



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO, GERMINACIÓN DE SEMILLA Y CALIDAD DE PLÁNTULA DE MAGUEY (*Agave*)

MINERVA HUERTA-LOVERA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: **COMPONENTES DEL RENDIMIENTO, GERMINACIÓN DE SEMILLA Y CALIDAD DE PLÁNTULA DE MAGUEY (*Agave*)** realizada por la alumna: **Minerva Huerta Lovera** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dra. Cecilia B. Peña Valdivia

ASESOR



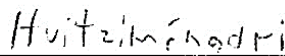
Dr. Josué Kohashi Shibata

ASESOR



M. en C. Antonio García Esteva

ASESOR



Dr. Huitzimengari Campos García

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2015

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO, GERMINACIÓN DE SEMILLA Y CALIDAD DE PLÁNTULA DE MAGUEY (*Agave*)

Minerva Huerta-Lovera, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

En las especies de *Agave* se requieren desde unos años hasta décadas para la emisión del escape floral. Por esto, las referencias acerca de los componentes del rendimiento y calidad de su semilla son escasas. El objetivo de este estudio fue evaluar los componentes del rendimiento en inflorescencias e infrutescencias y la calidad de semilla y plántula de dos especies de *Agave*. La hipótesis fue que existe una relación directa entre: (a) tamaño del escape floral con el de la planta y especie, (b) rendimiento de semilla con el sitio de recolecta, y (c) tamaño de la semilla con sitio de recolecta, viabilidad de la semilla y calidad de la plántula. En 2014 plantas en etapa reproductiva de *A. mapisaga* y *A. salmiana* del cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y San Luis Potosí, SLP, fueron recolectadas para su estudio. Las variables evaluadas fueron: en la planta cuatro atributos morfológicos, en la inflorescencia siete atributos, en la infrutescencia 18 atributos, en la semilla cinco atributos, y en la plántula la calidad durante su crecimiento. Los componentes del rendimiento variaron amplia y significativamente ($p < 0.05$) entre las infrutescencias y en la biomasa de esas estructuras destacó la de las semillas normales, 380 a 2 069 g, por planta. Una planta de SLP presentó las semillas más gruesas (0.742 mm) y una del Estado de México, las más anchas y largas (6.758 y 9.099 mm). La germinación osciló entre 95 y 99 %, sin diferencias ($p > 0.05$) entre plantas ni sitios de recolecta. El tejido de reserva de las semillas permitió que las plántulas alcanzaran longitudes entre 40 y 51 mm. El número de estructuras con fines reproductivos en la inflorescencia fue mayor en los primeros dos tercios de la sección apical; el número y biomasa mayor de cápsulas, semillas normales y abortadas se localizan en las umbelas del centro de la infrutescencia; el rendimiento de semilla fue estadísticamente diferente entre plantas de *A. salmiana* que crecen en el mismo sitio y maduran simultáneamente; y la morfología de la semilla de *A. salmiana* fue diferente entre plantas del mismo sitio de recolecta y entre sitios, y no influyó en la germinación pero sí en la calidad de plántula con tallas cercanas a 12 mm.

Palabras clave: componentes del rendimiento, inflorescencia, infrutescencia, *Agave*

MAGUEY (*Agave*) YIELD COMPONENTS, SEED GERMINATION AND SEEDLING QUALITY

Minerva Huerta-Lovera, M.C.

Colegio de postgraduados, 2015

ABSTRACT

In species of *Agave* are required for several years to decades for issuing the flower stalk. Therefore, the references about the yield components and seed quality are scarce. The objective of this study was to evaluate the yield components of inflorescences and infrutescences, and seed and seedling quality of two *Agave* species. The hypothesis was that exists a direct relationship between: (a) size of stalk with plant size and species, (b) seed yield with the site of collection, and (c) seed size with site of collection, seed viability and seedling quality. In 2014 plants in reproductive stage of *A. mapisaga* y *A. salmiana* of Mount Tepary, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México and San Luis Potosí, SLP, were harvesting for the study. The variables evaluated were in the plant four morphological attributes, in the inflorescence seven attributes, in the infrutescence 18 attributes, in the seed five attributes, and on the seedling their quality while growing up. The yield components varied wide and significantly ($p \leq 0.05$) between infrutescences and in the biomass of these structures highlighting the normal seeds, 380 a 2 069 g, per plant. A SLP plant presented the seeds with highest thickness (0.742 mm) and one of the State of Mexico presented wider and longer seeds (6.758 and 9.099 mm). Germination ranged between 95 and 99%, without differences ($p > 0.05$) between plants or sites of collection. The storage tissue of the seed allowed that seedlings reach lengths between 40 and 51 mm. The number of structures for reproductive purpose in the inflorescence was greater in the first two thirds of the apical section; the highest number and biomass of capsules, normal and aborted seeds are located in the center umbels infrutescence; seed yield was statistically different between *A. salmiana* plants that grow in the same place and mature simultaneously; and seed morphology of *A. salmiana* was different between plants of the same collect site and between sites, and did not influenced the germination but if in the quality of seedling with sizes close to 12 mm.

Key words: yield components, inflorescence, infrutescence, *Agave*

A la memoria de:

Ángel Huerta Lovera,

Ciro Huerta Fernández y

Gregorio Lovera Agustín.

A mi tío:

Gregorio Lovera Sánchez

*“Comienza haciendo lo que es necesario,
después lo que es posible
y de repente estarás haciendo lo imposible”*

San Francisco de Asís

*El que ama la corrección ama la sabiduría;
más el que aborrece la reprensión, es ignorante.*

Proverbio 12:1

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a l@s amig@s de la universidad, a la MC. Blanca Jaimes Cruz y a los doctores Jorge Lugo de la Fuente, Rocío Vaca Paulin, Pedro del Aguila Juárez, Evelia Cruz Ruíz, Araceli Cruz Ruíz, Julieta Gertrudis Estrada Flores y Carmen Zepeda Gómez, por sus palabras fuente de motivación y reto para realizar los estudios de maestría en el Colegio de Postgraduados.

Doy las gracias a todas las personas que participaron directa e indirectamente en la realización del presente trabajo de investigación. En especial, al Consejo Particular de una servidora por ser la piedra angular durante el desarrollo de la investigación y la mejora del presente escrito.

Estoy muy agradecida con la Dra. Cecilia B. Peña Valdivia por creer en mí y darme la oportunidad de desarrollar este trabajo, así como su apoyo, asesoría, tiempo y paciencia; al Dr. Josué Kohashi Shibata y el MC. Antonio García Esteva por sus consejos, ayuda incondicional y proporcionarme material didáctico y de campo; y al Dr. José Rodolfo García Nava, ya que sus recomendaciones sobre tomar materias en estadística han ayudado al análisis de los datos de esta investigación y por prestarme y extraer los datos del Data logger. También, la disponibilidad y consejos del Dr. Huitziméngari Campos García.

La recolecta y medición de los organismos del Estado de México no habría sido posible sin mi familia fuente de motivación, solidaridad, respeto, comprensión, alegría y apoyo incondicional. Particularmente, a mi madre Alicia Lovera Sánchez por tener fe en mí y recordarme a cada instante que *“al ojo del amo engorda el caballo”*.

Al Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera y a su equipo que recolectó, procesó y mandó cápsulas de las infrutescencias de *Agave salmiana* de San Luis Potosí, así mismo la identificación de la especie. Merece una mención especial el Dr. Abisaí Josué García Mendoza por cotejar los ejemplares de maguey recolectados en el Estado de México, él junto con el MC. Ricardo Vega Muñoz y el Biól. Josael Miranda Bazán me ayudaron a herborizar el material vegetal de *A. salmiana* y *A. mapisaga*.

La solidaridad y disponibilidad de mi hermano Juan Alejandro Huerta Lovera que participó entusiastamente durante la evaluación del rendimiento de semilla y sus componentes, así como la ayuda oportuna e incondicional de amig@s: Ing. Agr. José Carlos Romualdo Martínez, Biól. Monserrath Campos Cerón e Ing. en Agrobiología Etelberto Cortez Quevedo; el apoyo y compañía del MC. José Luis Salinas Morales; al MC. Alfonso García Urióstegui por sus chistes y la clase sobre el uso del Data logger.

Los conocimientos de la MC. María Elena Monroy Vázquez ayudaron a comprobar el porcentaje de germinación bajo de semilla de maguey almacenada.

La Dra. María Magdalena Crosby Galván amerita una mención por permitirme usar el material y equipo del Laboratorio de Nutrición Animal del Postgrado de Ganadería, Colegio de Postgraduados, de este modo a los auxiliares y alumnos de dicho laboratorio, en especial a la C. Mariana Berenice Meráz Ramírez, por su participación y sugerencias durante el análisis bromatológico de las muestras.

La instrucción y paciencia del Dr. Daniel Padilla Chacón sobre algunos métodos para medir azúcares, así como de los profesores con los que cursé materias.

Al personal del Laboratorio de Biofísica y Fisiología ambiental del Postgrado en Botánica, los ayudantes de campo del Dr. José Rodolfo García Nava, personal de la

biblioteca y administrativo del Colegio de Postgraduados, debido a su ayuda en el procesamiento de muestras, consulta y/o trámites.

El desarrollo del presente trabajo de investigación, no habría sido posible sin el apoyo económico que el CONACYT me brindó durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados. También, agradezco a los mexicanos por pagar sus impuestos, ya que a través de ellos el CONACYT subsidia a algunos científicos en formación.

Finalmente y no por ello menos importante, a Dios.

CONTENIDO

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Literatura citada.....	10
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. Género <i>Agave</i>	17
2.2. Flores.....	19
2.3. Semilla.....	23
2.4. Plántulas de maguey	27
2.5. Metabolismo fotosintético de los magueyes	28
2.6. Literatura citada.....	28
CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA Y NÚMERO DE ESTRUCTURAS EN INFLORESCENCIAS DE <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck Y <i>A. mapisaga</i> Trel.	35
3.1. Resumen	35
3.2. Abstract	36
3.3. Introducción	38
3.4. Materiales y métodos.....	42
3.5. Resultados y discusión	52
3.6. Conclusiones	83
3.7. Literatura citada	84
CAPÍTULO IV. RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	88
4.1. Resumen	88
4.2. Abstract	89
4.3. Introducción	90

4.4. Materiales y métodos.....	93
4.5. Resultados y discusión	96
4.6. Conclusiones	112
4.7. Literatura citada	113
CAPÍTULO V. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, GERMINACIÓN DE SEMILLA Y CALIDAD DE PLÁNTULA DE <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	116
5.1. Resumen	116
5.2. Abstract	117
5.3. Introducción	118
5.4. Materiales y métodos.....	122
5.5. Resultados y discusión	127
5.6. Conclusiones	161
5.7. Literatura citada	161
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN GENERAL	166
6.1. Literatura citada	169
CAPITULO VII. CONCLUSIONES GENERALES.....	171

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Análisis químico parcial de flores de <i>Agave atrovirens</i> (Cravioto <i>et al.</i> , 1951), <i>A. salmiana</i> (Sotelo y López-García, 2007), <i>A. scabra</i> (Mellado <i>et al.</i> , 2008) y <i>A. americana</i> (Semuli, 2014).....	22
Cuadro 2.2. Producción de semillas por infrutescencia o cápsula de <i>Agave</i> spp.	26
Cuadro 3.1. Sitios de recolecta de las inflorescencias de <i>Agave salmiana</i> y <i>A. mapisaga</i> en el Cerro Tepari, Atlacomulco, México, en junio y julio de 2014.....	44
Cuadro 3.2. Matriz de correlaciones entre altitud y variables evaluadas en las rosetas de <i>A. salmiana</i> . Coeficiente de Pearson seguido del valor de p.	56
Cuadro 3.3. Promedio \pm D.E. de longitud y circunferencia (cm) del pedicelo, ovario, tépalos y receptáculo. Botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).....	76
Cuadro 3.4. Promedio de biomasa seca \pm D.E (%) en pedicelo, ovario y perianto más estambres, estilo y estigma (PEEE). Botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).	79
Cuadro 3.5. Promedio \pm D.E. (%) de longitud (cm) en botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).	80
Cuadro 3.6. Promedio \pm D.E. de la circunferencia (cm) de botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).	81
Cuadro 3.7. Promedio \pm D.E. (número de réplicas) de la biomasa seca (g) de botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).	82

Cuadro 5.1. Cantidad de semillas en muestras de 9.6 g y en cápsulas (promedio \pm D.E.) de infrutescencias de <i>A. salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	128
Cuadro 5.2. Dimensiones y biomasa de las semillas de cuatro plantas de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y San Luis Potosí, SLP, México, en el año 2014.	134
Cuadro 5.3. Caracterización de plántulas con nomófilo (1 mes de desarrollo) de dos plantas del Estado de México.	156

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1. Planta de *Agave salmiana* en etapa de prefloración, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.43
- Figura 3.2. Planta de *Agave mapisaga* en etapa de floración, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.45
- Figura 3.3. Planta de maguey (*Agave salmiana*) en etapa de floración, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.46
- Figura 3.4. Descripción morfológica de la inflorescencia paniculada con ramas de umbelas del maguey (*Agave salmiana*). E1, escapo de primer orden; E2, escapo de segundo orden; PU, pedúnculo de la umbela.48
- Figura 3.5. Inflorescencia paniculada, con umbelas largas, de *Agave salmiana* en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.49
- Figura 3.6. Sitios donde se midieron la longitud y la anchura del escapo de la umbela o de segundo orden (E2). Escapo de primer orden (E1).49
- Figura 3.7. Clasificación de flores de maguey (*Agave salmiana*): A. botones florales pequeños (no comestibles); B. botones florales grandes (comestibles); C. flores con anteras sin abrir.....51
- Figura 3.8. Número de hojas por planta (A) y diámetro de la roseta (B) de plantas de *Agave salmiana* presentes en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México, en altitudes entre 2592 y 2780 m. Las flechas señalan las plantas seleccionadas para la evaluación de los componentes del rendimiento en la inflorescencia.53
- Figura 3.9. Longitud de las hojas de las plantas de *Agave salmiana* evaluadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México, en altitudes entre 2592 y 2780 m. Las flechas señalan las plantas seleccionadas para la evaluación de los componentes del rendimiento en la inflorescencia.55

Figura 3.10. Planta de *Agave mapisaga* con escapo en desarrollo, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.57

Figura 3.11. Altura del escapo floral de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. Sección basal () y sección apical (). ..58

Figura 3.12. Número total de brácteas de la sección basal del escapo (A), anchura basal promedio \pm D.E. (B) y longitud promedio \pm D.E. de las brácteas (C) de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.60

Figura 3.13. Número total de umbelas por planta (A), anchura basal \pm D.E. (B) y anchura apical promedio \pm D.E. del pedúnculo de la umbela (C) y longitud promedio \pm D.E. del pedúnculo de las umbelas (D) de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.61

Figura 3.14. Anchura basal del pedúnculo de las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.63

Figura 3.15. Anchura apical del pedúnculo de las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.64

Figura 3.16. Longitud del pedúnculo de las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.65

Figura 3.17. Número de botones florales, flores sin tépalos senescentes y flores senescentes en el escapo floral en dos plantas de *Agave salmiana* (A) y

(B) y una de <i>A. mapisaga</i> (C) recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.	67
Figura 3.18. Número de botones florales (A) - (C), flores sin tépalos senescentes (D) - (F) y flores senescentes (G) – (I) en las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de <i>Agave salmiana</i> y una de <i>A. mapisaga</i> recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.....	68
Figura 3.19. Total de flores más frutos inmaduros en las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de <i>Agave salmiana</i> (A) y (B) y una de <i>A. mapisaga</i> recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.	71
Figura 3.20. Porcentaje de humedad de la zona cortical con la epidermis a lo largo del escapo de dos plantas de <i>Agave salmiana</i> y una de <i>A. mapisaga</i> recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. Las barras verticales indican la desviación estándar.....	74
Figura 3.21. Porcentaje de humedad (%) de la médula a lo largo del escapo de dos plantas de <i>Agave salmiana</i> y una de <i>A. mapisaga</i> recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. Las barras verticales indican la desviación estándar.....	75
Figura 4.1. Número de cápsulas por umbela, en sentido acrópeto, en las infrutescencias de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	97
Figura 4.2. Cápsulas con tamaños diferentes en las umbelas de la infrutescencia de la planta 1 de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	99
Figura 4.3. Diámetro promedio de las cápsulas (+ D.E.) en las umbelas de las infrutescencias, en sentido acrópeto, de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. Los asteriscos sobre las barras indican la	

diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de esa media con al menos otra de ellas.	100
Figura 4.4. Longitud promedio de las cápsulas (+ D.E.) en las umbelas de las infrutescencias, en sentido acrópeto, de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. Los asteriscos sobre las barras indican la diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de esa media con al menos otra de ellas.	101
Figura 4.5. Biomasa promedio de las cápsulas (+ D.E.) en las umbelas de las infrutescencias, en sentido acrópeto, de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. Los asteriscos sobre las barras indican la diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de esa media con al menos otra de ellas.	103
Figura 4.6. Biomasa total de las cápsulas por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	104
Figura 4.7. Biomasa total de las valvas por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	105
Figura 4.8. Número total de semillas abortadas y normales por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	108
Figura 4.9. Proporción de valvas, semillas abortadas y normales por infrutescencia de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	109
Figura 4.10. Biomasa total de las semillas abortadas por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	110

Figura 4.11. Biomasa total de las semillas normales por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	111
Figura 5.1. Número (A) y biomasa (B) de semillas normales y abortadas en una muestra de 10 gramos de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck de plantas del Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México (1 y 2 EM a y b) y San Luis Potosí, México (1 y 2 SLP).....	131
Figura 5.2. Distribución de la anchura de las semillas viables de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).....	133
Figura 5.3. Distribución del espesor de las semillas viables de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).....	136
Figura 5.4. Distribución de frecuencias de longitud de las semillas viables de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).....	138
Figura 5.5. Distribución de la biomasa de las semillas viables de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).....	141
Figura 5.6. Germinación acumulada de las semillas viables de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. Círculos: plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México, y cuadros: plantas de San Luis Potosí, SLP, México (n = 120).....	143
Figura 5.7. Estructuras de la plántula de <i>A. salmiana</i> (A y B).	147

- Figura 5.8. Longitud del haustorio (sección inferior de las barras), de la raíz (sección media de las barras) y el cotiledón (sección superior de las barras) respecto a la longitud total de la plántula en dos plantas (1 y 2) de *Agave salmiana*, después de germinar la semilla a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y mantenidas en penumbra (iluminancia $145.42 \pm 198.69 \text{ lx}$). La primera barra representa la longitud del embrión.149
- Figura 5.9. Diámetro del cuello de la plántula de *Agave salmiana* en función de la longitud total de la plántula. Plántulas obtenidas de la germinación (a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y en penumbra (iluminancia de $145.42 \pm 198.69 \text{ lx}$) de semillas de dos plantas (1 y 2) recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.151
- Figura 5.10. Biomasa seca del perispermo-cubierta seminal respecto a la longitud total de la plántula de plantas (1 y 2) de *Agave salmiana*, después de germinar la semilla a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y mantenidas en penumbra (iluminancia de $145.42 \pm 198.69 \text{ lx}$). El círculo de color blanco representa la biomasa seca del perispermo-cubierta seminal en la semilla.153
- Figura 5.11. Biomasa seca acumulada en la raíz (sección inferior de las barras) y el vástago (sección superior de las barras) respecto a la longitud total de las plántulas de planta 1 y 2 de *Agave salmiana*, después de germinar la semilla a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y mantenidas en penumbra (iluminancia de $145.42 \pm 198.69 \text{ lx}$). La barra color gris representa la biomasa inicial del embrión.154
- Figura 5.12. Índice de Dickson y de esbeltez de plántulas de planta 1 y 2 de *Agave salmiana* del Estado de México.159

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En el año 2003 el género *Agave* se encontraba dentro de la familia Agavaceae (APG II, 2003). En 2009 se hizo una reclasificación y la familia desapareció (APG III, 2009; Chase *et al.*, 2009). Chase *et al.* (2009) ubicaron al género *Agave* en la subfamilia Agavoideae y a la vez en la familia Asparagaceae. Algunos especialistas (García-Mendoza y Chávez-Rendón, 2013) consideran prematuro incluir a la familia Agavaceae como subfamilia de Asparagaceae, pues sólo emplearon entre 5 y 10 % de las 340 especies que conforman esa familia para la reclasificación (García-Mendoza, 2011). Por lo anterior, en el presente estudio nos referiremos únicamente al género *Agave*.

Las plantas del género *Agave* se han utilizado en México desde la época precolombina para producir alimentos, bebidas, materiales para construcción, materiales para prendas de vestir, fibras, leña, forraje, medicamentos y otros productos diversos así como barreras rompevientos entre otros beneficios (González, 1978; Gentry, 1982; Castelló y Piña, 1986; Charlton *et al.*, 1991; Granados, 1993; Ramsay, 2004; Zamora *et al.*, 2010; García-Mendoza, 2011; Mora-López *et al.*, 2011; Aguilar *et al.*, 2014). Debe señalarse que actualmente en México, los magueyes han dejado de tener importancia económica en el sector de bebidas (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007). Algunas estructuras o toda la planta de *A. salmiana* y *A. mapisaga* están cayendo en desuso en algunos lugares del país, en el caso del Valle del Mezquital, Hidalgo, las hojas, el escapo y la fibra del maguey ya no se utilizan en la construcción de casas (Ramsay, 2004). En el Valle de México, estas especies sólo tienen ocho formas de uso de 17 reportadas en la época prehispánica (Aguilar *et al.*, 2014).

