inventarios y conservación de Agavaceae y Nolinaceae. *In*: El género Agavaceae y Nolinaceae en México: Una síntesis del estado del conocimiento. Eguiarte, L y A. García (eds.) Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, CONACYT, UNAM. pp: 25-52.
- Gómez-Jiménez, D. M., C. Ramírez-Herrera, J. Jasso-Mata y J. López-Upton. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(4): 297-304.
- González C., A. y A. J. Scheffey W. 1964. Los recursos espontáneos y su economía. *In*: Las zonas áridas del centro y noreste de México y el aprovechamiento de sus recursos. Beltrán E. (comp.) Primera edición. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. pp: 29-96.
- González-Medrano, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. Segunda edición. Editorial del Deporte Mexicano. 82 p.
- González-Medrano, F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Primera edición. Impresora y Encuadernadora Progreso, S.A de C.V. 194 p.
- Gutiérrez-Pulido, H. y R. De la Vara-Salazar. 2008. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición. McGraw-Hill/Interamericana editores. 545 p.
- Jara, L. F. y M. A. Valle. 1996. Producción y rendimiento de semilla de diez especies tropicales en América Central. *In*: Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Memorias del Simposio. Compilador:

- Rodolfo Salazar. 16-20 octubre, 1995. Managua, Nicaragua. CATIE. Turrialba, Costa Rica pp: 229-248.
- Jara N., L. F. 1998. Producción y rendimiento de semillas de especies forestales en América Central. *In: Selección y manejo de fuentes semilleras en América Central y República Dominicana*. Compilador: Luis Fernando Jara. CATIE y PROFESOR. Turrialba, Costa Rica. pp: 57-79.
- Jiménez-Aguilar, A. and J. Flores. 2010. Effect of light on seed germination of succulent species from the southern Chihuahuan Desert: comparing germinability and relative light germination. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 12: 12-19.
- Lyons, L. A. 1956. The seed production capacity and efficiency of red pine cones (*Pinus resinosa* Ait.) *Canadian Journal of Botany*. 34(1):27-36.
- Marroquín J., S., G. Borja L., R. Velázquez C., A. de la Cruz C. 1964. Estudio ecológico y económico de las zonas áridas del norte de México. Editora agrícola mexicana. 166 p.
- Matuda E. y I. Piña. 1980. Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Libros de México. 145 p.
- Mclaughlin, S. P. and S. M. Schuck. 1991. Fiber properties of several species of Agavaceae from the Southwestern United States and Northern Mexico. *Economic Botany*. 45(4): 480-486.
- 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.
- Mendizábal-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.

- Morales-Velázquez, M. G., C. A. Ramírez-Mandujano, P. Delgado-Valerio and J. López-Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schlttdl. et Cham. en la cuenca del Río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 1(2): 31-38.
- Mosseler, A., J. E. Major, J.D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.-S. Park, K. H. Johnsen and O. R. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany*. 78(7): 928-940.
- Nassar, J. M y U. Emaldi. 2008. Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). *Acta Botánica Venezuelica*. 31(2): 495-528.
- Niembro A. 1995a. Producción de semillas de cedro *Cedrela odorata* L. bajo condiciones naturales en Campeche, México. *In: Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina*. Memorias del Simposio. Compilador: Rodolfo Salazar. 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: Rodolfo Salazar. 16-20 Octubre, 1995. Managua, Nicaragua. CATIE. Turrialba, Costa Rica pp: 249-263.
- Olivo, V. B. y C. G. Buduba. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque*. 27(3): 267-271.
- Owens, J. N. 1995. Constraints to seed production: temperate and tropical forest trees. Heron Publishing. 15: 477-484.
- Peñuelas-Rubira, J. L. y L. Ocaña-Bueno. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. pp: 36-38.