Evidencia del desuso de ambas especies de maguey son los restos de infrutescencias y rosetas que se observan en zonas urbanas y semiurbanas.

Las plantas de *A. salmiana* y *A. mapisaga*, como otras especies del mismo género, son importantes en los ecosistemas porque evitan la erosión, representa una fuente de alimento y el hábitat de fauna silvestre, como aves, mamíferos e insectos (Martínez y Eguiarte, 1987; Eguiarte *et al.*, 2000; Flores, 2002; García-Mendoza, 2007; Gómez-Aiza y Zuria, 2010; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013; Aguilar *et al.*, 2014; Delgado-Lemus *et al.*, 2014). Así, su valor se reconoce en los ecosistemas a los que pertenecen; ya que, permiten conservar la biodiversidad de especies pues proporcionan recursos abundantes durante su desarrollo y hasta la madurez fisiológica. Un ejemplo es *A. salmiana* que durante su floración la visitan por lo menos 39 especies de aves (Rocha *et al.*, 2006; Gómez-Aiza y Zuria, 2010).

Las plantas de *Agave* pueden crecer en una amplitud de altitudes, desde el nivel del mar hasta los 3400 m y en suelos de origen sedimentario o ígneo (García-Mendoza, 2007; García-Mendoza, 2011). Pero, la diversidad mayor de magueyes se encuentra en la meseta central mexicana o altiplanicie mexicana (Reynoso-Santos *et al.*, 2012). Ellas crecen en una diversidad amplia de ambientes, como pastizal, bosque espinoso, bosque tropical caducifolio pero el número mayor de especies ocurren en comunidades vegetales xerófitas en microambientes secos (García-Mendoza, 2002), ya que las especies de *Agave* toleran las restricciones de humedad características de las zonas secas y son eficientes para producir biomasa aun con déficit de humedad (Pimienta-Barrios *et al.*, 2006; Schulte, 2009), en lugares donde pocos cultivos de importancia comercial pueden prosperar (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007). La

capacidad de crecimiento de *Agave* en situaciones de sequedad lo demostraron Sánchez-Urdaneta *et al.* (2004) con el crecimiento radicular de plántulas de *A. salmiana* en sustratos con potenciales de agua entre -0.65 y -2.5 MPa, y por Pimienta-Barrios *et al.* (2001 y 2006) y Ruiz *et al.* (2007) en plantas jóvenes y adultas de la misma especie y de *A. angustifolia* ssp. *tequilana* que asimilaron CO₂ aún después de seis meses sin suministro de agua y en la época seca del año.

En México, *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck es endémica, se considera semidomesticada, se distribuye de Coahuila a Chiapas (Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2011; Mora-López *et al.*, 2011; Reynoso-Santos *et al.*, 2012) y puede cultivarse o crecer en forma silvestre en lugares con distinto grado de perturbación antropocéntrica (Mora-López *et al.*, 2011), en planicies o laderas con o sin afloramientos rocosos y en suelos de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos (Tello, 1988; Martínez *et al.*, 2005). El crecimiento y desarrollo de estas plantas se ve favorecido en planicies con una profundidad mayor a 30 cm, suelos de origen ígneo y suelos franco arenosos con Ph neutro a ligeramente ácido (Martínez, 1985; Martínez-Morales y Meyer, 1985; Tello, 1988; Flores, 2002; Martínez *et al.*, 2005) y disponibilidad limitada de agua durante la temporada de sequía (Gentry, 1982).

Agave mapisaga es una especie domesticada (Mora-López *et al.*, 2011) y endémica del centro de México (García-Mendoza, 2011). Esta especie se encuentra en lugares montañosos del centro de México (Granados, 1993) y en campos de cultivo y en linderos de estos en San Luís Potosí, Zacatecas, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Querétaro (Granados, 1993; Rzedowski y Rzedowski, 2005; Mora-López *et al.*, 2011). Las plantas de *A. mapisaga* en cultivo prosperan en suelos de

origen sedimentario o suelos pedregosos con buen drenaje y Ph de 6.3 a 7.8 (Granados, 1993).

El lapso que las plantas de maguey invierten en alcanzar la madurez fisiológica depende de las condiciones ambientales y agroecológicas y de la especie (García-Herrera *et al.*, 2010). De acuerdo con Gentry (1982) ellas requieren de 8 a 20 años para alcanzar el tamaño y la madurez fisiológica necesarios para la producción de la inflorescencia (Crouch y Smith, 2011). García-Mendoza (2007) indicó que las especies pequeñas de maguey invierten en ese proceso de 4 a 5 años y las grandes de 10 a 25 años. Las especies semidomesticadas y domesticadas, como *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck y *A. mapisaga* Trel. (Mora-López *et al.*, 2011), en condiciones de cultivo, necesitan de 8 a 10 años para alcanzar la madurez fisiológica (Granados, 1993; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013). De acuerdo con Eguiarte *et al.* (2000) algunas especies silvestres, como *Agave macroacantha* Zucc., pueden requerir al menos 34 años. Por esto, los estudios relacionados con la fenología, el crecimiento de la planta y de sus estructuras reproductivas, y la relación del desarrollo de éstas con los componentes del rendimiento son escasos o inexistentes para la mayoría de las especies de *Agave*.

Las rosetas de *A. salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry, en estratos con densidad moderada (892 individuos por hectárea) y alta (3 125 número de individuos por hectárea), con la madurez cuadruplicaron la anchura y diámetro de la corona y triplicaron el diámetro basal de las rosetas juveniles (17 a 23 cm de anchura, 20 a 25 cm de diámetro de la corona y 14 a 16 cm de diámetro basal) (Martínez *et al.*, 2005). Las rosetas de *A. salmiana* y *A. mapisaga* en

Tequesquihuac, México, incrementaron su biomasa, número de hojas, peso de tallo y raíz, entre otros atributos, junto con su altura. El crecimiento de los magueyes durante el tiempo que les toma alcanzar la madurez, es resultado de la incorporación nocturna de CO₂ por sus tejidos fotosintéticos. Las plantas de *A. salmiana* y *A. mapisaga* pueden producir en promedio 40 ton de biomasa seca ha⁻¹ año⁻¹ al incorporar el CO₂ en la noche (García-Moya *et al.*, 2011).

La morfología y fisiología de los magueyes les permite alcanzar la madurez fisiológica en condiciones que son extremas, como humedad disponible escasa y temperaturas ambientales extremas, para la mayoría de las especies. Algunas de sus características son cutícula gruesa (0.01 cm) en sus hojas (Mora-López *et al.*, 2011), hojas con arreglo en espiral con ángulo de inclinación diferente en la misma roseta (Granados, 1993), algunos tejidos suculentos en los que almacenan agua y otros en los que realizan metabolismo fotosintético del tipo ácido de las crasuláceas (MAC) (Granados, 1993; Ramírez-Tobías *et al.*, 2014).

Los recursos producidos y almacenados en la base de la roseta de maguey, a través de los años de crecimiento y desarrollo, son empleados para la producción de una inflorescencia (Gentry, 1982; Arizaga y Ezcurra, 1995; García-Mendoza, 2007). La inflorescencia pueden alcanzar 2.5 m o más (García-Mendoza, 2011) y desarrollar semillas, bulbilos o ambos dependiendo de la especie (Gentry, 1982; García-Mendoza, 2007).

Después de la dispersión de las semillas; la planta muere (Gentry, 1982; Arizaga y Ezcurra, 1995; García-Mendoza, 2007). Así, los magueyes florecen sólo una

vez en su ciclo de vida, por lo que se les conoce como plantas semélparas o monocárpicas (Eguiarte *et al.*, 2000).

En las plantas de *A. deserti* Engelm. al desarrollarse la inflorescencia las hojas en la roseta (68 en total) perdieron 1.84 kg de su biomasa seca, mientras que la inflorescencia ganó 1.25 kg de biomasa seca; esta ganancia fue equivalente a la producción fotosintética anual del maguey (Nobel, 1977). En este proceso, las inflorescencias de *A. deserti* desarrollaron 77 botones florales en cada rama lateral. Pero, como podría esperarse el número de estructuras reproductivas varía ampliamente entre las especies y entre las plantas. Martínez y Eguiarte (1987) contabilizaron entre 98 y 1 460 flores en 14 inflorescencias de *A. salmiana*. Lorenzo (2012) señaló la variación en el número de cápsulas producidas por umbela en *A. salmiana* subsp. *crassispina*, y registró la producción mayor en la primera mitad de la infrutescencia.

El valor de las plantas de maguey para los humanos desde tiempos prehispánicos contrasta con las tasas de crecimiento menores en estas plantas respecto a las herbáceas anuales, pero, en parte su valor es la capacidad que tienen estas plantas de crecer y permanecer en ambientes en los que las otras numerosas especies no lo hacen. A pesar de la riqueza de los magueyes y su valor ecológico y antropocéntrico, prácticamente de toda la planta, las evaluaciones del rendimiento y sus componentes son escasas.

Las cápsulas de maguey en la infrutescencia contienen semillas abundantes, se abren lentamente y las semillas se dispersan por el viento (anemocoria) (Moreno, 2003; García-Mendoza, 2007). La dispersión de la semilla en el maguey está

favorecida por su forma (aplanada) y un ala corta en su porción convexa (García-Mendoza, 2011). Sin embargo, en algunas especies como *A. schottii* Engelm. sólo 15 % de sus semillas se dispersan (Trame *et al.*, 1995).

La producción de semillas en los magueyes varía ampliamente entre las especies. El número de estas estructuras puede variar de 777 en *A. angustifolia* a 780 000 en *A. palmeri* (Howell y Roth, 1981; Molina-Freaner y Eguiarte, 2003). Reyes (2013) indicó que una inflorescencia de *Agave* sp. puede producir más de 3000 semillas, Nobel (1998) reportó una producción de hasta 65 000 por infrutescencia de *A. deserti* Engelm. y Lorenzo (2012) reveló que las infrutescencias de *A. salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry llegan a producir de 28 084 a 80 504. Existen estudios numerosos en los que se menciona la abundancia de las semillas (Gentry, 1972; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1996; Colunga-GarcíaMarín y May-Pat, 1997; Nobel, 1977; Howell y Roth, 1981; Szarek y Holmesley, 1996; Eguiarte *et al.*, 2000; Arizaga *et al.*, 2000a; Arizaga *et al.*, 2000b; Arizaga y Ezcurra, 2002; Arizaga y Ezcurra, 2002; Molina-Freaner y Eguiarte, 2003; Rocha *et al.*, 2005; Escobar-Guzmán *et al.*, 2008; Escobar-Guzmán *et al.*, 2008; Lorenzo, 2012) en *A. chrysoglossa*, *A. fourcroydes* y *A. angustifolia*, *A. deserti*, *A. palmeri*, *A. horrida*, *A. macroacantha*, *A. vilmoriniana*, *A. angustifolia* y *A. subsimplex*, *Agave* sp., *A. celsii* var. *albicans*, *A. difformis*, *A. striata* y *A. xylonacantha*, *A. americana*, *A. tequilana* y *A. salmiana* subsp. *crassispina*. Dichos estudios evidencian una variación amplia en el número de frutos por infrutescencia y de semilla entre las especies y entre infrutescencias de una misma especie y en la mayoría de ellos el número total de semillas se predice y los caracteres morfológicos de la cápsula no se consideran. Además, la información de la

distribución de cápsulas y semillas en la infrutescencia también es escasa. Es decir, la cuantificación de los componentes del rendimiento entre las especies de *Agave* debe realizarse para continuar integrando información en el conocimiento del crecimiento y los procesos fisiológicos que les permiten a estas plantas crecer y permanecer en ambientes extremos para otras especies.

En general las especies del género *Agave* producen una gran cantidad de semilla por lo que podrían propagarse sexualmente (semillas), pero *in situ* la propagación depende principalmente de la reproducción asexual (vástagos vegetativos o hijuelos y bulbilos) (Gentry, 1982; García-Mendoza, 2007). Las semillas que germinan *in situ* son pocas y el establecimiento y desarrollo de plántulas es mínimo. Al respecto Jordan y Nobel (1979) señalaron que en el desierto de Sonora, de entre 1.2 millones de semillas de *A. deserti* sólo una llegó a desarrollar una planta madura. García-Mendoza (2007) señaló que la mayoría de los magueyes presentan reproducción asexual; no obstante, cerca del 80 % de las especies del género *Agave* producen semillas (Szarek y Holmesley, 1996). La tendencia de propagación asexual puede estar relacionada con las condiciones *in situ* poco adecuadas para la germinación, disminución de la calidad y cantidad de semillas como resultado de herbivoría y la producción disminuida de semillas por el uso de las plantas antes de la floración (Peña-Valdivia *et al.*, 2006) y la calidad baja de las plántulas.

La relación de las características físicas y químicas de las semillas con su capacidad para germinar y producir plántulas se ha evaluado incipientemente. Esto probablemente debido a la creencia de que la reproducción por semilla requiere más cuidados y alarga el periodo de crecimiento (Anónimo, 1988). Independientemente de

la especie, es frecuente que una proporción variable de las semillas en los ambientes silvestres permanezcan latentes y no germinen aunque las condiciones ambientales sean adecuadas para este proceso o para el crecimiento de las plántulas (Peña-Valdivia *et al.*, 2013). En contraste, las semillas de varias especies de *Agave*, como *Agave americana* var. *marginata* Trelease, *A. asperrima* Jacobi, *A. cupreata* Trelease & Berger, *A. duranguesis* Gentry, *Agave lechuguilla* Torrey, *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck y *A. striata* Zuccarini tiene proporciones bajas o carecen de latencia pues alcanzan porcentajes máximos de germinación mayores a 90 % en condiciones de laboratorio y en dependencia de la temperatura, el potencial de agua del substrato, y en periodos variables dependientes de la especie y en algunos casos del ambiente de origen (Freeman *et al.*, 1977; Pritchard y Miller, 1995; Peña-Valdivia *et al.*, 2006; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012).

Así, se espera que los patrones de germinación de las especies dependan de las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de las semillas de cada región y de su respuesta al ambiente (humedad, temperatura, irradiancia y disponibilidad de oxígeno) (Peña-Valdivia *et al.*, 2006); aunque, pueden depender de uno sólo o la combinación de dos o más de estos factores (Baskin y Baskin, 1988).

Algunas especies agronómicamente importantes del género *Agave*, como *A. sisalana* o *A. angustifolia* entre otras, no se propagan por semilla (Nobel, 1998). La reproducción asexual en maguey origina cierta variabilidad genética, pero es menor a la originada por la reproducción sexual (García-Mendoza, 2007). En cambio, las semillas facilitan a los magueyes colonizar microambientes nuevos, ampliar su área de distribución, en tiempo y espacio, y originar individuos con variabilidad genética mayor

que les permite responder a condiciones ambientales adversas (Moreno, 2003). Sin embargo, la multiplicación sexual de los magueyes se enfrenta a factores adversos, como la dispersión de las semillas, los depredadores de ellas y de las plántulas, la germinación y sobrevivencia de las plántulas en los ambientes naturales adversos (humedad restringida, temperaturas extremas, irradiaciones elevadas) (Nobel, 1988; García-Mendoza, 2007; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012). En contraste, Barrientos *et al.* (1985) determinaron que más del 50% de las plántulas de *A. salmiana* obtenidas de semilla superaron en vigor a los hijuelos empleados tradicionalmente en la propagación. Por consiguiente, evaluar y conocer la calidad de sus plántulas es relevante, y es una característica de las pendientes por evaluar y necesaria para entender porque su desarrollo en los ambientes naturales es poco exitoso.

El objetivo de este estudio fue evaluar los componentes del rendimiento en inflorescencias e infrutescencias y la calidad de semilla y plántula de dos especies de *Agave*. La hipótesis fue que existe una relación directa entre: (a) tamaño del escapo floral con el de la planta y especie, (b) rendimiento de semilla con el sitio de recolecta, y (c) tamaño de la semilla con sitio de recolecta, viabilidad de la semilla, y calidad de la plántula.

1.1. Literatura citada

Aguilar, B., J. Enríquez, G. Rodríguez-Ortiz, D. Granados y B. Martínez. 2014. El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(2): 106-120.

Anónimo. 1988. El maguey: árbol de las maravillas. Museo Nacional de Culturas Populares. México, DF. 178 p.

- APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering Plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 105-121.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 1995. Insurance against reproductive failure in a semelparous plant: bulbil formation in *Agave macroacantha* flowering stalks. *Oecologia* 101: 329-334.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000a. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. II. The role of pollinators. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000b. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. I. Floral Biology and pollination mechanisms. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 2002. Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *American Journal of Botany* 89(4): 632-641.
- Barrientos P., F., A. Villegas M., A. Vázquez R. 1985. Métodos de propagación de agaves. In: C. Cruz; L. Castillo; M. Robert; R.N. Ondarza (Eds). *Biología y aprovechamiento integral del henequén y otros agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. México. pp: 91–96.
- Baskin, C.C., y J. M. Baskin. 1988. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. *American Journal of Botany*. 75: 286-305.
- Castelló, T. e I. Piña. 1986. Presencia de la comida prehispánica. Fomento cultural Banamex. México. pág. 89.
- Castro-Díaz, A. S. y J. A. Guerrero-Beltrán. 2013. El agave y sus productos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 7-2: 53-61.
- Charlton, T. H., D. L. Nichols y C. O. Charlton. 1991. Aztec craft production and specialization: archeological evidence from the city-state of Otumba, Mexico. *World Archeology* 23: 98-114.
- Chase, M. W., J. L. Reveal y M. F. Fay. 2009. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 132-136.

- Colunga-GarcíaMarín, P., E. Estrada-Loera y F. May-Pat. 1996. Patterns of morphological variation, diversity and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatan, México. *American Journal of Botany* 83(8): 1069-1082.
- Colunga-GarcíaMarín, P. y F. May-Pat. 1997. Morphological variation of henequen (*Agave fourcroydes*, Agavaceae) germplasm and its wild ancestor (*A. angustifolia*) under uniform growth conditions: diversity and domestication. *American Journal of Botany* 84(11): 1449-1465.
- Colunga-GarcíaMarín, P., D. Zizumbo-Villareal, y J. Martínez-Torres. 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. *In*: P. Colunga-GarcíaMarín, A. Larqué S., L.E. Eguarte, y D. Zizumbo-Villareal (Eds). *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán. México. pp. 229-248.
- Crouch, N. R. y G. F. Smith. 2011. AGAVACEAE, *Furcraea foetida*: an invading alien in South Africa. *Bothalia* 41(1): 196-199.
- Delgado-Lemus, A., A. Casas y O. Téllez. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10: 1-12.
- Eguiarte, L. E., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66: 131-150.
- Escobar-Guzmán, R. E., F. Zamudio, K. Gil y J. Simpson. 2008. Seed production and gametophyte formation in *Agave tequilana* and *Agave americana*. *Botany* 86: 1343-1353.
- Flores, J. L. 2002. El maguey mezcalero y sustentabilidad en el altiplano potosino. Reportes del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica 1(1): 53-61.
- Freeman, C. E., R. S. Tiffany, y W.H. Reid. 1977. Germination responses of *Agave lechuguilla*, *A. parryi*, and *Fouquieria splendens*. *The Southwestern Naturalist* 22: 195-204.
- García-Herrera, E. J., S. de J. Méndez-Gallegos y D. Talavera-Magaña. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Ed. Especial 5: 109-129.

- García-Mendoza, A. J. 2002. Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico. *Cactus and Succulent Journal* 74: 177-187.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *CIENCIAS* 87: 15-23.
- García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Agavaceae. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 95 p.
- García-Mendoza, A. J. y C. Chávez-Rendón. 2013. *Agave kavandivi* (Agavaceae: group *Striatae*), una especie nueva de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 1070-1076.
- García-Moya, E., A. Romero-Manzanares and P. S. Nobel. 2011. Highlights for *Agave* Productivity. *GCB Bioenergy* 3: 4-14.
- Gentry, H. S. 1972. The agave family in Sonora. Agriculture handbook No. 399. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. United States. 195 p.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of continental North America. The University of Arizona Press. U.S.A. p. 605.
- Gómez-Aiza, L. y I. Zuria. 2010. Aves visitantes a las flores del maguey (*Agave salmiana*) en una zona urbana del centro de México. *Ornitología Neotropical* 21: 17-30.
- González Q., L. 1978. Origen de la domesticación de los vegetales en México. In: J.L. Lorenzo (Coord). Historia de México. Tomo 1. Medio ambiente y primeras etapas. Salvat. México. pp: 77-92.
- Granados S., D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma de Chapingo. México. p. 90.
- Howell, D. J. y B. S. Roth. 1981. Sexual reproduction in agaves: the benefits of bats; the cost of semelparous advertising. *Ecology* 62(1): 1-7.
- Jordan, P. W. y P. S. Nobel. 1979. Infrequent establishment of seedlings of *Agave deserti* (Agavaceae) in the Northwestern Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 66(9): 1079-1084.
- Lorenzo, J. 2012. Éxito reproductivo y demografía de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en San José Alchichica, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 35 p.