- Pérez-Sánchez, R. M., J. Flores, E. Jurado and C. González-Salvatierra. 2015. Growth and ecophysiology of succulent seedlings under the protection of nurse plants in the Southern Chihuahuan Desert. *Ecosphere*. 6(3): 1-21.
- Rajora, O. P., A. Mosseler and J. E. Major. 2011. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. II. Genetic diversity, population structure, and mating behavior. *Canadian Journal of Botany*. 78: 941-956.
- Rentería-Arrieta, L. I. y C. Cantú. 2003. El efecto de *Tegeticula yuccasella* Riley (lepidóptera: Prodoxidea) sobre la fenología reproductiva de *Yucca filifera* Chabaud (Agavaceae) en 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.
- Rodríguez-Trejo, D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Ediciones Mundi-Prensa México. 156 p.
- Ruano-Martínez, J. R. 2003. Viveros forestales. Manual de cultivo y proyectos. Ediciones Mundi-Prensa. pp: 235-248.
- Rzedowski, J. 1964. Botánica económica. *In*: Las zonas áridas del centro y noreste de México y el aprovechamiento de sus recursos. Beltrán E. (comp.) Primera edición. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. pp: 135-152.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México .1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504 p.
- Sáenz-Reyes, J. T., H. J. Muñoz-Flores, C. M. Ángel-Pérez, A. Rueda-Sánchez y J. Hernández-Ramos. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*. 5(26): 98-111.

- Trelease, W. 1902. The Yuccaea. University of California Libraries. 316 p.
- Webber, H J. 1985. Studies on the dissemination and leaf reflexion of *Yucca aloifolia* and other species. Missouri Botanical Garden Annual Report. 1895: 91-112.
- Webber, J. M. 1953. *Yuccas* of the Southwest. Agriculture monograph No. 17 U.S department of agricultura. U. S. Government printing office. 174 pp.
- Willan, R. L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales. Centro de Semillas Forestales DANIDA FAO, Roma. 502 p.
- Young, J. A. and C. G. Young. 1992. Seeds of woody plants in North America. Dioscorides Press. pp: 358.

## 8 APÉNDICE

Apéndice 1. Coeficientes de correlación entre variables dasométricas y de producción de semillas de *Yucca filifera* Chabaud.

Variables	LC	LSC	DICA	PS	ES	CE	LS	AS	GS	PMS
DN	0.25ns	0.25ns	0.07ns	-0.02ns	0.05ns	0.08ns	-0.19ns	-0.26ns	0.01ns	-0.05ns
ALT	0.33ns	0.28ns	-0.07ns	-0.0004ns	0.28ns	-0.07ns	-0.12ns	-0.21ns	0.09ns	0.03ns
DC	0.14ns	0.17ns	-0.22ns	-.02ns	0.09ns	0.04ns	-0.31ns	-0.52*	-0.18ns	-0.22ns
ALR	-0.14ns	-0.09ns	-0.07ns	0.002ns	-0.19ns	-0.04ns	-0.06ns	0.24ns	-0.24ns	-0.20ns
NRAM	0.08ns	0.08ns	-0.11ns	0.10ns	0.05ns	0.16ns	-0.25ns	-0.41*	-0.16ns	0.26ns
RAC	0.02ns	0.04ns	-0.03ns	-0.05ns	-0.05ns	0.004ns	0.25nd	-0.22ns	-0.12ns	-0.14ns
PHA	-0.17ns	-0.08ns	0.01ns	0.16ns	-0.09ns	0.05ns	0.01ns	0.05ns	-0.20ns	-0.20ns
LARRAM	-0.28ns	-0.26ns	-0.12ns	-0.29ns	-0.04ns	-0.09ns	-0.07ns	-0.11ns	-0.13ns	0.22ns
NCR	-0.41ns	-0.38*	-0.26ns	-0.05ns	-0.10ns	-0.14ns	-0.32ns	-0.20ns	-0.34ns	-0.37*

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. DN: Diámetro. ALT: Altura. DC: Cobertura. ALR: Altura libre de ramificaciones. NRAM: Número de ramificaciones. RAC: Número de racimos. PHA: Individuos ha-1. LARRM: Largo del racimo. NCR: Número de cápsulas por racimo. LC: Largo de cápsula. LSC: Largo de cápsula sin parte terminal. DICA: Diámetro de cápsula. PS: Potencial de semilla. ES: Eficiencia de semilla. CE: Coeficiente de endogamia. LS: Largo de la semilla. AS: Ancho de la semilla. GS: Grosor de semilla. PMS: Peso de mil semillas.

Apéndice 2. Coeficientes de correlación entre variables dasométricas combinadas y de producción de semillas de *Yucca filifera* Chabaud.