- Martínez, M., H. Rubio A. y A. Ortega R. 2005. Population structure of maguey (*Agave salmiana* ssp. *crassispina*) in Southeast Zacatecas, Mexico. *Arid Land Research and Management* 19: 101-109.
- Martinez, C. y L. E. Eguiarte. 1987. Bird visitation to *Agave salmiana*: comparisons among hummingbirds and perching birds. *The Condor* 89: 357-363.
- Martínez, M. R. 1985. Demografía en una población silvestre de maguey mezcalero (*Agave salmiana* spp. *crassispina* Trel. Gentry) bajo condiciones de utilización intensiva. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Córdoba, Veracruz, México. En: Martínez, M., H. Rubio y A. Ortega. 2005. Population Structure of Maguey (*Agave salmiana* spp. *crassispina*) in Southeast Zacatecas, México. *Arid Land Research and Management* 19: 101-109.
- Martinez-Morales, R. y S. E. Meyer. 1985. A demographic study of maguey verde (*Agave salmiana* ssp. *crassispina*) under conditions of intensive utilization. *Desert Plants* 7(2): 61-66.
- Molina-Freaner, F. y L. E. Eguiarte. 2003. The pollination biology of two paniculate agaves (Agavaceae) from Northwestern Mexico: contrasting roles of bats as pollinators. *American Journal of Botany* 90(7): 1016-1024.
- Mora-López, J. L., J. A. Reyes-Agüero, J. L. Flores-Flores, C. B. Peña-Valdivia y J. R. Aguirre-Rivera. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección salmianae del género *Agave*. *Agrociencia* 45: 465-477.
- Moreno C, P. 2003. Vida y obra de granos y semillas. 2ª ed. Fondo de Cultura Económica. 207 p.
- Nobel, P. S. 1977. Water relations of flowering of *Agave deserti*. *Botanical Gazette* 138: 1-6.
- Nobel, P. S. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Traducido por García-Moya, E. Trillas. México. 211 pp.
- Peña-Valdivia, C. B., A. B. Sánchez-Urdaneta, J. R. Aguirre R., C. Trejo, E. Cárdenas, y A. Villegas M. 2006. Temperature and mechanical scarification on seed germination of 'maguey' (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science & Technology* 34: 47-56.
- Peña-Valdivia, C. B.; J. R. Aguirre-Rivera; V. B. Arroyo-Peña. 2013. El frijol: Síndrome de domesticación. Colegio de Postgraduados. México. 198 p.
- Pimienta-Barrios, E., C. Robles-Murguía, y P. S. Nobel. 2001. Net CO₂ uptake for *Agave tequilana* in a warm and temperate environment. *Biotrópica* 33: 312-318.

- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández J. y García-Galindo J. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40: 699-709.
- Pritchard, H. W., y A. P. Miller. 1995. The effects of constant temperatures, light and seed quality on the germination characteristics of *Agave americana*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 57: 11-14.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre R., J. A. Reyes-Agüero, A. B. Sánchez-Urdaneta y S. Valle-Guadarrama. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology* 27(2): 124-137.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia y J. R. Aguirre. 2014. Respuestas bioquímicas-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences* 92(1): 131-139.
- Ramsay, R. M. 2004. El maguey en Gundhó, Valle del Mezquital (Hidalgo, México): variedades, propagación y cambios en su uso. *Etnobiología* 4:54-66.
- Reyes S., J. 2013. Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas. Comisión Nacional Forestal. 110 p. www.conafor.gob.mx. Consultado en octubre 2013.
- Reynoso-Santos, R., García-Mendoza, A. J., López-Báez, W., López-Luna, A., Cadena Iñiguez, P., Pérez-Farrera, M. A. y M. H. Domínguez Gutiérrez. 2012. Identificación taxonómica de agaves (*Agave* spp.) utilizados para la elaboración de licor comiteco en Chiapas, México. *Agroproductividad* 5(4): 9-17.
- Rocha, M., A. Valera y L. E. Eguiarte. 2005. Reproductive ecology of five sympatric *Agave littaea* (Agavaceae) species in central Mexico. *American Journal of Botany* 92(8): 1330-1341.
- Rocha, M., S. V. Good-Ávila, F. Molina-Freaner, H. T. Arita, A. Castillo, A. García-Mendoza, A. Silva-Montellano, B. S. Gaut, V. Souza y L. E. Eguiarte. 2006. Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso* 22: 329-344.
- Ruiz, G., C. Peña-Valdivia, L. Trejo y A. Sánchez. 2007. Reacción fisiológica del maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) a la sequía intermitente. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 24(1): 318-325.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), México. pp. 1243, 1246 y 1322.

- Sánchez-Urdaneta, A. B., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre, C. Trejo y E. Cárdenas. 2004. Efectos del potencial de agua en el crecimiento radical de plántulas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. *Interciencia* 29: 626-631.
- Schulte, P.J. 2009. Water transport processes in desert succulents plants. *In*: E. de la Barrera; W.K. Smith (Eds). *Perspectives in biophysical plant ecophysiology: A tribute to Park S. Nobel*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. pp: 39-55.
- Szarek, S. R. y G. E. Holmesley. 1996. Physiological activity in persistent bulbils of *Agave vilmoriniana* (Agavaceae). *American Journal of Botany* 83(7): 903-909.
- Tello, J. de J. 1988. Análisis gráfico-tabular de dos poblaciones silvestres de maguey mezcalero (*Agave salmiana* Otto ex Salm, ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, especialidad en Botánica. Chapingo, México. 123 pp.
- Trame, A. M., A. J. Coddington y K. N. Paige. 1995. Field and genetic studies testing optimal outcrossing in *Agave schottii*, a long-lived clonal plant. *Oecologia* 104: 93-100.
- Zamora, C., B. I. Juárez, J. R. Aguirre, D. Ortiz, C. I. Godínez y G. Álvarez. 2010. Variación de la concentración de azúcares y saponinas durante la cocción del maguey mezcalero potosino. *e-Gnosis* 8: 1-11.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Género *Agave*

En el año 2003 el género *Agave* se encontraba dentro de la familia Agavaceae (*sensu stricto*) (APG II, 2003; Chase *et al.*, 2009). En 2009 se hizo una reclasificación y la familia desapareció (APG III, 2009; Chase *et al.*, 2009).

Chase *et al.* (2009) ubicaron al género *Agave* en la subfamilia Agavoideae y a la vez en la familia Asparagaceae. Algunos especialistas (García-Mendoza y Chávez-Rendón, 2013) consideran precipitado incluir a la familia Agavaceae como subfamilia de Asparagaceae, pues sólo emplearon entre 5 y 10 % de las 340 especies que conforman esa familia para la reclasificación (García-Mendoza, 2011).

Por lo anterior, en el presente estudio nos referiremos únicamente al género *Agave*.

El género *Agave* se compone de alrededor de 200 especies (García-Mendoza, 2011; Reynoso-Santos *et al.*, 2012). Las especies del género *Agave*; generalmente llamadas “maguey”; se encuentran desde las Antillas, Venezuela y Colombia hasta el sur de Estados Unidos; aunque, en Florida existen dos especies (Martínez-Salvador *et al.*, 2005; Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2007; García-Mendoza, 2011).

El número de especies registradas actualmente en México es de 159, de ellas 119 son endémicas. Las plantas de estas especies pueden crecer en ambientes con vegetación diversa como pastizal, bosque espinoso, bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo; y desde el nivel del mar hasta los 3000 m y en suelos de origen

sedimentario o ígneo (García-Mendoza, 2007; García-Mendoza, 2011). Sin embargo, la diversidad mayor de agaves se encuentra en la altiplanicie mexicana (Reynoso-Santos *et al.*, 2012).

García-Mendoza (2007) indicó que la diversidad de magueyes en México ha sido influenciada por la selección humana porque se encuentran entre las primeras plantas aprovechadas por los pobladores como fuente de fibra y alimento desde hace al menos nueve mil años (Callen, 1967). La diversidad cultural de los magueyes es resultado de su interacción con el *Homo sapiens* quien ha aprovechado la planta íntegra, pues cada una de las estructuras presentes en algún momento del ciclo de vida del maguey tiene uno o más usos, como fuente de fibra, material para construcción, combustible, para elaborar bebidas alcohólicas, uso ceremonial, doméstico, medicinal, ornamental, artesanal, alimenticio, agrícola entre otros (García-Herrera *et al.*, 2010; García-Mendoza, 2011; Reynoso-Santos *et al.*, 2012). Así, México es reconocido como el centro de domesticación y con la diversidad morfológica, filogenética, evolutiva y cultural amplia de los magueyes (García-Mendoza, 2007).

En la actualidad, las hojas, pedúnculo y flores son fuente de alimento para los humanos y otros animales; mientras que, las semillas sólo proporcionan alimento a larvas de insectos, hormigas, aves y roedores (Nobel, 1977; Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2007; Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

2.2. Flores

2.2.1. Rendimiento de flores de maguey

La cantidad de flores en la inflorescencia y el número de inflorescencias están influenciada por factores bióticos y abióticos, como la densidad poblacional (Arenas *et al.*, 2011), el área fotosintética activa, la humedad disponible (Escalante, 1999), la cantidad de asimilados producidos en los órganos fuente (Peil y Gálvez, 2005), los nutrimentos disponibles para la planta y la temperatura (Ortega-Martínez *et al.*, 2010).

En el caso de las plantas de *Agave* spp., la formación de la inflorescencia también depende del tiempo (Gentry, 1972) debido a que la planta debe alcanzar el tamaño y la madurez fisiológica para generarla (Crouch y Smith, 2011), por ejemplo: *Agave americana* var. *oaxacensis* Gentry es una planta de gran tamaño que forma una gran inflorescencia después de 18 a 20 años de crecimiento (Luna *et al.*, 2014) y en *A. lechuguilla* Torr. la reproducción sexual puede ocurrir cuando los individuos alcanzan entre 4 a 20 años de edad (Reyes-Agüero *et al.*, 2000).

La producción alta de flores permite a las plantas atraer una cantidad mayor de polinizadores, aumentar la probabilidad de generar frutos y abortar flores con cantidad menor de óvulos fecundados (Sutherland, 1987).

La producción de flores entre las especies de *Agave* es variable y en general abundante. En el caso de *A. palmeri* Engelm., la producción se ha calculado en 1300 flores por planta (Howell y Roth, 1981); aunque, esa producción puede ser diferente entre inflorescencias de una misma especie:

- Según Arizaga *et al.* (2000a) *A. macroacantha* Zucc. llega a desarrollar en promedio 195.3 ± 23.8 botones florales por inflorescencia y Arizaga y Ezcurra (2002) señalaron una producción de 170 ± 16 botones florales.
- En 14 inflorescencias de *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck, Martínez y Eguiarte (1987) contabilizaron la producción de flores entre 98 y 1 460.
- En *A. mckelveyana* Gentry, Sutherland (1987) indicó la presencia de 20 a 1000 flores por planta.
- De acuerdo con Escobar-Guzmán *et al.* (2008) la inflorescencia de *A. tequilana* F.A.C. Weber produce de 9 450 a 15 232 flores, y *A. americana* entre 6 823 y 9 712 flores.

La cantidad de botones florales, flores y frutos desarrollados por una inflorescencia también puede variar a través del tiempo (Stephenson, 1981). Nobel (1977) observó que en *A. deserti* Engelm. la cantidad de botones florales es mayor al de flores y frutos maduros, porque cada rama produce 77 ± 18 botones florales, de ellos sólo 58 se desarrollan en flor y 18 en fruto maduro.

2.2.2. Importancia de las flores de *Agave* spp. en la alimentación

Estudios basados en el análisis de coprolitos de algunas cavernas en México y suroeste de Texas evidenciaron que las flores de maguey ya se consumían hace 9000 años (Bryant, 1974; Reinhard y Bryant, 1992). Probablemente, se trata de botones florales (Callen, 1967), pues trabajos etnobotánicos han documentado la preferencia de los consumidores por estas estructuras de *A. kerchovei* Lem., *A. potatorum* Zucc. y

A. triangularis Jacobi, en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, por su sabor agradable con respecto a las flores en antesis (García-Valenzuela, 2011; Brena-Bustamante *et al.*, 2013; Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

En el estado de Hidalgo los pobladores también consumen únicamente los botones florales, de *A. salmiana*, después de hervirlos (Castelló y Piña, 1986). En el Valle de México, consumen sólo los tépalos hervidos de *A. mapisaga* Trel. y *A. salmiana* (Aguilar *et al.*, 2014). En San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México además de consumirlos como en el Valle de México, también los preparan capeados con huevo.

Además, en diferentes regiones del país, el ganado también se alimenta con flores de maguey en época de sequía (Mellado *et al.*, 2008; Fuentes *et al.*, 2015).

2.2.3. Composición química de la flor de *Agave* spp.

Una ración, de 60 g, de flores de maguey puede aportar 4 g de hidratos de carbono o extracto libre de nitrógeno, 2 g de proteínas, y 25 kcal, sin aporte de grasa (Secretaría de Salud, 2010). Sin embargo, existe heterogeneidad en la composición (agua, carbohidratos, cenizas, lípidos y proteínas) de las flores de *A. atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck, *A. salmiana*, *A. scabra* Ortega y botones florales de *A. americana* L. (Cravioto *et al.*, 1951; Sotelo y López-García, 2007; Mellado *et al.*, 2008; y Semuli, 2014) es evidente (Cuadro 2.1).

Mellado *et al.* (2008) documentaron el consumo de las flores de *A. scabra* con alfalfa como forraje para cabras. Las flores de maguey (*Agave* spp.) consumidas por

las cabras, en el norte del país, tienen más materia seca y proteína que los nopales de *Opuntia streptacantha* Lem. (Fuentes *et al.*, 2015).

Cuadro 2.1. Análisis químico parcial de flores de *Agave atrovirens* (Cravioto *et al.*, 1951), *A. salmiana* (Sotelo y López-García, 2007), *A. scabra* (Mellado *et al.*, 2008) y *A. americana* (Semuli, 2014).

Contenido (%)	<i>A.</i> <i>atrovirens</i>	<i>A. salmiana</i>	<i>A. scabra</i>	<i>A. americana</i>
Humedad	91*	87.4**	-	86.62****
Materia seca	-	-	86.5***	-
Extracto etéreo	-	2.8	2.1	0.46
Proteína cruda	0.94	16.4	11.5	1.71
Proteína verdadera	-	15.1	-	-
Cenizas	0.6	5.8	9.8	-
Extracto libre de nitrógeno	-	62.1	50.0	-
Fibra cruda (FC)	-	12.7	26.6	-
Fibra detergente ácido	-	-	49.3	2.21
Fibra detergente neutro	-	-	61.2	-

* Muestra seca usada para evaluar humedad. ** Muestra fresca usada para cuantificar humedad a temperatura ambiente. *** Muestra seca empleada para determinar materia seca a 105°C por 24 h. **** Muestra fresca secada a 102°C por 18 h.

La composición química de las flores de *A. salmiana* es similar a algunas flores y hojas consumidas por los humanos en África; pero, contienen saponinas y poca lisina, lo que la ubica como aminoácido limitado (Sotelo y López-García, 2007).

De acuerdo con Semuli (2014), los botones florales de *A. americana* tienen una cantidad mayor de grasa y un contenido bajo de proteína, de algunos elementos minerales (K, Na, P, Mn y Cu) y vitamina C en comparación con otras verduras (alcachofas y coliflor), y no contienen vitamina A.

La cantidad de agua, lípidos, proteínas, cenizas y fibra de los botones florales de maguey es menor que la de sus otras estructuras (Semuli, 2014), La diferencia en otros compuestos entre las estructuras de la flor (pedúnculo, tépalos, gineceo y androceo) también se ha documentado; por ejemplo, la flor de *A. durangensis* Gentry es rica en flavonoides y, particularmente, los tépalos poseen capacidad antioxidante mayor que las anteras-polen y flor (Barriada-Bernal *et al.*, 2014).

2.3. Semilla

2.3.1. Rendimiento de semillas de *Agave* spp.

Las semillas son el medio de propagación sexual de los magueyes. Estas son negras brillantes, planas con un ala corta en su porción convexa y con forma lunulares, lacrimiformes o triangulares (Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2007; García-Mendoza, 2011). En claves taxonómicas se documenta heterogeneidad en el tamaño de las semillas para una misma especie de *Agave*. Al respecto, Gentry (1982) indicó que la semilla de *A. salmiana* mide de 8 a 9 mm de longitud por 6 a 7 de

anchura, y Rzedowski y Rzedowski (2005) indicaron dimensiones similares en las semillas de la misma especie en el Valle de México, longitud de 8 a 9 mm y anchura de 5 a 7 mm. En el Valle de Tehuacán, las semillas de esta especie presentaron entre 7.0 y 9.0 mm de longitud y 5.0 a 7.0 mm de anchura de acuerdo con García-Mendoza (2011). Vázquez *et al.* (2011) documentaron que la longitud y anchura de semillas de *A. salmiana* de las variantes Blanco, Liso y Chino de San Luis Potosí, México, fue homogéneo y varió entre 7.1 y 8.4 mm y 5.4 y 6.5 mm.

Las plantas del género *Agave* producen gran cantidad de semillas con respecto a otras estructuras de propagación asexual (García-Mendoza, 2007). Reyes (2013) observó en *Agave* sp. una producción de más de 3 000 semillas por inflorescencia. Nobel (1998) señaló que una inflorescencia de *A. deserti* Engelm. puede producir hasta 65 000 mil semillas y Lorenzo (2012) indicó que las infrutescencias de *A. salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry puede producir de 28 084 a 80 504 semillas (Cuadro 2.2).

Los magueyes presentan variación intra- e inter-específica amplia en el número de semillas (Cuadro 2.2).

Algunos investigadores (Schaffer y Schaffer, 1979; Stephenson, 1981; Sutherland, 1987; Ehrlén, 1991; Arizaga y Ezcurra, 2002) consideran que la producción de semillas viables o fértiles en maguey puede estar influenciada por la cantidad, selectividad y eficiencia de los polinizadores. Además, por el número de flores, la proporción de flores y frutos inmaduros abortados, la cantidad, la disponibilidad y el uso eficiente de los nutrientes, así mismo por la compensación (tradeoff) entre la reproducción sexual y el crecimiento vegetativo, la herbivoría en

hojas, flores, frutos y semillas, depredación de flores, frutos y semillas y la temperatura ambiente, entre otros.

La producción baja de semillas en algunas infrutescencias de *A. macrocantha* se debió a la herbivoría, principalmente por chivos, a la velocidad del viento y a la polinización limitada (la polinización por murciélagos va en decadencia con el tiempo) (Arizaga y Ezcurra, 2002).

Aunque las plantas de maguey producen gran cantidad de semillas (Cuadro 2.2) su reproducción es principalmente vegetativa, las semillas que germinan *in situ* son escasas, y el establecimiento y desarrollo de las plántulas es menor. En relación con esto, Nobel (1977) calculó que de 1 200 000 semillas de *A. deserti* solo una llega a desarrollar una planta madura en el desierto de Sonora.

2.3.2. Importancia de las semillas de *Agave* spp. en la alimentación

Las semillas de *Agave* sp. se encontraron en algunos coprolitos humanos del Valle de Tehuacán (Callen, 1967; Smith, 1967). Semuli (2014) considera que fueron usadas con semillas de otras especies para elaborar algún producto parecido al pan.

Actualmente, las semillas de *Agave* sp. son consumidas indirectamente por las personas que consumen los frutos (García-Herrera *et al.*, 2010), y por los animales que ramonean las inflorescencias de maguey y por otros organismos como insectos.

Cuadro 2.2. Producción de semillas por infrutescencia o cápsula de *Agave* spp.

Especie	Escapo		Cápsula		Fuente
	Semillas fértiles (Número)	Semillas vanas (Número)	Semillas fértiles (Número)	Semillas vanas (Número)	
<i>A. sp.</i>	126 756	-	126	-	Rocha <i>et al.</i> (2005)
<i>A. americana</i> L.	16 744 – 37 128	-	36.70 ± 1.05 (78)*	-	Escobar-Guzmán <i>et al.</i> (2008)
<i>A. angustifolia</i> Haw.	777-13 726	-	117.3 ± 66.1 (18)* a 195.5 ± 71.7 (20)*	-	Molina-Freaner y Eguiarte (2003)
	-	-	104-131	119-168	Colunga-GarcíaMarín <i>et al.</i> (1996)
	-	-	74-155	140-195	Colunga-GarcíaMarín y May-Pat (1997)
<i>A. celsii</i> var. <i>albicans</i> (Jacobi) Gentry	2 499	-	49	-	Rocha <i>et al.</i> (2005)
<i>A. chrysoglossa</i> I.M. Johnst.	500 000 – 750 000	-	-	-	Gentry (1972)
<i>A. deserti</i> Engelm	65 000	-	216	-	Nobel (1977)
<i>A. difformis</i> A. Berger	23 100	-	66	-	Rocha <i>et al.</i> (2005)
<i>A. fourcroydes</i> Lem.	-	-	21-29	220-281	Colunga-GarcíaMarín <i>et al.</i> (1996)
<i>A. horrida</i> Lem. ex Jacobi	42 000	-	91	-	Eguiarte <i>et al.</i> (2000)
<i>A. macroacantha</i> Zucc.	2 064	-	-	-	Arizaga <i>et al.</i> (2000a)
	-	-	155 ± 13.3**	98.68	Arizaga <i>et al.</i> (2000b)
	-	-	140.46 ± 3.47 (24)*	102.97	Arizaga <i>et al.</i> (2000b)
	2 800	-	117	-	Arizaga <i>et al.</i> (2000b)
	2 808	1 887.65	117 ± 4**	78.65	Arizaga y Ezcurra (2002)
<i>A. mckelveyana</i> Gentry	33.48 ± 5.05 (40)***	-	-	-	Sutherland (1987)
<i>A. palmeri</i> Engelm.	38 000 – 780 000	-	6.6 semillas maduras / 30 mm de lóculo – 43 semillas maduras / 30 mm de lóculo	-	Howell y Roth (1981)
<i>A. tequilana</i> F.A.C. Weber	52 241 - 58 838	-	26.10 ± 0.21 (53)*	-	Escobar-Guzmán <i>et al.</i> (2008)
<i>A. salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i> (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry	9 753 - 51 378	18 330 - 29 126	100 - 115	187 – 237	Lorenzo (2012)
<i>A. striata</i> Zucc.	7 696	-	37	-	Rocha <i>et al.</i> (2005)
<i>A. subsimplex</i> Trel.	5 498	-	149.4 ± 39.4**	-	Molina-Freaner y Eguiarte (2003)
<i>A. vilmoriniana</i> A. Berger	100 000	-	90	-	Szarek y Holmesley (1996)
<i>A. xylonacantha</i> Salm-Dyck	73 788	-	129	-	Rocha <i>et al.</i> (2005)

* Promedio ± error estándar (número de datos); ** Promedio ± error estándar; *** Número de semillas por lóculo (Promedio ± error estándar).

2.4. Plántulas de maguey

La producción de plántulas de maguey mediante semilla es conocida como reproducción sexual. Este proceso involucra necesariamente la formación en secuencia fenológica de flores, frutos y semillas. En las plantas de maguey la formación y desarrollo de estas estructuras son costosas pues se producen en el escapo floral sólo una vez durante su ciclo de vida y después la planta muere, por esta característica las plantas de maguey son denominadas monocárpicas (Nobel, 1998; Eguiarte *et al.*, 2000 y García-Mendoza, 2007).

Actualmente, el estudio de las plántulas de maguey se enfoca al conocimiento de los procesos fisiológicos y bioquímicos que le permiten sobrevivir y tolerar ambientes diversos (Peña-Valdivia y Sánchez-Urdaneta, 2009; Vázquez *et al.*, 2011; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2011; Campos *et al.*, 2014 y 2015).

El establecimiento de plántulas de maguey *in situ* depende de las condiciones ambientales, ya que la sobrevivencia de las plántulas se da en periodos lluviosos favorables (Nobel, 1977) y cuando se establece debajo de una planta nodriza o en grietas del terreno que la protejan de la irradiación solar y deshidratación. Además, el vigor de las plántulas y su capacidad para establecerse y originar una planta joven o adulta, varios años después, también depende de los recursos y reservas de la semilla, de la calidad de la plántula, herbivoría, entre otros factores (Jordan y Nobel, 1979; Howell y Roth, 1981; Stephenson, 1981; Raphael y Nobel, 1986; Arizaga y Ezcurra, 2002).

2.5. Metabolismo fotosintético de los magueyes

Los magueyes son plantas perennes con hojas suculentas en un arreglo que forma una roseta en el ápice de un tallo (García-Mendoza, 2007), sus hojas presentan la ruta metabólica ácida de las crasuláceas (MAC), que se destaca por la fluctuación de la acidez de sus tejidos dependiente de la hora del día, con los valores mayores durante la noche y al amanecer.

En general, estas plantas presentan ciertas características morfológicas, como hojas suculentas y cutícula gruesa, que les permite almacenar agua en sus tejidos, lo que, a la vez, les han permitido colonizar exitosamente los ambientes secos (Andrade y Nobel, 1997); pero también crecen en climas cálidos y templados, húmedos (García-Mendoza, 2002). El cierre diurno de los estomas les permite disminuir la transpiración cuando las temperaturas ambientales son altas (Gibson y Nobel, 1986). Los magueyes, por ser plantas suculentas, están adaptados a los ambientes áridos y pueden mantener algunas funciones fisiológicas, como la asimilación de CO₂, al utilizar el agua almacenada en sus tejidos (Nobel, 2006; Pimienta-Barrios *et al.*, 2006) por ciertos periodos cuando la disponibilidad de agua es baja y prolongada. Pero cuando esas condiciones se extienden, la fijación neta de C disminuye o se inhibe, junto con la acumulación de ácidos orgánicos, la captura y utilización de la energía luminosa, y en consecuencia el crecimiento se inhibe (Azcón-Bieto y Talón, 2006).

2.6. Literatura citada

Aguilar, B., J. Enriquez, G. Rodriguez-Ortiz, D. Granados y B. Martínez. 2014. El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(2): 106-120.

- Andrade, J.L. y P.S. Nobel. 1997. Microhabitats and water relations of epiphytic cacti and ferns in a lowland neotropical forest. *Biotropica* 29:261-270.
- APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering Plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 105-121.
- Arenas, Y. R., R. Delgado-Martínez, E. J. Morales-Rosales, A. Laguna-Cerda, O. Franco-Mora y E. Urbina. 2011. Rendimiento de raíces tuberosas de *Dahlia variabilis* Wild (Desf.) bajo diferentes prácticas de manejo agronómico. *Phyton (Buenos Aires)* 80: 107-112.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 2002. Propagation mechanisms in *Agave macrocantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *American Journal of Botany* 89(4): 632-641.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000a. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. II. The role of pollinators. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000b. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. I. Floral Biology and pollination mechanisms. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Azcón-Bieto, J., y M. Talón. 2006. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2ª ed. Mc Graw Hillana-Interameric. Madrid.
- Barriada-Bernal, L. G., N. Almaraz-Abarca, E. A. Delgado-Alvarado, T. Gallardo-Velázquez, J. A. Ávila-Reyes, M. I. Torres-Morán, M. del S. González-Elizondo y Y. Herrera-Arrieta. 2014. Flavonoid composition and antioxidant capacity of the edible flowers of *Agave durangensis* (Agavaceae), *CyTA - Journal of Food*, 12: 105-114.
- Brena-Bustamante, P., R. Lira-Saade, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares, H. Cervantes-Maya, M. López-Carrera y S. Chávez-Herrera. 2013. Aprovechamiento del escapo y los botones florales de *Agave kerchovei* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Botanical Sciences* 91: 181-186.
- Bryant, V. M. 1974. Prehistoric Diet in Southwest Texas: The Coprolite Evidence. *American Antiquity* 39: 407-420.

- Callen, E. O. 1967. Analysis of the Tehuacan Coprolites. *In*: Byers, D. S. (edited). 1967. The prehistory of the Tehuacan Valley. Vol. I. Environment and Subsistence. University of Texas Press. Austin & London. pp. 261-289.
- Campos, H., C. Trejo, C. B. Peña-Valdivia, R. García-Nava, F. V. Conde-Martínez, y M. R. Cruz-Ortega. 2014. Photosynthetic acclimation to drought stress in *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck seedlings is largely dependent on thermal dissipation and enhanced electron flux to photosystem I. *Photosynthesis Research* 122(1): 23-39.
- Campos, H., C. Trejo, C. B. Peña-Valdivia, R. García-Nava, F. V. Conde-Martínez, y M. del R. Cruz-Ortega. 2015. Water availability and its effect on germination, membrane stability and initial root growth of *Agave lechuguilla* and *Agave salmiana* (Agavaceae). En proceso de publicación.
- Castelló, T. e I. Piña. 1986. Presencia de la comida prehispánica. Fomento cultural Banamex. México. pág. 89.
- Chase, M. W., J. L. Reveal y M. F. Fay. 2009. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 132-136.
- Colunga-GarcíaMarín, P. y F. May-Pat. 1997. Morphological variation of henequen (*Agave fourcroydes*, Agavaceae) germplasm and its wild ancestor (*A. angustifolia*) under uniform growth conditions: diversity and domestication. *American Journal of Botany* 84(11): 1449-1465.
- Colunga-GarcíaMarín, P., E. Estrada-Loera y F. May-Pat. 1996. Patterns of morphological variation, diversity and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatan, México. *American Journal of Botany* 83(8): 1069-1082.
- Cravioto, R. O., G. Massieu, J. Guzman y J. Calvo. 1951. Composición de alimentos mexicanos. *CIENCIA Revista hispano-americana de ciencias puras y aplicadas* 11(5-6): 129-155.
- Crouch, N. R. y G. F. Smith. 2011. AGAVACEAE, *Furcraea foetida*: an invading alien in South Africa. *Bothalia* 41 (1): 196-199.
- Delgado-Lemus, A., A. Casas y O. Téllez. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10: 1-12.

- Eguiarte, L. E., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66: 131-150.
- Ehrlén, J. 1991. Why do plants produce surplus flowers? A reserve-ovary model. *The American Naturalist* 138(4): 918-933.
- Escalante, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 17(2): 149-157.
- Escobar-Guzmán, R. E., F. Zamudio, K. Gil y J. Simpson. 2008. Seed production and gametophyte formation in *Agave tequilana* and *Agave americana*. *Botany* 86: 1343-1353.
- Fuentes, J.M., E. de la Rosa, A.V. Charles, F. Ruiz-Zarate, M.E. Murillo, J.I. Aguilera. 2015. Nutrient evaluation and in vitro digestibility of prickly pear cactus (*Opuntia streptacantha*) and agave flowers (*Agave* spp.) using cellulase for goats. *Acta Horticulturae* 1067: 205-207.
- García-Herrera, E. J., S. de J. Méndez-Gallegos y D. Talavera-Magaña. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Ed. Especial 5: 109-129.
- García-Mendoza, A. J. 2002. Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico. *Cactus and Succulent Journal* 74: 177-187.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *CIENCIAS* 87: 15-23.
- García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Agavaceae. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 95 p.
- García-Mendoza, A. J. y C. Chávez-Rendón. 2013. *Agave kavandivi* (Agavaceae: group *Striatae*), una especie nueva de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 1070-1076.
- García-Valenzuela, M. A. 2011. Etnoecología de los agaves (Agavaceae) en la comunidad Ngiwa (Popoloca) de los Reyes Metzontla, Puebla, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. p. 96.
- Gentry, H. S. 1972. The agave family in Sonora. Agriculture handbook No. 399. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. United States. 195 p.

- Gentry, H. S. 1982. Agaves of continental North America. The University of Arizona Press. U.S.A. p. 605.
- Gibson, A. C. y P. S. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard University Press- Mass. 286 p.
- Howell, D. J. y B. S. Roth. 1981. Sexual reproduction in agaves: the benefits of bats; the cost of semelparous advertising. *Ecology* 62(1): 1-7.
- Jordan, P. W. y P. S. Nobel. 1979. Infrequent establishment of seedlings of *Agave deserti* (Agavaceae) in the Northwestern Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 66(9): 1079-1084.
- Lorenzo, J. 2012. Éxito reproductivo y demografía de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en San José Alchichica, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 35 p.
- Luna, M. E. M., J. R. Enríquez, V. A. Velasco, Y. Villegas y J. C. Carrillo. 2014. Concentración de benciladenina, tipo y dosis de carbohidratos en el medio de cultivo para proliferación de brotes de *Agave americana*. *Rev. FCA UNCUYO* 46(1): 97-107.
- Martinez, C. y L. E. Eguiarte. 1987. Bird visitation to *Agave salmiana*: comparisons among hummingbirds y perching birds. *The Condor* 89: 357-363.
- Martínez-Salvador, M., R. Valdez-Cepeda, H. R. Arias, L. F. Beltrán-Morales, B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéquez y A. Ortega-Rubio. 2005. Distribution and density of maguey plants in the arid Zacatecas Plateau, Mexico. *Journal of Arid Environments* 61: 525-534.
- Mellado, M., J. E. García y W. Pittroff. 2008. Rough Agave flowers as a potential feed resource for growing goats. *Rangeland Ecology & Management* 61:000 000.
- Molina-Freaner, F. y L. E. Eguiarte. 2003. The pollination biology of two paniculate agaves (Agavaceae) from Northwestern Mexico: contrasting roles of bats as pollinators. *American Journal of Botany* 90(7): 1016-1024.
- Nobel, P. S. 1977. Water relations of flowering of *Agave deserti*. *Botanical Gazette* 138: 1-6.
- Nobel, P. S. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Traducido por García-Moya, E. Trillas. México. 211 p.
- Nobel P.S. 2006. Parenchyma-chlorenchyma water movement during drought for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Annals of Botany* 97: 469-474.

- Ortega-Martínez, L. D., J. Sánchez-Olarte, J. Ocampo-Mendoza, E. Sandoval-Castro, B. A. Salcido-Ramos y F. Manzo-Ramos. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6(3): 339-346.
- Peil, R. M. y J. L. Gálvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileña de Agrociencia* 11: 5-11.
- Peña-Valdivia, C. B., y A. B. Sánchez-Urdaneta. 2009. Effects of substrate water potential in root growth of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck seedlings. *Biological Research* 42(2): 239-248.
- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández J. y García-Galindo J. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40:699-709.
- Raphael, D. O. y P. S. Nobel. 1986. Growth and survivorship of ramets and seedlings of *Agave deserti*: influences of parent-ramet connections. *Botanical Gazette* 147:78-83.
- Reinhard, K. J. y Bryant, V. M. 1992. "Coprolite Analysis: A Biological Perspective on Archaeology". *Papers in Natural Resources* 46: 245-288.
- Reyes S., J. 2013. Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas. Comisión Nacional Forestal. 110 p. www.conafor.gob.mx. Consultado octubre 2013.
- Reyes-Agüero, J. A., J. R. Aguirre-Rivera y C. B. Peña-Valdivia. 2000. Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Bol. Soc. Bot. México* 67:75-88.
- Reynoso-Santos, R., García-Mendoza, A. J., López-Báez, W., López-Luna, A., Cadena Iñiguez, P., Pérez-Farrera, M. A. y M. H. Domínguez Gutiérrez. 2012. Identificación taxonómica de agaves (*Agave* spp.) utilizados para la elaboración de licor comiteco en Chiapas, México. *Agroproductividad* 5(4): 9-17.
- Rocha, M., A. Valera y L. E. Eguiarte. 2005. Reproductive ecology of five sympatric *Agave littaea* (Agavaceae) species in central Mexico. *American Journal of Botany* 92(8): 1330-1341.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), México. pp. 1243, 1246 y 1322.
- Sánchez-Urdaneta, A. B., I. Ortega, I. Cano, A. González, C. B. Peña-Valdivia, G. Rivero, G. Sthormes, y D. Pacheco. 2011. Efecto de la escarificación de la

- semilla y del sustrato sobre el crecimiento de plántulas de *Agave salmiana*. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 28 Supl. 1: 40-50.
- Schaffer, W. M. y M. V. Shaffer. 1979. The adaptive significance of variations in reproductive habit in the Agavaceae II: pollinator foraging behavior and selection for increased reproductive expenditure. *Ecology* 60 (5): 1051-1069.
- Secretaría de Salud. 2010. Guía de alimentos para la población mexicana. México. p. 27.
- Semuli, M. 2014. Nutritional composition, descriptive sensory analysis and consumer acceptability of products developed from *Agave americana* flowers. Thesis for the degree of Master of Science. University of the Free State Bloemfontein, South Africa. 151 p.
- Smith, C. E. 1967. Plant remains. *In*: Byers, D. S. (edited). 1967. The prehistory of the Tehuacan Valley. Vol. I. Environment and Subsistence. University of Texas Press. Austin & London. pp. 220- 289.
- Sotelo, A. y S. López-García. 2007. Content of nutrient and antinutrient in edible flowers of wild plants in Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition* 62:133-138.
- Stephenson, A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecologic Systems* 12:253-279.
- Sutherland, S. 1987. Why hermaphroditic plants produce many more flowers than fruits: experimental tests with *Agave mckelveyana*. *Evolution* 41(4): 750-759.
- Szarek, S. R. y G. E. Holmesley. 1996. Physiological activity in persistent bulbils of *Agave vilmoriniana* (Agavaceae). *American Journal of Botany* 83(7): 903-909.
- Vázquez D. E, J. R. García N., C. B. Pena-Valdivia, H. M. Ramírez T., V. Morales R. 2011. Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3): 167-173.

CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA Y NÚMERO DE ESTRUCTURAS EN INFLORESCENCIAS DE *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck Y *A. mapisaga* Trel.

3.1. Resumen

Agave es un género endémico de América compuesto por 200 especies. Las especies registradas en México son 159 y de ellas 119 son endémicas. Los humanos aprovechan completa la planta de maguey; las hojas, pedúnculo y flores son fuente de alimento y forraje, además tienen otros usos como material de construcción. El objetivo del presente estudio fue describir la distribución de la biomasa y el número de estructuras en las inflorescencias de dos plantas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck y una de *A. mapisaga* Trel. La hipótesis fue que existe una relación directa entre el tamaño del escapo floral y el de la planta. El estudio se desarrolló con un diseño completamente al azar con una planta como unidad experimental. Dos plantas de *A. salmiana* y una de *A. mapisaga* en etapa de floración se identificaron en el cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. Las variables evaluadas de la planta fueron: diámetro de la roseta, número de hojas, longitud y anchura de hojas maduras, y altura del escapo; y de las inflorescencias: número de botones y flores, longitud del escapo de primer orden, de los pedicelos, de los tépalos y del ovario; circunferencia del pedicelo, del receptáculo y del ovario; y biomasa fresca y seca de las estructuras mencionadas. Las plantas de *A. salmiana* se identificaron como planta 1 y 2, aunque sus dimensiones fueron similares, la planta 2 pareció menos voluminosa, tuvieron diámetro de roseta de 3.30 y 3.74 m, 32 y 38 hojas, y

longitud promedio y anchura de 1.32 y 1.39 m y 30.7 y 31.2 cm. La altura de ambos escapos también fue similar (7.2 y 7.72 m) y tuvieron 23 y 26 umbelas cada uno. Las plantas de *A. salmiana* tuvieron una producción total de botones florales más flores y frutos inmaduros de 3 315 y 4 438. La roseta de la planta de *A. mapisaga* tuvo 4.96 m de diámetro y 39 hojas, que en promedio tenían 2.30 m de longitud y 33 cm de anchura; su escapo tenía 7.68 m de altura. Las inflorescencia de *A. mapisaga* presentó 31 umbelas, y la sumatoria total de botones florales más flores y frutos inmaduros fue de 7452. Existió relación significativa ($p \leq 0.05$) directa entre el diámetro de la roseta con la producción de flores, frutos inmaduros y la sumatoria total de botones florales más flores y frutos inmaduros por inflorescencia en ambas especies. La distribución de flores y frutos inmaduros es irregular entre las umbelas y a lo largo de la sección apical de la inflorescencia; en las primeras umbelas, en la base de la sección apical, se producen cantidades menores de flores y frutos inmaduros que en las ubicadas en la zona central de la sección apical de las inflorescencias de ambas especies.

Palabras clave: *Agave*, biomasa seca, inflorescencia, maguey, botones florales.

3.2. Abstract

Agave is a genus composed of 200 species and endemic in America. The species recorded in Mexico are 159 and of which 119 are endemic. Humans take advantage of complete maguey plant; leaves, stalks and flowers are a source of food and forage,

also have other uses with building material. The objective of the present study was to describe the distribution of biomass and number of structures in the inflorescences of two plants of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck and one of *A. mapisaga* Trel. The hypothesis was that there is a direct relationship between the size of floral scape and plant size. The study was developing with a completely randomized design with a plant as experimental unit. Two plants of *A. salmiana* and one of *A. mapisaga* in flowering stage were identified in the hill Tepari, San Jose del Tunal, Atlacomulco, Estado de Mexico. The evaluated variables of the plant were: diameter, number of leaves, length and width of mature leaves, and height of floral stalk; and inflorescences: number of buttons and flowers, length of the first order stalk, pedicels, tepals and ovary; diameter of the pedicel, receptacle and ovary; and fresh and dry biomass of all these structures. Plants of *A. salmiana* were named plant 1 and 2, though its dimensions were similar, plant 2 seemed less bulky; they had diameter of rosette of 3.30 and 3.74 m, 32 and 38 leaves, and mean length and width of 1.32 and 1.39 m and 30.7 and 31.2 cm. The height of both stalks (7.2 and 7.72 m) was similar and had 23 and 26 umbels each. Plants of *A. salmiana* had a total production of flower buds more flowers and immature fruits of 3315 and 4438. The rosette of *A. mapisaga* plant had 4.96 m diameter and 39 leaves, which on average were 2.30 m in length and 33 cm wide; its stalk was 7.68 m high. The inflorescence of *A. mapisaga* presented 31 umbels, and total summation of flower buds more flowers and immature fruits of 7452. There was a direct significant relationship ($p \leq 0.05$) between the rosette diameter with production flowers, immature fruits and total summation of flower buds more flowers and immature fruits per inflorescence in both species. The flowers and immature fruits distribution is uneven

between the umbels and along the apical section of the inflorescence; first umbels, at the basis of the apical section, produces smaller quantities of flowers and immature fruits than those located in the central area the apical section of the inflorescence, in both species.

Keywords: *Agave*, dry biomass, floral stalk, maguey, flower buds.

3.3. Introducción

Las 340 especies que conforman a la familia *Agavaceae* se distribuyen en América y se clasifican en nueve géneros, entre ellos el más diverso es *Agave*, con 200 especies (García-Mendoza, 2011; Reynoso-Santos *et al.*, 2012).

Las especies del género *Agave*, denominadas maguey, se distribuyen desde las Antillas, Venezuela y Colombia hasta el sur de Estados Unidos; pero, en Florida existen dos especies (Martínez-Salvador *et al.*, 2005; Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2007; García-Mendoza, 2011).