Variables	NRAM	RAC	LARRAM	NCR	PS	ES	CE
DH	0.73**	0.62*	0.17ns	0.27ns	-0.0007ns	0.18n	0.002ns
DH1	0.78**	0.70**	0.17ns	0.31ns	-0.005ns	0.16ns	0.02ns
DH2	0.83**	0.74**	0.24ns	0.45*	-0.03ns	0.07ns	0.07ns
DH3	0.40*	0.48*	0.25ns	0.28ns	-0.07ns	-0.16ns	0.09ns
AL1	0.04ns	0.11ns	0.25ns	0.12ns	-0.04ns	-0.02ns	-0.03ns

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. NRAM: Número de ramificaciones. RAC: Número de racimos. LARRM: Largo del racimo. NCR: Número de cápsulas por racimo. PS: Potencial de semilla. ES: Eficiencia de semilla. CE: Coeficiente de

endogamia. DH: (diámetro) (altura). DH1: (diámetro<sup>2</sup>) (altura). DH2: (diámetro) (cobertura). DH3: (diámetro) (altura libre). AL1: (altura) (altura libre).

Apéndice 3. Coeficientes de correlación entre variables dasométricas, variables de producción de semillas y variables combinadas de *Yucca treculeana* Carr.

VARIABLES	NRAM	RAC	PS	PMS	RAC1	RAC2	RAC3
DN	0.20ns	0.15ns	-0.09ns	0.003ns	0.36*	-0.08ns	-0.05ns
ALT	0.006ns	0.23ns	0.05ns	0.10ns	0.34ns	-0.13ns	-0.09ns
DC	-0.11ns	-0.08ns	0.02ns	0.22ns	0.08ns	0.31ns	-0.09ns
ALR	0.25ns	0.30ns	-0.17ns	-0.32ns	0.13ns	-0.43*	-0.15ns
PHA	-0.14ns	-0.19ns	-0.03ns	-0.003ns			
PJHA	0.08ns	0.20ns	0.24ns	-0.07ns			
LARRAM	-0.22ns	-0.27ns	0.03ns	0.20ns			
NCR	-0.26ns	-0.34ns	0.10ns	0.003ns			
NRAM	1	0.75**	-0.13ns	-0.14ns			
RAC	0.75**	1	-0.12ns	-0.34*			

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. DN: Diámetro. ALT: Altura. DC: Cobertura. ALR: Altura libre de ramificaciones. NRAM: Número de ramificaciones. RAC: Número de racimos. PHA: Individuos  $ha^{-1}$ . PJHA: Individuos juveniles  $ha^{-1}$ . LARRM: Largo del racimo. NCR: Número de cápsulas por racimo. PS: Potencial de semilla. PMS: Peso de mil semillas. RAC1: (número de racimos) (largo racimo). RAC2: (número de cápsulas) (largo de racimo). RAC3: (racimos) (número de cápsulas).

Apéndice 4. Coeficientes de correlación entre variables dasométricas combinadas y de producción de semillas de *Yucca treculeana* Carr.

VARIABLES	NRAM	RAC	LARRAM	NCR	PS	ES	CE
DH	0.14ns	0.24ns	0.31ns	-0.18ns	-0.03ns	-0.03ns	0.01ns
DH1	0.20ns	0.23ns	0.33ns	-0.20ns	-0.03ns	0.0009ns	-0.01ns
DH2	0.07ns	0.05ns	0.48*	-0.004ns	0.06ns	0.15ns	-0.20ns
DH3	0.30ns	0.29ns	-0.09ns	-0.33ns	-0.22ns	-0.18ns	0.21ns
AL1	0.17ns	0.29ns	-0.15ns	-0.34ns	-0.11ns	-0.24ns	0.27ns

\*\* : Significativo al  $P \leq 0.001$ . \* : Significativo al  $P \leq 0.05$ . ns: no significativo. NRAM: Número de ramificaciones. RAC: Número de racimos. LARRM: Largo del racimo. NCR: Número de cápsulas por racimo. PS: Potencial de semilla. ES: Eficiencia de semilla. CE: Coeficiente de endogamia. DH: (diámetro) (altura). DH1: (diámetro<sup>2</sup>) (altura). DH2: (diámetro) (cobertura). DH3: (diámetro) (altura libre). AL1: (altura) (altura libre).