En México se han registrado 159 especies de *Agave*, y de ellas 119 se han reconocido como endémicas. Ellas pueden crecer en tipos de vegetación diferentes, como pastizal, bosque espinoso, bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo, en una amplitud de altitudes, desde el nivel del mar hasta los 3000 m y en suelos de origen sedimentario o ígneo (García-Mendoza, 2007; García-Mendoza, 2011). Pero, la diversidad mayor de magueyes se encuentra en la meseta central mexicana o altiplanicie mexicana (Reynoso-Santos *et al.*, 2012).

García-Mendoza (2007) indicó que la diversidad de magueyes en México fue influenciada por la selección humana porque se encuentran entre las primeras plantas aprovechadas por los pobladores como fuente de fibras y alimento desde al menos nueve mil años (Callen, 1967). En la época precolombina en Mesoamérica los magueyes se utilizaban para producir aguamiel, pulque, textiles, ropa, sandalias, sustituto de azúcar, jarabe, vinagre de aguamiel, leña y materiales para construcción (Fournier, 2007). Vela (2014) documentó 77 usos diferentes de las plantas de maguey. Así, México es el centro de domesticación y con la diversidad morfológica, filogenética, evolutiva y cultural mayor de los magueyes (García-Mendoza, 2011). Además, actualmente su valor se reconoce en los ecosistemas a los que pertenecen; ya que, permiten conservar la biodiversidad de especies pues proporcionan recursos abundantes durante su desarrollo y hasta la madurez fisiológica (Rocha *et al.*, 2006). Un ejemplo es *A. salmiana* que durante su floración la visitan por lo menos 39 especies de aves (Gómez-Aiza y Zuria, 2010).

La morfología y fisiología del maguey le permite alcanzar la madurez fisiológica en condiciones que son extremas, como humedad disponible escasa y temperaturas ambientales extremas, para la mayoría de las especies. Algunas de sus características son cutícula gruesa (0.004 - 0.093 cm) en sus hojas (Mora-López *et al.*, 2011), hojas con arreglo en espiral con ángulo de inclinación diferente en la misma roseta (Granados, 1993), algunos tejidos suculentos que le permite almacenar agua en órganos diferentes y metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) (Granados, 1993; Ramírez-Tobías *et al.*, 2014).

Los años que las plantas de maguey invierten en alcanzar la madurez fisiológica depende de las condiciones ambientales y agroecológicas y de la especie (García-Herrera *et al.*, 2010). De acuerdo con Gentry (1982) ellas requieren de 8 a 20 años para alcanzar el tamaño, la madurez fisiológica necesarios para la producción de la inflorescencia (Crouch y Smith, 2011). En oposición a lo señalado por Gentry (1982), García-Mendoza (2007) indicó que las especies pequeñas de maguey invierten en ese proceso de 4 a 5 años y las grandes de 10 a 25 años. Las especies semidomesticadas y domesticadas, como *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck y *A. mapisaga* Trel. (Mora-López *et al.*, 2011), en condiciones de cultivo, necesitan de 8 a 10 años para alcanzar la madurez (Granados, 1993; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013). Algunas especies silvestres, como *Agave macroacantha* Zucc., pueden requerir mayor tiempo para madurar, de acuerdo con Eguiarte *et al.* (2000), 34 años. Por esto, los estudios relacionados con el crecimiento y su relación con los componentes del rendimiento son notablemente escasos.

Las rosetas de *A. salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry, en estratos con densidad moderada (892 rosetas por hectárea) y alta (3 125 número de individuos por hectárea), con la madurez cuadruplicaron la anchura y diámetro de la corona y triplicaron el diámetro basal de las rosetas juveniles (17 a 23 cm de anchura, 20 a 25 cm de diámetro de la corona y 14 a 16 cm de diámetro basal) (Martínez *et al.*, 2005). Las rosetas de *A. salmiana* y *A. mapisaga* en Tequesquihuac, México, incrementaron su biomasa, número de hojas, peso de tallo y raíz, entre otros atributos, junto con su altura. El crecimiento de los magueyes durante los años que requieren para alcanzar la madurez, es resultado de la incorporación nocturna de CO₂ por sus

tejidos fotosintéticos. Las plantas de *A. salmiana* y *A. mapisaga* pueden producir en promedio 40 ton de biomasa seca $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ al incorporar el CO_2 en la noche (García-Moya *et al.*, 2011).

Los recursos producidos y almacenados en la base de la roseta de maguey, a través de los años de crecimiento y desarrollo, son empleados para la producción de una inflorescencia (Gentry, 1982; Arizaga y Ezcurra, 1995; García-Mendoza, 2007). El escape de la inflorescencia pueden alcanzar una altura de 2.5 m o más (García-Mendoza, 2011) y desarrollar semillas, bulbilos o ambos dependiendo de la especie (Gentry, 1982; García-Mendoza, 2007).

Después de la dispersión de las semillas la planta muere (Gentry, 1982; Arizaga y Ezcurra, 1995; García-Mendoza, 2007). Así, los magueyes florecen sólo una vez en su ciclo de vida, por lo que se les conoce como plantas semélparas o monocárpicas (Eguiarte *et al.*, 2000).

Nobel (1977) observó que al desarrollarse la inflorescencia en plantas de *A. deserti* Engelm. las hojas en la roseta (68 en total) perdieron 1.84 kg de su biomasa seca, mientras que la inflorescencia ganó 1.25 kg de biomasa seca; esta ganancia es equivalente a la producción fotosintética anual del maguey. En este proceso, las inflorescencias de *A. deserti* desarrollaron 77 botones florales en cada rama lateral. Pero, como podría esperarse el número de estructuras reproductivas varía ampliamente entre las especies y entre las plantas. Martínez y Eguiarte (1987) cuantificaron entre 98 y 1 460 flores en 14 inflorescencia de *A. salmiana*.

El valor de las plantas de maguey para los humanos, contrasta con las tasas de crecimiento menores en estas plantas respecto a las herbáceas anuales y a pesar de

la riqueza de los magueyes y su valor antropocéntrico, prácticamente de toda la planta, las evaluaciones del rendimiento y sus componentes son notablemente escasas.

El objetivo del presente estudio fue describir la distribución de la biomasa y el número de estructuras en las inflorescencias de dos plantas de *A. salmiana* y una de *A. mapisaga*. La hipótesis fue que existe una relación directa entre el tamaño de la inflorescencia y el de la planta.

3.4. Materiales y métodos

3.4.1 Sitio de recolecta

El sitio de recolecta de las plantas de ambas especies fue el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México (19° 43' y 19° 55' LN; 99° 42' y 99° 59' LO), entre 2400 y 3900 m de altitud y clima Cb(w1)(w)(i')g (García, 1987; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2009) (Cuadro 3.1).

3.4.2 Material vegetal

Las plantas de maguey para el estudio fueron cotejadas con el apoyo del Dr. Abisaí García, especialista en magueyes del país, del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los ejemplares correspondientes fueron depositados en el Herbario-Hortorio CHAPA del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.

Entre el 22 de enero y 24 de febrero de 2014 se identificaron 16 plantas de *A. salmiana* y dos de *A. mapisaga*, en etapa de prefloración (Figura 3.1 y 3.2). En las plantas se evaluó: diámetro de la roseta, número de hojas en la roseta, longitud y anchura de hojas maduras (base, zona angosta y parte media), longitud de la espina apical y de las laterales. Estas medidas se obtuvieron de tres hojas por planta. Las plantas se identificaron para evaluarlas después durante la floración.

Durante mayo, junio y julio del 2014, cuando las plantas estaban en etapa de floración (Figura 3.3), los escapos de dos plantas de *A. salmiana* y una de *A. mapisaga* se recolectaron antes de las 12:00 am y, generalmente, en días con neblina para evitar la deshidratación acelerada de los tejidos. A las plantas de *A. salmiana* se les asignó aleatoriamente el número 1 o 2.

Los escapos fueron separados de las plantas, desde la base, con machete. Las inflorescencias se derribaron en un lugar con mayor y mejor acceso y con vegetación que amortiguara la caída.



Figura 3.1. Planta de *Agave salmiana* en etapa de prefloración, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

Cuadro 3.1. Sitios de recolecta de las inflorescencias de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* en el Cerro Tepari, Atlacomulco, México, en junio y julio de 2014.

Especie	Nombre común	Número de inflorescencia	Fecha de recolecta	Sitio		
				Descripción	LN y LO	Altitud (m)
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck subsp. <i>salmiana</i>	Xelteño	1	14/05/2014	Faldas del cerro. Los magueyes delimitan terrenos con herbáceas (principalmente, compuestas y gramíneas), tejocotes (<i>Crataegus pubescens</i>) y <i>Cupressus</i> sp. (entre cinco y 10 años de desarrollo).	19°47'59.8" 99°49'57.5"	2599
		2	08/06/2014	Zona llamada "La Cañada". Terrenos delimitados por piedras y magueyes. Vegetación predominante: una especie de la familia Asteraceae conocida como Voci, chaparral (<i>Quercus</i> sp.) y <i>Phaseolus</i> sp.	19°48'12.3" 99°49'47.6"	2764
<i>Agave mapisaga</i> Trel.	Maguey mexicano	1	27/07/2014	Zona llamada "La Cañada", con algunos encinos, chaparral (<i>Quercus</i> sp.), <i>Opuntia</i> spp., cercana a una área que fue destinada a la producción de <i>Cupressus</i> sp.	19°48'05.5" 99°49'41.2"	2704



Figura 3.2. Planta de *Agave mapisaga* en etapa de floración, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.



Figura 3.3. Planta de maguey (*Agave salmiana*) en etapa de floración, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

3.4.3 Métodos

En campo, la longitud total (altura) del escapo de primer orden (E1) se midió, luego se separó la sección basal (con brácteas o hipsófilos) de la sección apical (con umbelas) (Figura 3.4). Las brácteas de la sección basal se contabilizaron y separaron del tallo.

Las umbelas se cuantificaron, numeraron y etiquetaron en sentido acrópeto para las evaluaciones posteriores de sus estructuras (Figura 3.5). La longitud y anchura del escapo de la umbela o de segundo orden (E2) se midió en la unión con E1 y antes de la bifurcación con el escapo de tercer orden (E3) (Figura 3.6).

El escapo de primer orden (E1), brácteas y umbelas se trasladaron a un lugar fresco, aireado y sombreado para continuar con las mediciones. Del E1 se extrajeron cuatro a seis cilindros (sin daño visible) de 20 cm de longitud para evaluar la biomasa seca.

Las brácteas senescentes, en la zona de unión con E1, dañadas por herbivoría y ramoneadas se eliminaron, y la longitud y anchura basal se midió en las completas y sanas.

En las umbelas, separadas de los escapos, se contabilizó el número de botones florales, flores sin tépalos senescente (con anteras parcial o totalmente expuestas) (Figura 3.7 C), flores senescentes, flores con daño por herbivoría aparente y frutos cuando estaban presentes.

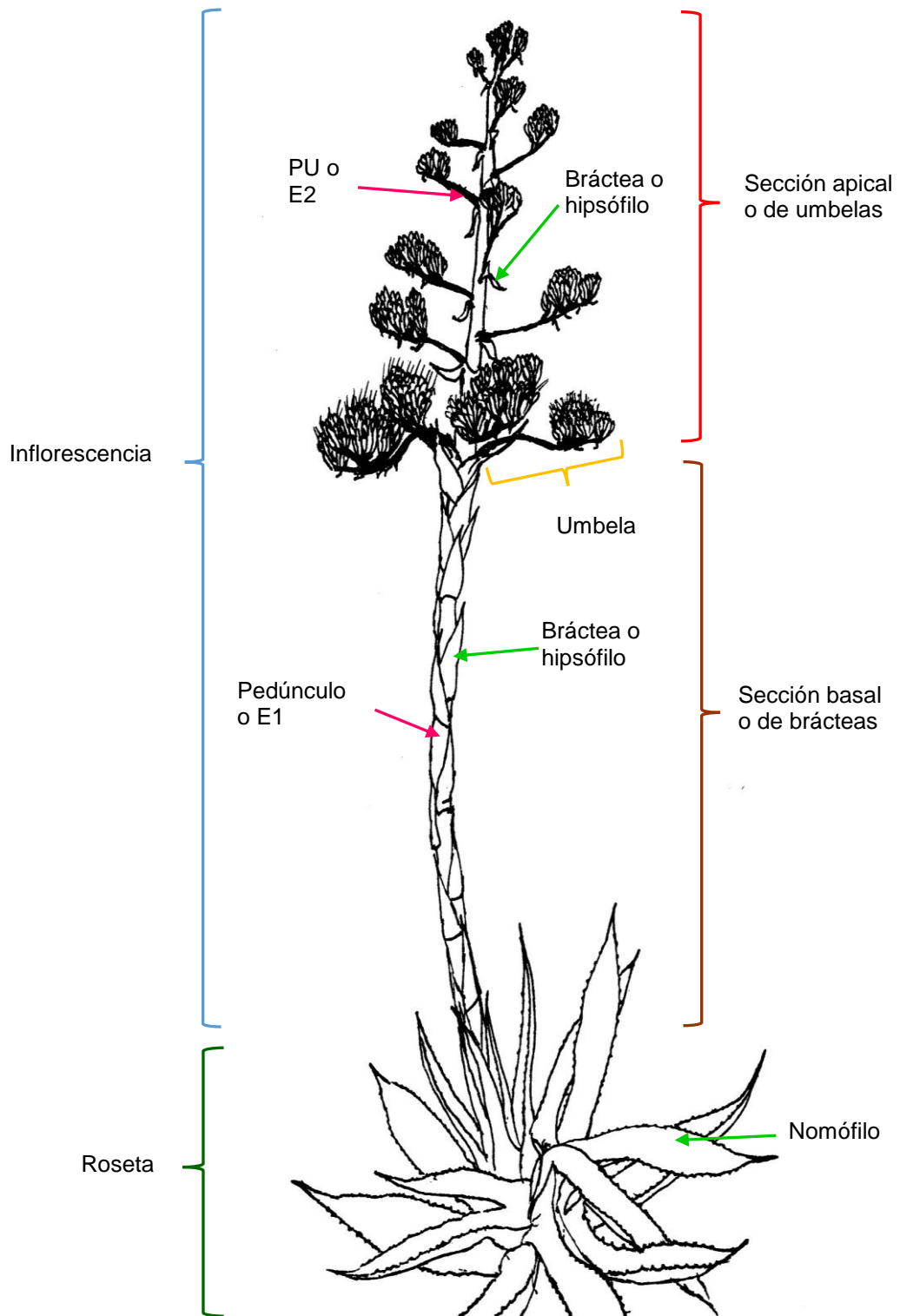


Figura 3.4. Descripción morfológica de la inflorescencia paniculada con ramas de umbelas del maguey (*Agave salmiana*). E1, escapo de primer orden; E2, escapo de segundo orden; PU, pedúnculo de la umbela.



Figura 3.5. Inflorescencia paniculada, con umbelas largas, de *Agave salmiana* en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

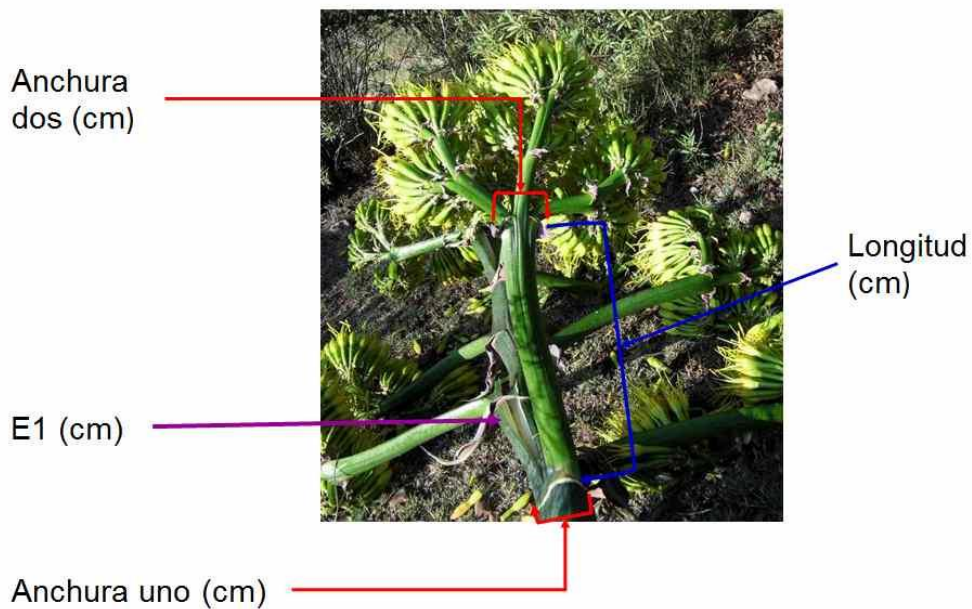


Figura 3.6. Sitios donde se midieron la longitud y la anchura del escapo de la umbela o de segundo orden (E2). Escapo de primer orden (E1).

Para determinar la biomasa de las estructuras florales se obtuvieron muestras compuestas de cada inflorescencia. De la inflorescencia de la planta 1, de *A. salmiana*, muestras de cada agrupación floral se obtuvieron de tres puntos centrales de cada umbela. En el caso de la inflorescencia 2 de *A. salmiana* y de *A. mapisaga* los botones florales y las flores sin tépalos senescentes de todas las umbelas se reunieron.

En el laboratorio de Biofísica del Colegio de Postgraduados, se determinó la biomasa de E1. Los cilindros E1 se disecaron en parénquima periférico, que incluyó la epidermis, clorénquima y el tejido con la cantidad mayor de haces vasculares, y parénquima medular; los tejidos se separaron con un hacha de cazador (1 ¼ lb, Truper). A la vez, cada sección se segmentó longitudinalmente y se subdividió para evaluar la biomasa seca por liofilización y deshidratación en estufa a 50°C de muestras sin lavar y lavadas.

Los botones florales se separaron por tamaño, en pequeños y medianos (no comestibles) y grandes (comestibles) con desarrollo mayor (Figura 3.7 A y B). La selección de los botones comestibles se basó en los criterios de los consumidores (tamaño, robustez y el conocimiento empírico de la astringencia).

Además, en cinco o más flores y frutos (cuando estaban presentes) se midió la longitud y circunferencia del pedicelo, circunferencia del receptáculo, longitud y circunferencia del ovario, longitud de un tépalo externo (desde el cuello de la flor) con cinta métrica. El pedicelo, ovario y perianto más estambres, estigma y estilo se pesaron en una balanza analítica (Scientech® SA 120; ± 0. 0001 g de precisión) y se secaron a 50 °C hasta peso constante. Con esa información se calculó el porcentaje

de biomasa seca. Seis meses después cuando ya se diferenciaban claramente, se contabilizó el número de frutos que maduraron (cápsulas).



Figura 3.7. Clasificación de flores de maguey (*Agave salmiana*): A. botones florales pequeños (no comestibles); B. botones florales grandes (comestibles); C. flores con anteras sin abrir.

3.4.3 Diseño experimental

El estudio se desarrolló con un diseño completamente al azar con una planta como unidad experimental.

3.4.4 Análisis estadístico

Las diferencias entre las variables evaluadas se detectaron mediante el análisis de varianza (ANDEVA) y para determinar qué muestra era diferente se empleó la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. En caso de que los datos analizados no cumplieran con los supuestos de la ANDEVA, se aplicaron Pruebas de Kruskal Wallis, seguida de comparaciones de a pares y/o prueba U de Mann-Whitney

en el programa InfoStat versión 2008. Los gráficos y regresiones se obtuvieron en el programa estadístico SigmaPlot 11.0. Las comparaciones entre pares de variables se realizaron con la prueba de t con el programa SigmaPlot. Las correlaciones entre variables y pruebas de ANDEVA en el programa estadístico STATGRAPHICS Plus.

3.5. Resultados y discusión

En la región de estudio las plantas de *A. salmiana* fueron más abundantes que las de *A. mapisaga*. En los recorridos de enero y febrero de 2014 se identificaron 18 de la primera y dos de la segunda especie, con el escapo floral en desarrollo, en el intervalo altitudinal de 2590 y 2780 m. Además, después de cuatro a siete meses, se seleccionaron dos plantas de *A. salmiana* y una de *A. mapisaga* para el análisis de las estructuras de su inflorescencia porque estaban totalmente desarrollada en ese momento.

3.5.1 Tamaño de la roseta

El diámetro de las 18 plantas de *A. salmiana* varió entre 2.05 y 4.20 m (con promedio de 3.07 ± 0.584 m). El diámetro de las plantas mostró tendencia de incremento lineal con el gradiente altitudinal de distribución (Figura 3.8 A).

Las plantas de *A. salmiana* variaron ampliamente en el número de hojas en la roseta, de 23 a 52 (en promedio 38.17 ± 7.736 hojas); esto es, las plantas con más hojas tuvieron más del doble que las que tuvieron menos. El número de hojas por

planta no mostró alguna tendencia de incremento o decremento en el gradiente altitudinal (Figura 3.8 B).

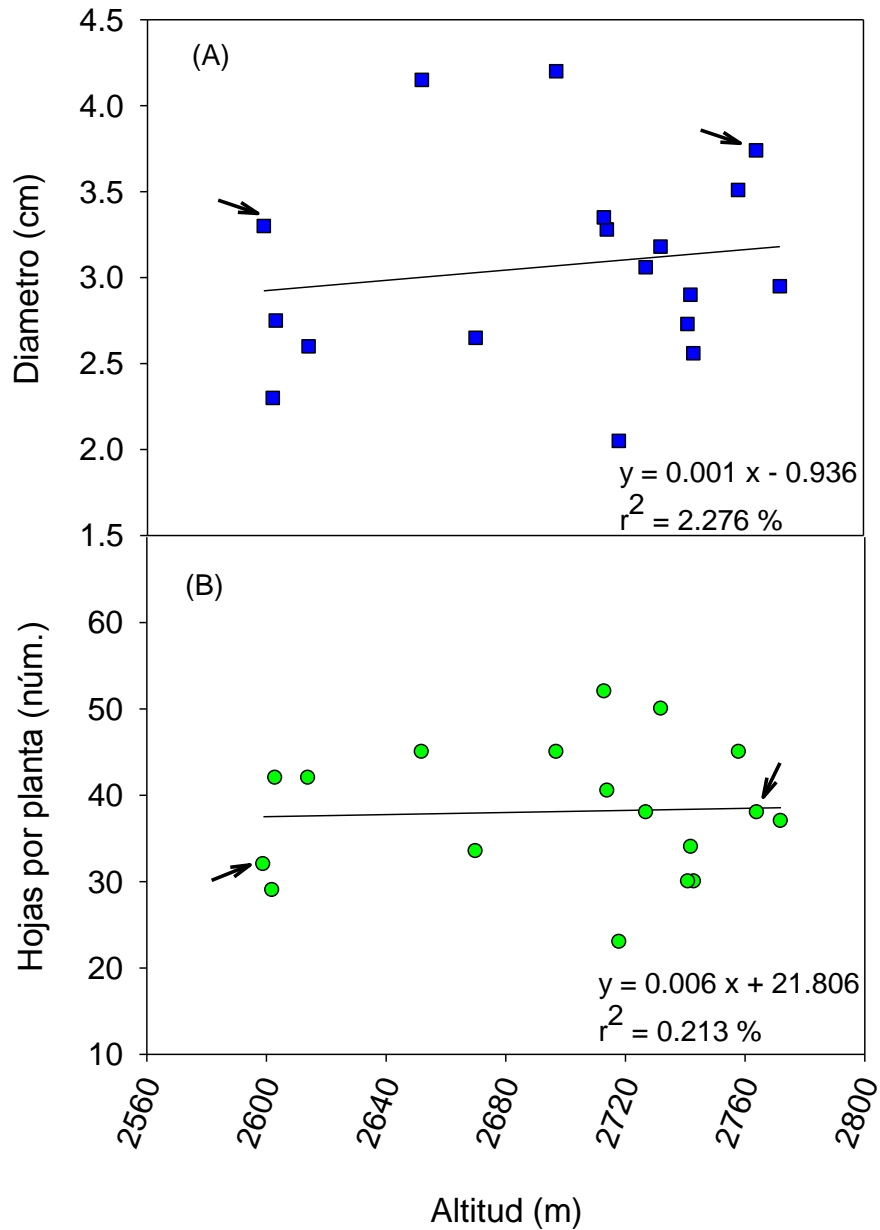


Figura 3.8. Número de hojas por planta (A) y diámetro de la roseta (B) de plantas de *Agave salmiana* presentes en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México, en altitudes entre 2592 y 2780 m. Las flechas señalan las plantas seleccionadas para la evaluación de los componentes del rendimiento en la inflorescencia.

La anchura promedio de la base de las hojas fue 30.12 ± 4.068 cm y fue relativamente homogéneo, como lo evidencia el valor de la desviación estándar (D.E.). Esta variable no mostró alguna tendencia de cambio en relación con el gradiente altitudinal de muestreo (Figura 3.9 A).

La longitud promedio de las hojas de la base de la roseta de *A. salmiana* varió entre 0.97 y 1.87 m (en promedio 1.43 ± 0.184 m) y también mostró cierta tendencia lineal de incremento con el gradiente altitudinal (Figura 3.9 B).

Los resultados indican que, aunque las plantas de *A. salmiana* desarrolladas en las zonas más altas del cerro Tepari, podrían generar escapo, inflorescencia e infrutescencia más grandes o robustas su desarrollo depende de las reservas de la roseta (Gentry, 1982; Arizaga y Ezcurra, 1995; García-Mendoza, 2007).

La variación en el diámetro, número y longitud de hojas en las plantas de *A. salmiana* no puede explicarse únicamente con la altitud, ya que hay otros factores que influyen en el desarrollo de la planta, como los ambientales. En este sentido se ha comprobado el efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre el número de hojas y la productividad de *A. fourcroydes* (Nobel, 1985); el efecto de la precipitación en *A. lechuguilla* (Nobel y Quero, 1986); y el de la temperatura, el agua y el CO₂ en zonas con diferente elevación en *A. deserti* (Nobel y Hartsock, 1986). Nobel (1990) señaló que la precipitación anual moderada mejora la productividad de *A. tequilana*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* ($25 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

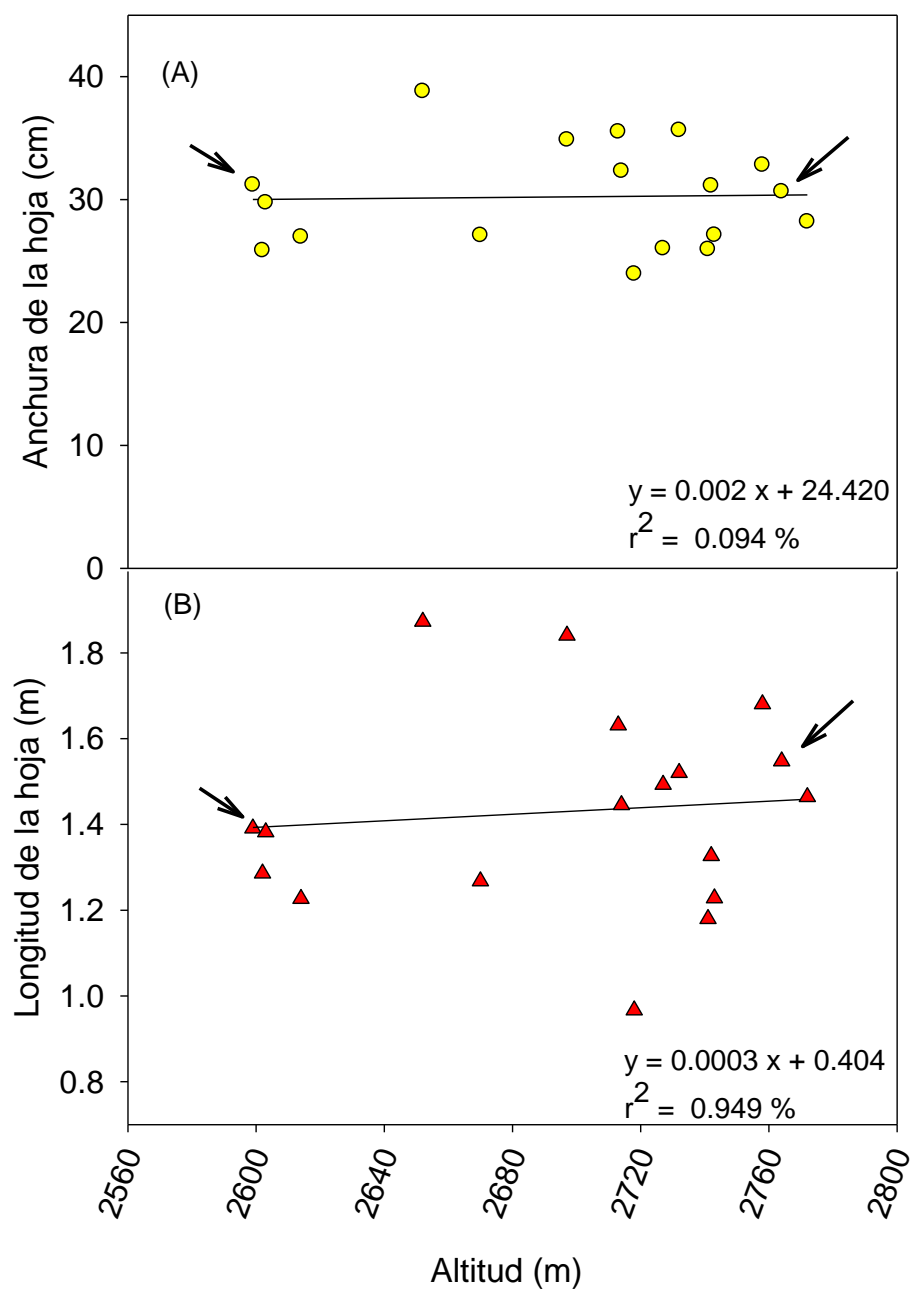


Figura 3.9. Longitud de las hojas de las plantas de *Agave salmiana* evaluadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México, en altitudes entre 2592 y 2780 m. Las flechas señalan las plantas seleccionadas para la evaluación de los componentes del rendimiento en la inflorescencia.

No existió una relación entre el gradiente altitudinal y las variables evaluadas ($p > 0.05$) (Cuadro 3.2). En cambio, el tamaño de la roseta en las plantas de *A. salmiana* influye significativamente en el número, longitud y anchura de las hojas y viceversa ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3.2). Probablemente, porque el crecimiento de la roseta está asociado estrechamente con el número de hojas (Nobel, 1985).

Las plantas de *A. mapisaga* identificadas en el sitio de estudio fueron plantas grandes, con diámetro de la roseta de 2.55 y 4.96 m, 22 y 39 hojas en ella, longitud promedio de las hojas en la base de esta estructura de 1.05 y 2.30 m y con anchura de 0.14 y 0.33 m. El número y tamaño de hojas en la primera roseta son parcialmente diferentes a lo reportado por García-Mendoza (2011), pues señaló que las plantas de esta especie tienen de 30 a 50 hojas, con 1.5 a 2.5 m de longitud y 0.2 a 0.3 m de anchura. Las diferencias pueden deberse a que la planta del presente estudio mostró exposición parcial de las raíces y el tallo (Figura 3.10).

Cuadro 3.2. Matriz de correlaciones entre altitud y variables evaluadas en las rosetas de *A. salmiana*. Coeficiente de Pearson seguido del valor de p.

	Gradiente altitudinal	Hojas por planta (núm.)	Diámetro de roseta (m)	Longitud de hoja (m)
Hojas por planta (núm.)	0.0454 (0.8580)			
Diámetro de roseta (m)	0.1509 (0.5501)	0.6633 (0.0027)*		
Longitud de hoja (m)	0.0973 (0.7009)	0.7743 (0.0002)*	0.9337 (0)*	
Anchura de hoja (m)	0.0305 (0.9045)	0.7965 (0.0001)*	0.8358 (0)*	0.8509 (0)*

* Indica correlación estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).



Figura 3.10. Planta de *Agave mapisaga* con escapo en desarrollo, en el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

3.5.2 Componentes del rendimiento del escapo floral

El análisis de los componentes del rendimiento de las inflorescencias de las dos plantas de *A. salmiana* y la de *A. mapisaga* se presenta a continuación. Las plantas de *A. salmiana* se identificaron aleatoriamente como planta 1 y planta 2.

La altura del escapo floral de las dos plantas de *A. salmiana* fue cercana a 8 m y coincidió con la de *A. mapisaga*. La longitud de la sección basal del escapo floral (sin umbelas) en la planta 1 fue cerca del doble que en la planta 2. La planta de *A. mapisaga* mostró que la sección basal representó la mitad de la altura total del escapo floral, es decir, la sección basal tuvo la misma longitud que la apical (Figura 3.11).

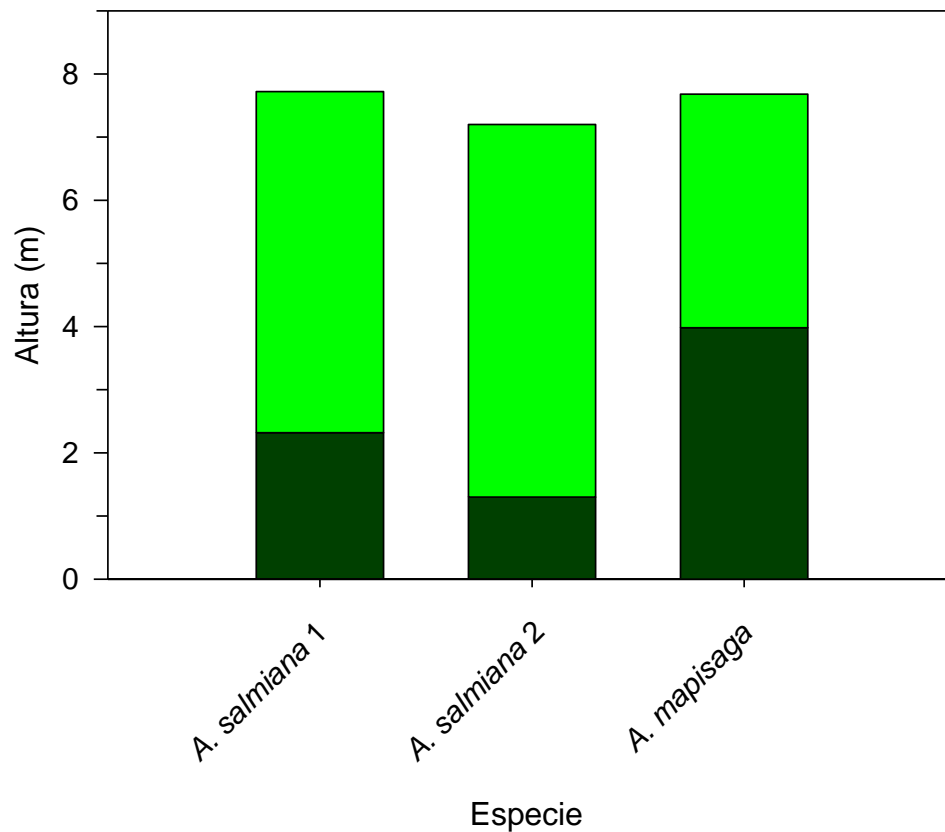


Figura 3.11. Altura del escapo floral de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. Sección basal (■) y sección apical (■).

En la sección basal del escapo las plantas presentaron una cantidad relativamente similar de brácteas, independientemente de la especie y de la longitud de esa sección. Es decir, la distancia entre las brácteas a lo largo del escapo de la planta 2 de *A. salmiana* fue, en promedio, cerca de la mitad que en la planta 1 (5.0 cm y 9.3 cm). En la sección basal del escapo de *A. mapisaga* las brácteas estuvieron espaciadas, en promedio, cada 17.3 cm (Figura 3.12).

La anchura promedio de la base de las brácteas en la planta 1 de *A. salmiana* fue similar (21.50 ± 1.935 cm) que en la planta 2 (20.92 ± 3.218 cm). Pero la longitud de estas estructuras en la planta 2 fue en promedio 42.4 % mayor que en la planta 1. Las brácteas de ambas plantas de *A. salmiana* y *A. mapisaga* fueron 18.5, 49.5 y 40 %, respectivamente, más largas que anchas (Figura 3.12 B-C).

En general, las brácteas sobre los escapos de las plantas evaluadas fueron más anchas y largas que lo reportado en las claves taxonómicas (García-Mendoza, 2011), con excepción de la longitud promedio de las brácteas de la planta 1.

El número de umbelas en el escapo floral de las plantas de *A. salmiana* fue relativamente parecido entre ellas (Figura 3.13 A). Además, en promedio, ya que la longitud de la sección apical del escapo también fue parecido entre las dos plantas, la distribución de las umbelas a lo largo de él también fue prácticamente la misma, 22.6 y 23.5 cm. En el ápice del escapo floral de *A. mapisaga* se contabilizaron 31 umbelas y debido a que la sección apical de este escapo floral fue la mitad de la longitud total, las umbelas estuvieron relativamente cerca unas de otras, cada 11.9 cm (Figura 3.11 y 3.13 A). Los datos de las distancias entre umbelas son promedio, pues se observó que el espacio entre umbelas disminuye en sentido acrópeto.

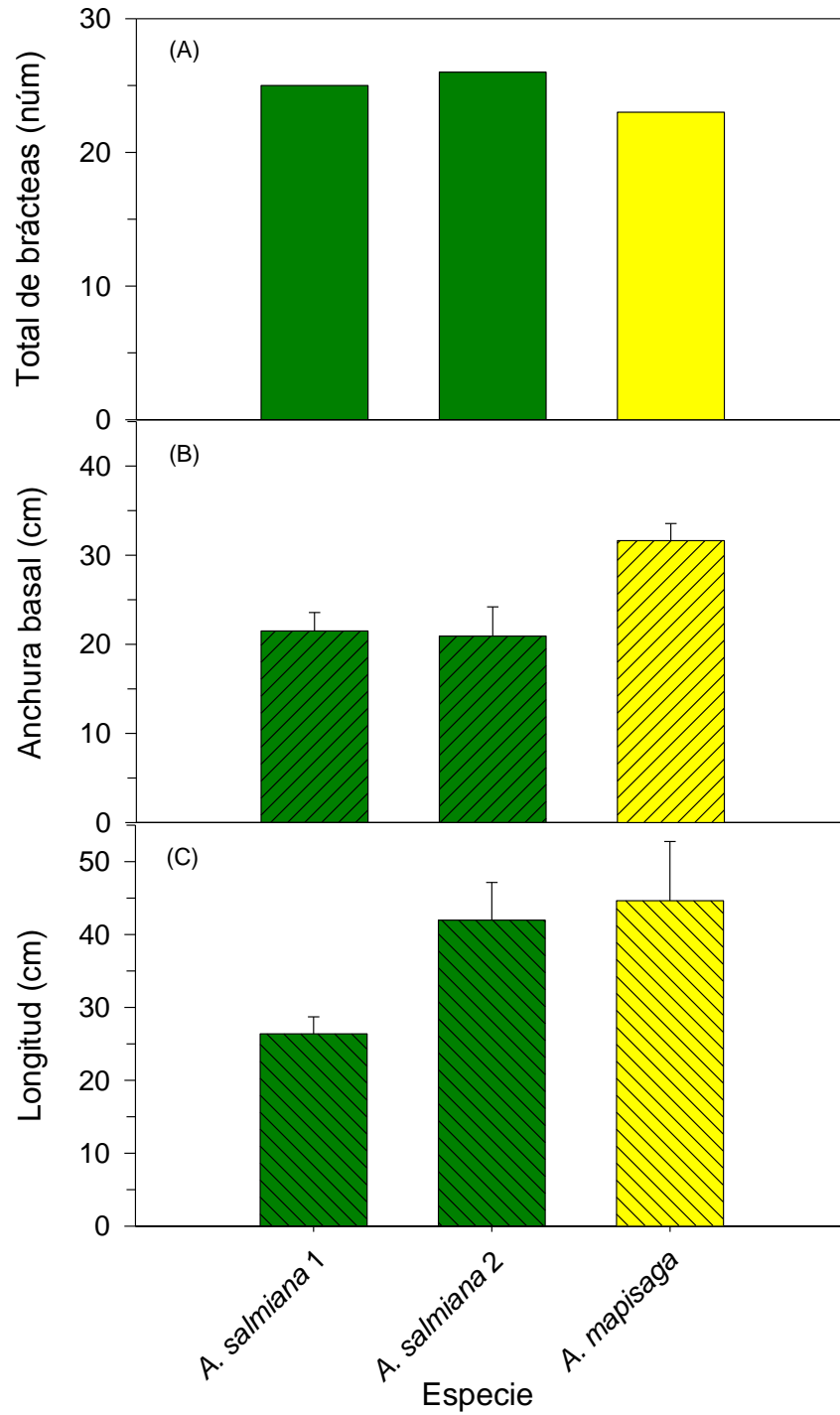


Figura 3.12. Número total de brácteas de la sección basal del escapo (A), anchura basal promedio \pm D.E. (B) y longitud promedio \pm D.E. de las brácteas (C) de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

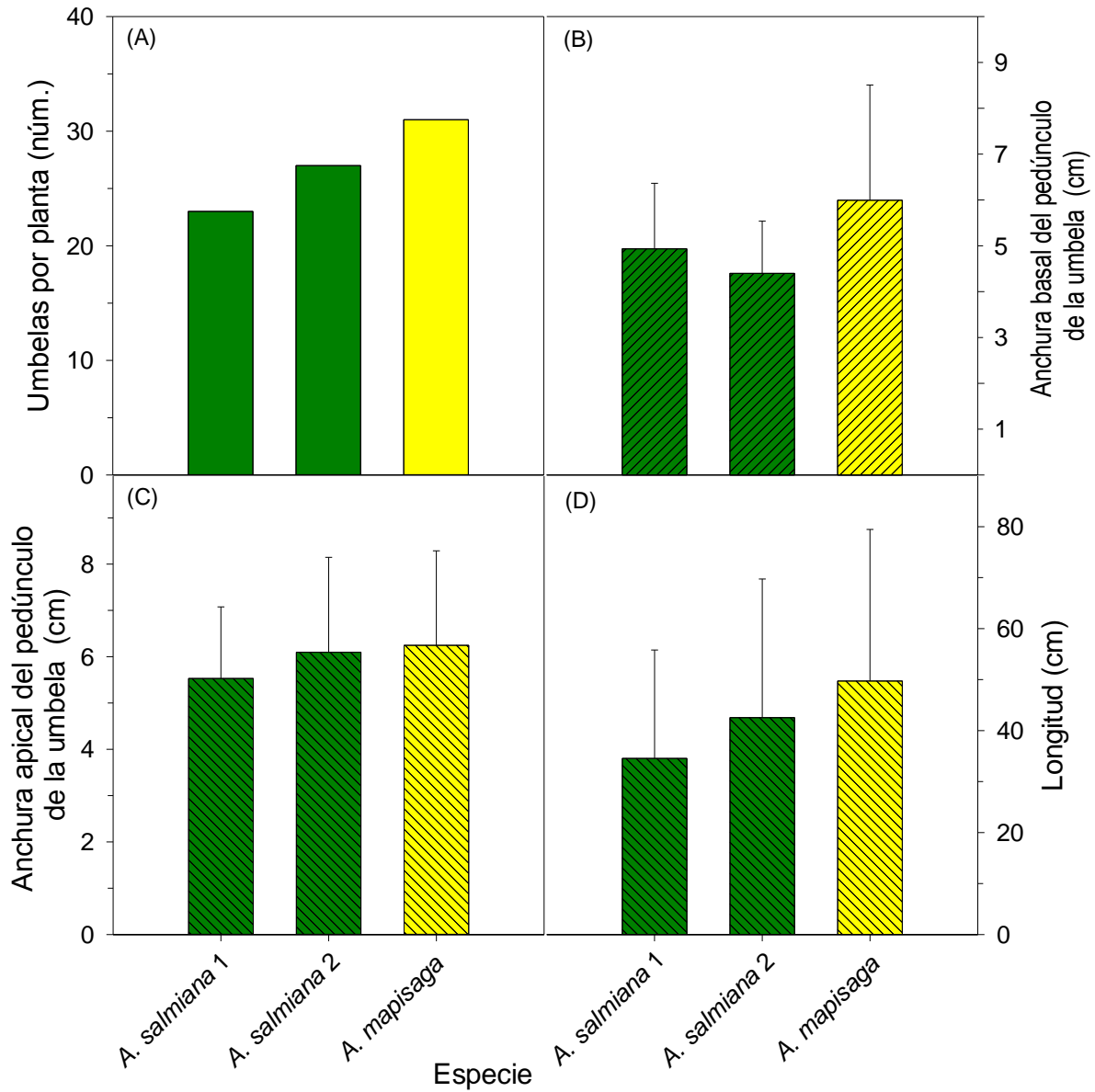


Figura 3.13. Número total de umbelas por planta (A), anchura basal \pm D.E. (B) y anchura apical promedio \pm D.E. del pedúnculo de la umbela (C) y longitud promedio \pm D.E. del pedúnculo de las umbelas (D) de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

La anchura basal promedio, la anchura apical promedio y la longitud promedio del pedúnculo de las umbelas no fueron significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre las plantas de *A. salmiana*. La heterogeneidad de las dimensiones de estas estructuras, a lo largo de la sección apical del escapo, fue amplia, de acuerdo con la desviación estándar de cada grupo de variables: ± 1.138 y 1.429 en la anchura basal promedio (4.40 y 4.93 cm), ± 1.545 y 2.052 en la anchura apical promedio (5.53 y 6.10 cm) y ± 21.265 y 27.188 en la longitud promedio (34.53 y 42.53 cm) del pedúnculo (Figura 3.13 B-D).

En *A. mapisaga*, la anchura promedio basal (5.99 cm), la anchura promedio apical (6.24 cm) y la longitud promedio (49.72 cm) de los pedúnculos también fueron heterogéneas con base en la desviación estándar de cada grupo de variables: ± 2.512 , 2.044 , y 29.737 respectivamente (Figura 3.13 B-D).

Para conocer si esa heterogeneidad estaba relacionada con la posición o distribución de las umbelas sobre el escapo floral, se graficó la anchura y la longitud en función de la posición de la umbela sobre el escapo. Efectivamente, la anchura basal de los peciolos del escapo en las plantas 1 y 2 de *A. salmiana* fluctuaron entre 2.2 y 7 cm y 1.9 y 5.8 cm, su anchura apical varió entre 2.5 y 7.2 cm y 1.4 y 9.0 cm, la longitud del pedúnculo varió entre 1.60 y la longitud entre 61.40 cm y 1.30 y 76.20 cm. Además, los pedúnculos más gruesos y largos correspondieron a las primeras ocho o doce umbelas del escapo en sentido acrópeto y, al contrario los delgados y cortos estuvieron en las últimas del ápice del escapo (Figura 3.14 A y B, 3.15 A y B, 3.16 A y B).

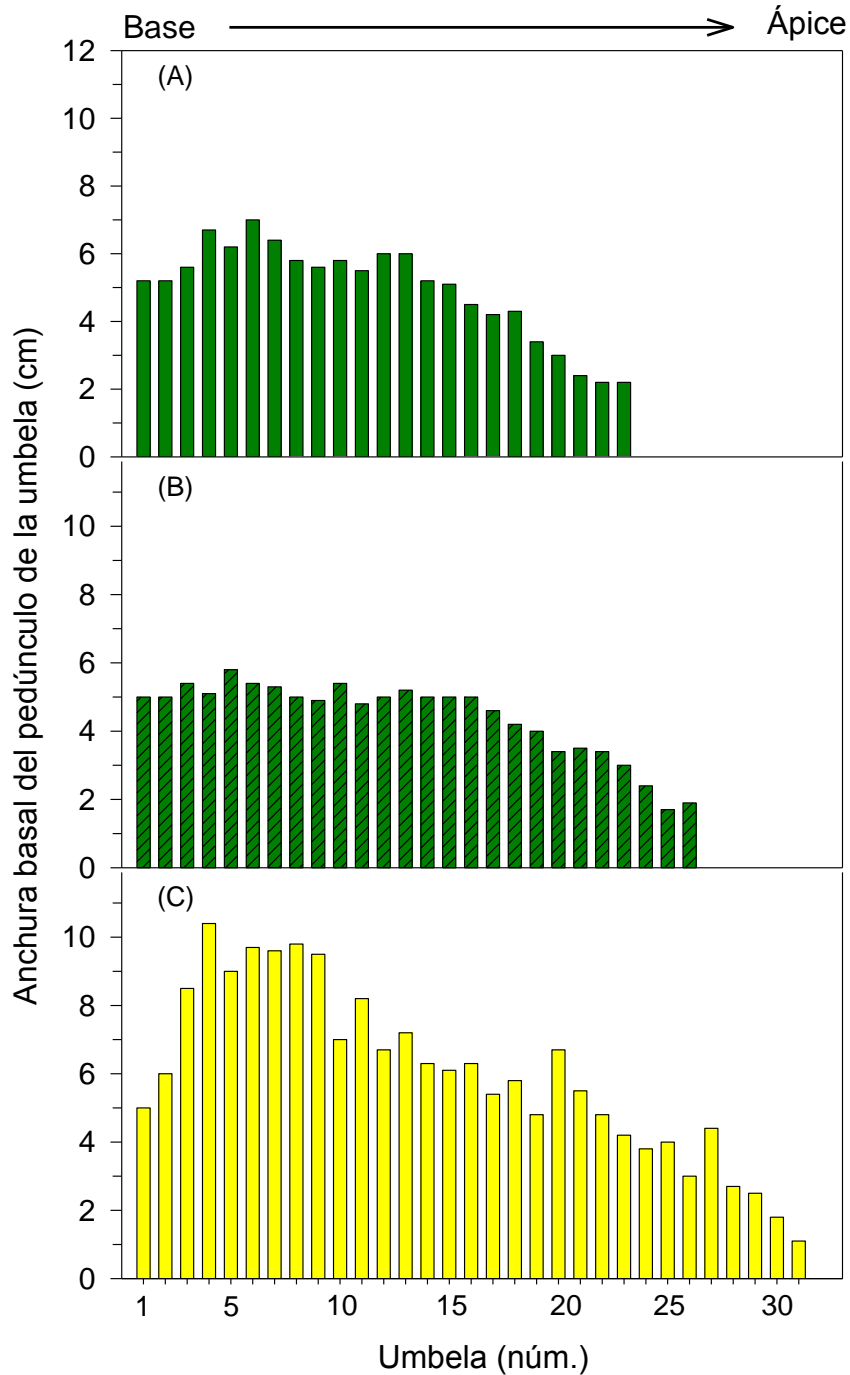


Figura 3.14. Anchura basal del pedúnculo de las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

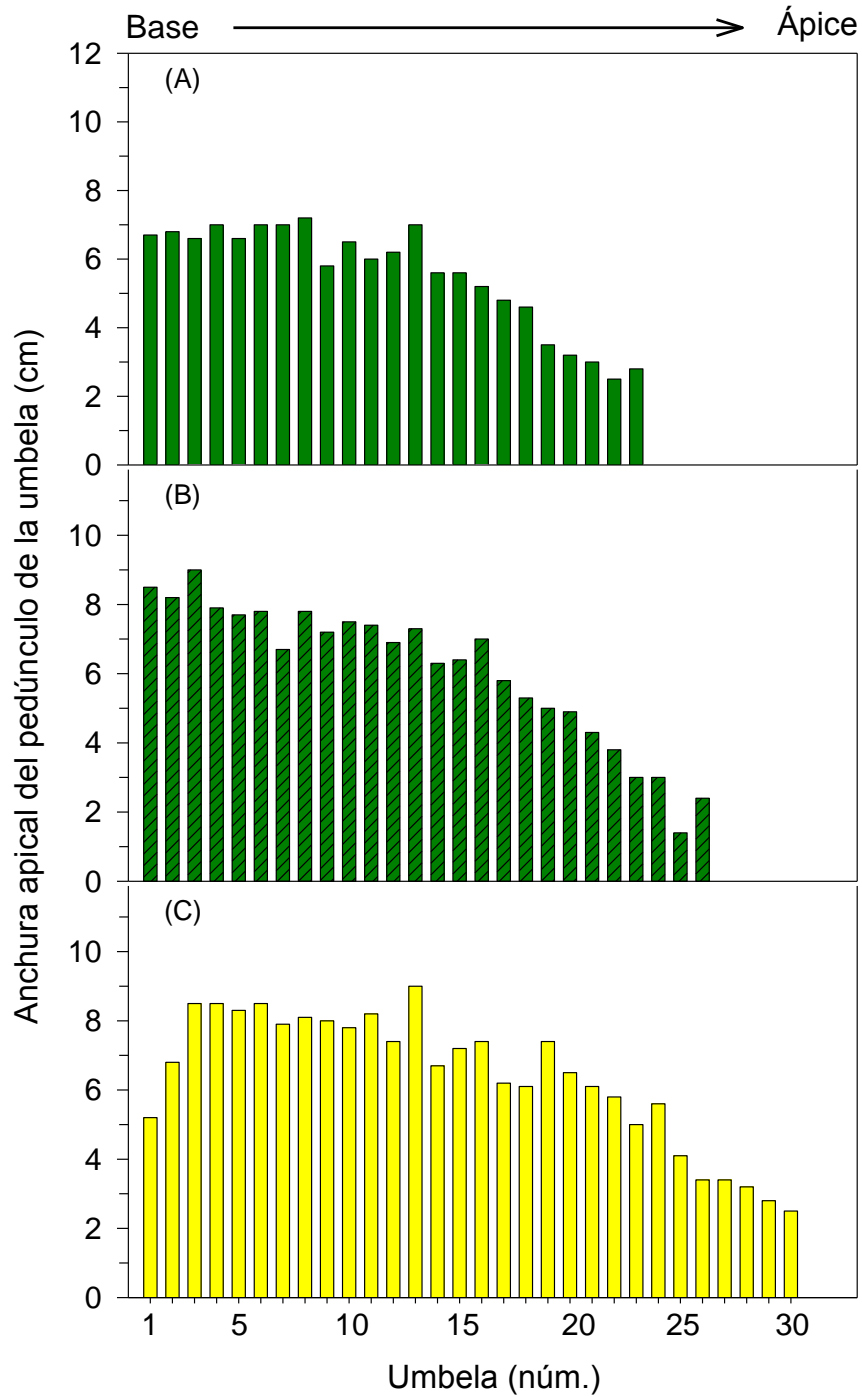


Figura 3.15. Anchura apical del pedúnculo de las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

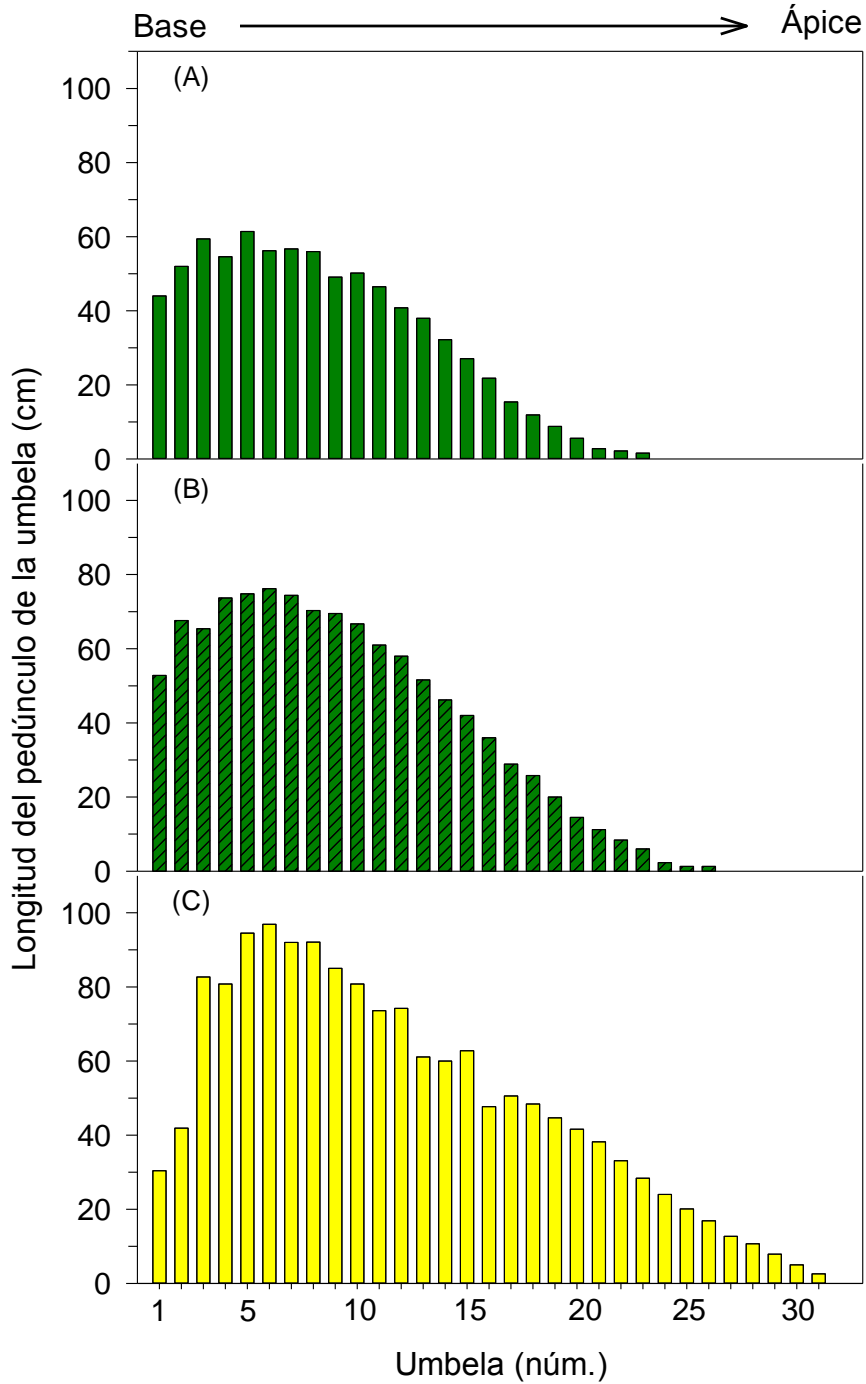


Figura 3.16. Longitud del pedúnculo de las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

También la anchura basal, la anchura apical y la longitud de los peciolos del escapo en las plantas de *A. mapisaga* fluctuaron ampliamente, entre 1.1 y 10.4 cm \pm 2.512, 2.5 y 9.0 cm \pm 1.918 y 2.6 y 96.9 cm \pm 29.740. Así como, los pedúnculos más gruesos y largos correspondieron a las primeras umbelas del escapo y los delgados y cortos estuvieron en las últimas del ápice del escapo en sentido acrópeto (Figura 3.14 C, 3.15 C, 3.16 C).

El número total de botones florales, flores sin tépalos senescentes y flores senescentes en la umbela de cada planta de *A. salmiana* y en la de *A. mapisaga* representó proporciones variables del total de esas estructuras reproductivas.

En las plantas de *A. salmiana* los botones florales de la planta 1 representaron 46.3 % del total y en la planta 2 la proporción fue 31.7 %, en ambas la proporción de flores sin tépalos senescentes fue baja (4.4 y 5.6 %) respecto a los botones, y las flores senescentes representaron la proporción mayor del total de estas estructuras (49.4 y 62.8 %). Independientemente de la proporción de esas estructuras la cantidad total entre las plantas fue relativamente similar (Figura 3.17 A y B).

Las flores senescentes en el escapo floral de la planta de *A. mapisaga*, en el momento del muestreo, representaron una proporción varias veces mayor (80.4 %) que los botones florales (13.0 %) y las flores sin tépalos senescentes (6.6 %) (Figura 3.17 C).

Los botones florales, las flores sin tépalos senescentes y las flores senescentes en las umbelas se presentaron en cantidades variables en las umbelas sobre el escapo floral. Los botones florales en las planta 1 de *A. salmiana* fluctuaron entre 3 y 255 y en la planta 2 entre 0 y 155; los botones florales se concentraron en las umbelas

centrales del escapo de cada planta (Figura 3.18 A y B). En contraste en la planta de *A. mapisaga* los botones florales se contabilizaron desde 0 hasta 148 por umbela y las umbelas con la cantidad mayor de botones estuvieron cerca del ápice del escapo floral entre la 21 y 25 en sentido acrópeto (Figura 3.18 C).

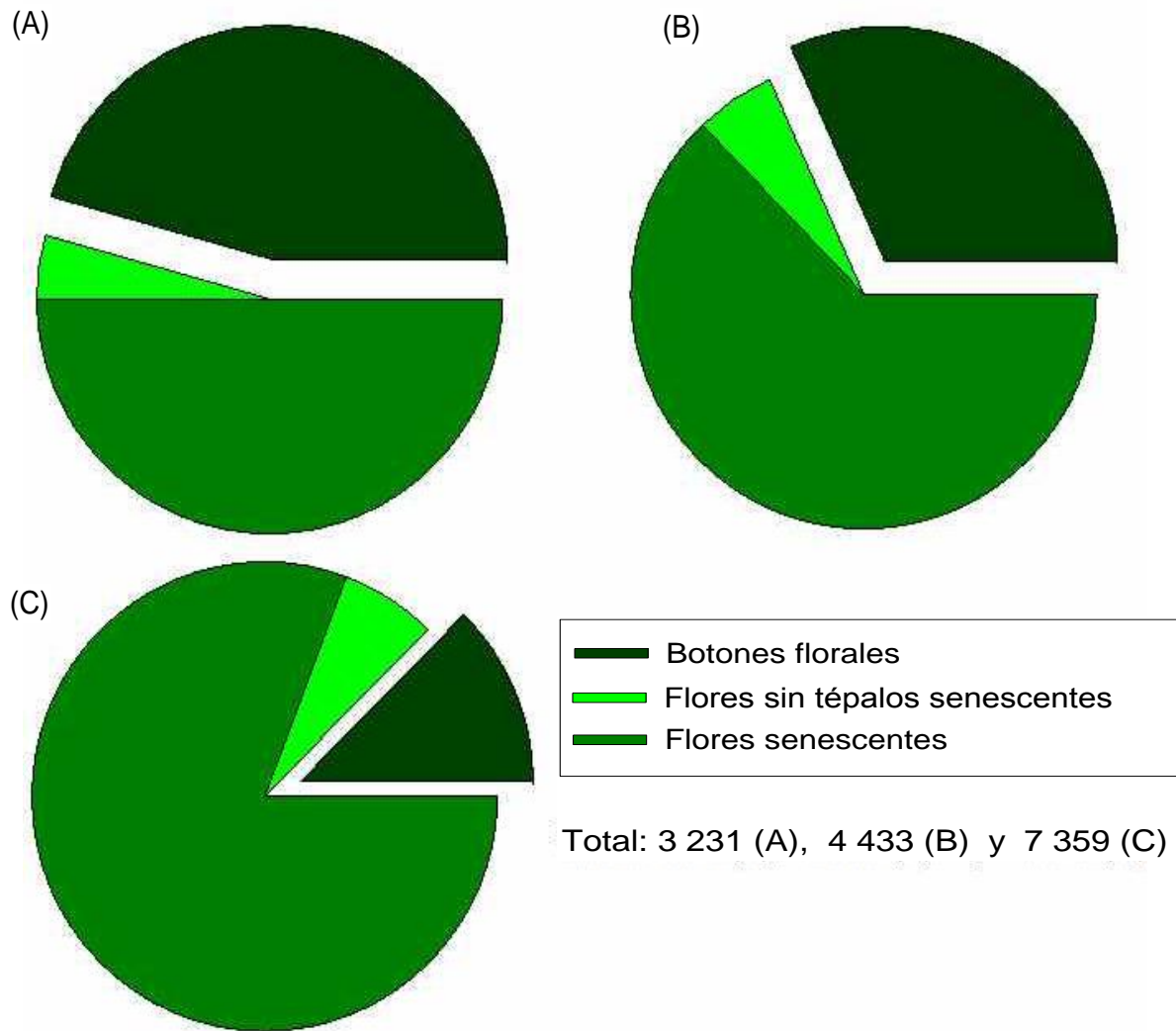


Figura 3.17. Número de botones florales, flores sin tépalos senescentes y flores senescentes en el escapo floral en dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* (C) recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

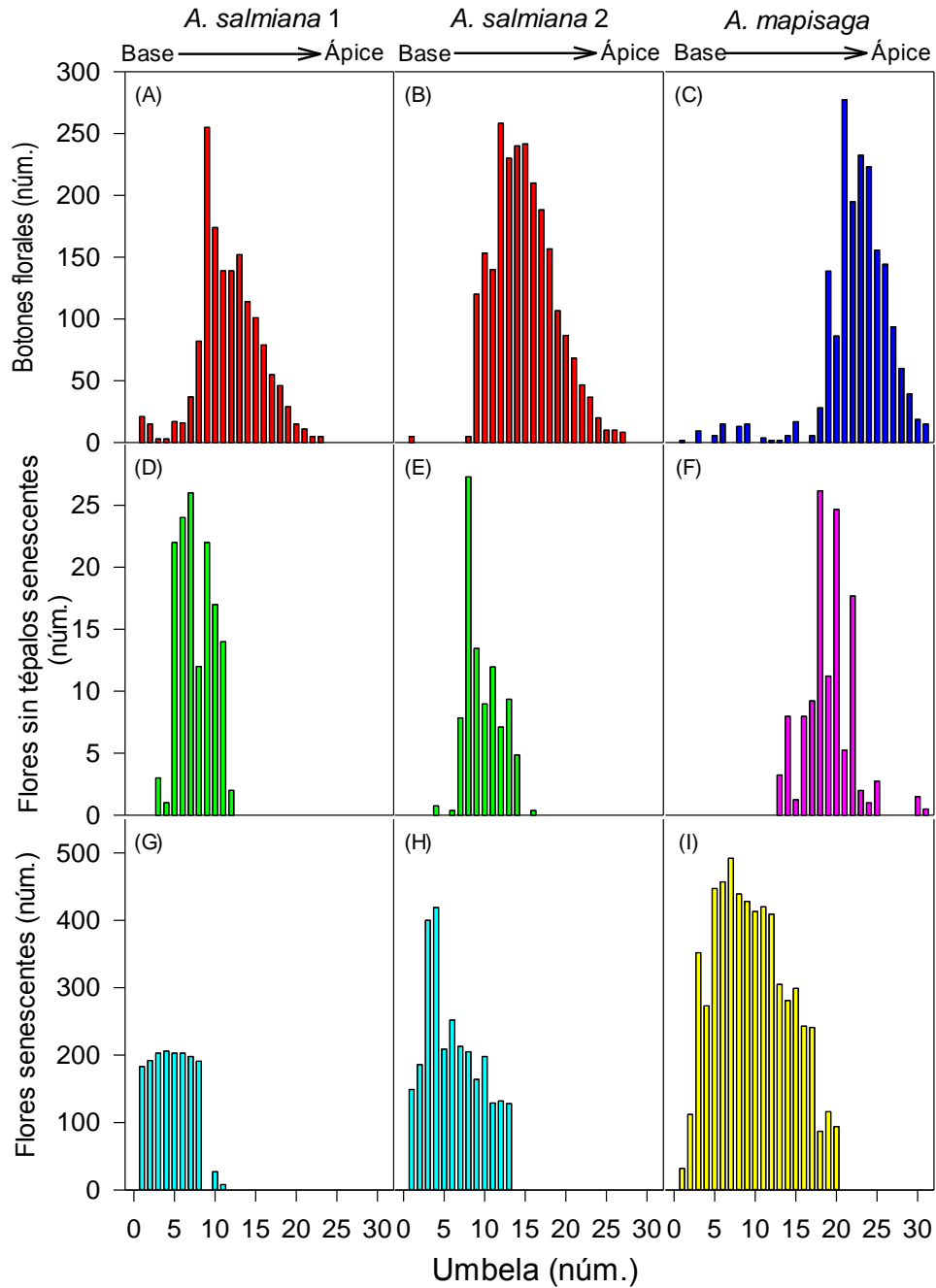


Figura 3.18. Número de botones florales (A) - (C), flores sin tépalos senescentes (D) - (F) y flores senescentes (G) – (I) en las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

Las tres plantas presentaron umbelas con flores sin tépalos senescentes y los valores máximos fueron 26, 73 y 105 en las plantas 1 y 2 de *A. salmiana* y de *A. mapisaga*. Las flores sin tépalos senescentes se concentraron en las umbelas cinco a siete en la planta 1, entre la ocho y 11 en la planta 2 y entre la 16 y 22 del escapo de *A. mapisaga* (Figura 3.18 D-E).

Un número variable de umbelas sin flores senescentes se cuantificaron en las tres plantas. En las tres plantas las umbelas apicales no presentaron estas flores; de hecho las plantas 1 y 2 de *A. salmiana* presentaron flores senescentes sólo en las primeras 11 y 13 umbelas, pero alcanzaron valores máximos de 206 y 429 por umbela (Figura 3.18 G-H); en *A. mapisaga* se observó algo parecido a las plantas de *A. salmiana*, pero la presencia de flores senescentes se extendió hasta la umbela 20, y los valores mayores a 400 por umbela se localizaron entre las umbelas 5 y 12 en sentido acrópeto (Figura 3.18 I).

Las diferencias en el número y distribución de botones florales, flores sin tépalos senescentes y senescentes entre las plantas y especies en parte se deben al tipo de inflorescencia, pues ya que la inflorescencia está formada por una panícula compuesta de racimos de umbelas (García-Mendoza, 2011) donde el crecimiento y desarrollo de las flores es asincrónico y sucede en sentido acrópeto. Arizaga *et al.* (2000) reconoció el desarrollo asincrónico de las flores en la inflorescencia de *A. macroacantha*.

Al relacionar el total de botones, las flores por umbela y los frutos inmaduros, que recientemente fueron flores, con el número de la umbela se observó que las primeras dos a cuatro umbelas de la planta 1 y 2, produjeron menos flores que el resto

de las umbelas sobre el escapo en sentido acrópeto (Figura 3.19 A y B). Algo similar ocurrió en *A. mapisaga* (Figura 3.19 C). Esto se debe a que, las flores de maguey primero producen polen y después producen néctar al madurar el gineceo (Arizaga *et al.*, 2000; Eguiarte *et al.*, 2000), con lo que atraen polinizadores. Así, los frutos jóvenes que se generen compiten por recursos con el resto de flores en desarrollo (Stephenson, 1981).

Particularmente, la planta 2 presentó una cantidad mayor de flores en la tercera y cuarta umbela (Figura 3.19 B). Esto puede estar relacionado con las poblaciones de polinizadores presentes durante el desarrollo, ya que el número de flores de *A. salmiana* está relacionado positivamente con la tasa poblacional de los polinizadores (Martinez y Eguiarte, 1987). Además, la población de los polinizadores entre sitios y años es diferente (Slauson, 1994).

El análisis de correlación de las variables de la roseta con las de la inflorescencia mostró relación directa entre el número de hojas y la anchura apical de la umbela ($r = 0.9993$) ($p \leq 0.05$). Una relación similar se presentó entre el diámetro de la roseta y el número de flores sin tépalos senescentes ($r = 0.9993$), y flores senescentes ($r = 1.00$), diámetro de la roseta y total de flores ($r = 0.9993$), frutos inmaduros ($r = 1.00$) y la producción total de botones florales más flores y frutos inmaduros ($r = 0.9999$) ($p \leq 0.05$). Estas relaciones permiten explicar la producción alta de botones, flores y frutos inmaduros en *A. mapisaga* (7452) con respecto a *A. salmiana* (3315 y 4438). No se descarta la idea de que el número de umbelas desarrolladas incrementa la posibilidad de producir más flores y, por tanto, de semillas y frutos (Torres y Galetto, 2008).

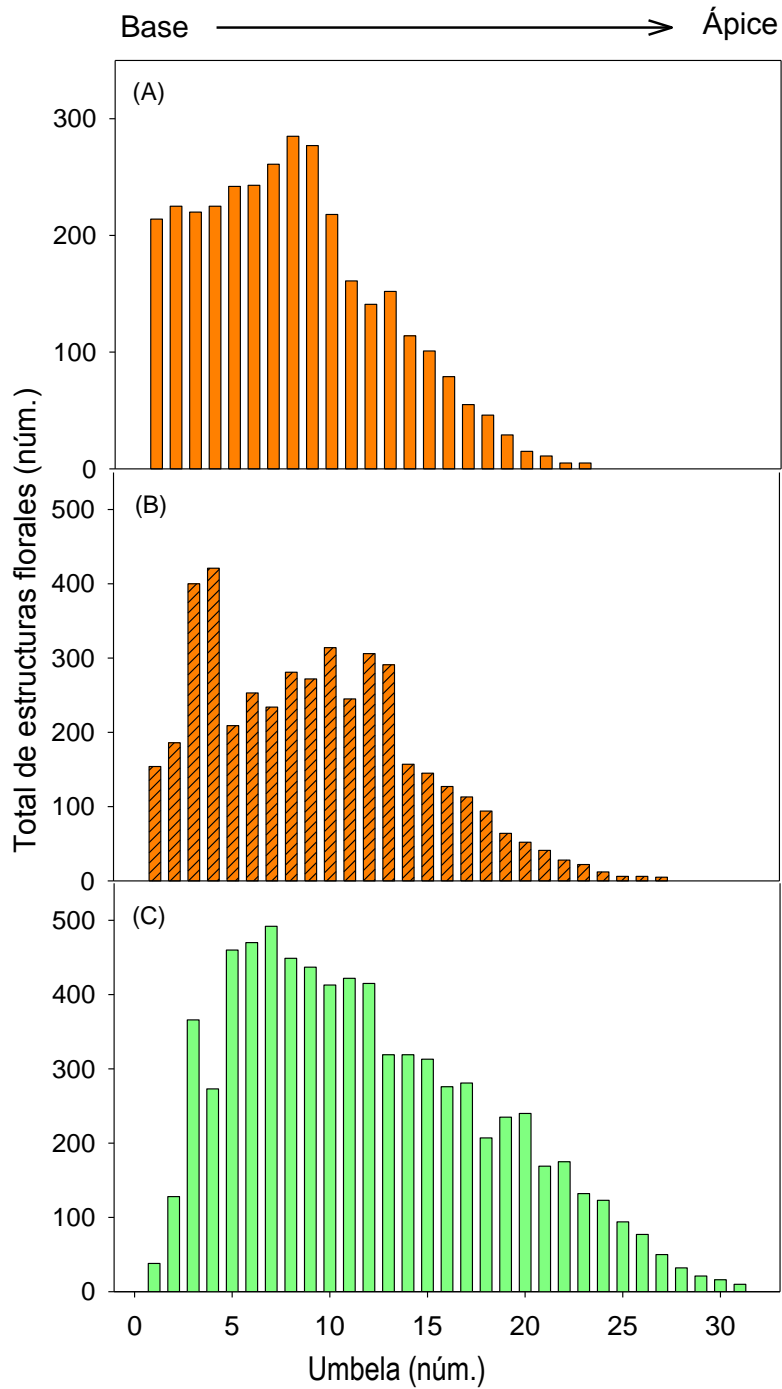


Figura 3.19. Total de flores más frutos inmaduros en las umbelas a lo largo del escapo, en sentido acrópeto, de dos plantas de *Agave salmiana* (A) y (B) y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

En contraste, la asociación entre la longitud de la hoja y los botones florales fue negativa ($r = - 0.9990$). Esto puede deberse a la asincronía del crecimiento y desarrollo de las inflorescencias y al momento del muestreo, pues esta asociación no se observó entre la longitud de hoja y el total de las flores (y frutos inmaduros).

Otras asociaciones negativas y significativas ($p \leq 0.05$) se obtuvieron entre la longitud de la sección basal (con brácteas) y número de brácteas ($r = - 0.9986$), número de brácteas y anchura basal de la umbela ($r = - 0.9997$) y longitud de la sección apical (con umbelas) y anchura basal de la umbela ($r = - 0.9997$).

A mayor anchura basal de la umbela correspondió mayor longitud de la sección basal o con brácteas ($r = 0.9971$) ($p \leq 0.05$). Relaciones similares se observaron entre la longitud de la sección apical o con umbelas y el número de brácteas ($r = 0.9989$), el número de umbelas y su longitud ($r = 0.9995$), las flores sin tépalos senescentes y las senescentes ($r = 0.9995$), las flores sin tépalos senescentes y la producción total de botones florales más flores y frutos inmaduros ($r = 0.9988$), las flores senescentes y la producción total de botones florales más flores y frutos inmaduros ($r = 0.9998$) ($p \leq 0.05$). Las relaciones entre el número de flores y las otras estructuras mencionadas parecen estar todas relacionadas con el potencial de rendimiento de las plantas.

La biomasa seca promedio acumulada en la zona cortical con la epidermis del escapo en las plantas 1 y 2 de *A. salmiana* fue 29.1 % (± 5.025) y 27.8 % (± 4.310); *A. mapisaga*, acumuló en el mismo tejido 34.1 % (± 4.106). Estos valores parecen mayores que los de los tejidos juntos del escapo de *A. fourcroydes* (13.1 %) y *A. angustifolia* (12.7 y 17.1 %) desarrollados en la comunidad de Dzodzil y Telchac, Yucatán (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1993).

En el tejido medular del escapo la planta 2 acumuló en promedio 20.1 % (\pm 1.411), que representó casi 2 % menos que en el tejido cortical. La planta 1 de *A. salmiana* y *A. mapisaga* acumularon en promedio una cantidad de biomasa seca de 25.1 % (\pm 1.582) y 30.4 % (\pm 4.159), respectivamente, similar a la del tejido cortical.

Los porcentajes promedio de biomasa seca acumulada en el escapo floral como componente del rendimiento indican la eficiencia de las plantas para acumular materia que eventualmente será transportada a las estructuras en desarrollo, como los botones florales, flores, cápsulas y semillas. La eficiencia del transporte de fotoasimilados en los órganos de almacenamiento temporal depende de diversos factores intrínsecos a la planta y ambientales (Salisbury y Ross, 2000).

En las plantas MAC, además de cuantificar la biomasa acumulada, que puede utilizarse para calcular la tasa de crecimiento, interesa conocer la condición de hidratación de los tejidos. En este estudio la humedad del escapo se evaluó en diferentes secciones entre la base y el ápice. El contenido de humedad mostró una tendencia lineal de incremento de humedad en los tejidos más externos del escapo, zona cortical con epidermis, en las dos especies de *Agave*. En promedio, la base del escapo floral de *A. salmiana* presentó 66 % de humedad y ésta incrementó a 77 % en la sección apical. Un gradiente parcialmente similar se observó en el escapo floral de *A. mapisaga*, con contenidos de humedad menores que en *A. salmiana*, en promedio de 62 a 70 % (Figura 3.20).

El contenido de humedad en el tejido de la médula, a lo largo del escapo floral, fue parcialmente diferente entre las plantas de *A. salmiana*. En la planta 1, el porcentaje de humedad mantuvo una tendencia lineal con pendiente cercana a cero;

esto es, no se modificó a lo largo del escapo. Aunque la planta 2 también mostró que la humedad en el tejido medular se mantiene a lo largo del escapo floral, sus valores fueron ligera, pero significativamente superiores que los de la planta 1 (Figura 3.21).

En contraste con el tejido cortical, el contenido de humedad en el tejido de la médula, a lo largo del escapo floral de *A. mapisaga*, tendió a disminuir de la base al ápice del escapo, de 74.1 a cerca de 65.7 % en la zona central (Figura 3.20, 3.21).

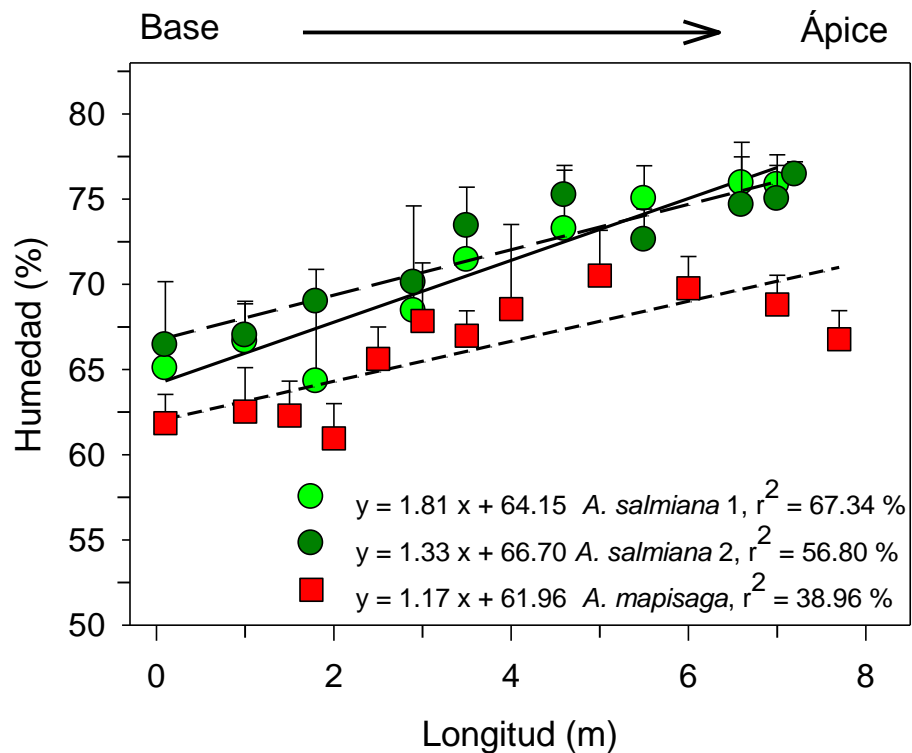


Figura 3.20. Porcentaje de humedad de la zona cortical con la epidermis a lo largo del escapo de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. Las barras verticales indican la desviación estándar.

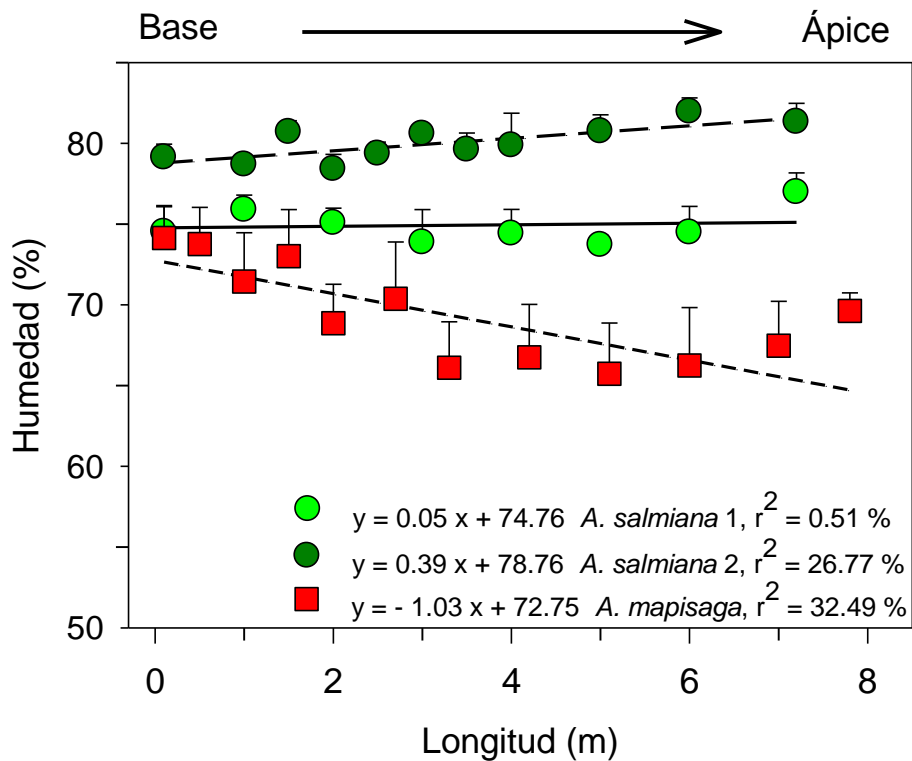


Figura 3.21. Porcentaje de humedad (%) de la médula a lo largo del escapo de dos plantas de *Agave salmiana* y una de *A. mapisaga* recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. Las barras verticales indican la desviación estándar.

3.5.3 Tamaño y biomasa en flor y fruto

Durante la antesis de las plantas de *A. salmiana* y *A. mapisaga* se observó la asincronía de esta etapa fenológica, pues se identificaron y separaron de la inflorescencia botones florales pequeños, botones florales grandes, flores sin tépalos senescentes, flores senescentes y frutos. Estas estructuras florales presentaron diferencias en la longitud promedio del pedicelo, el ovario y los tépalos, y en la circunferencia del pedicelo, receptáculo y ovario ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Promedio \pm D.E. de longitud y circunferencia (cm) del pedicelo, ovario, tépalos y receptáculo. Botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).

Medición	Muestra	Inflorescencia					
		<i>A. salmiana</i>				<i>A. mapisaga</i>	
		Planta 1		Planta 2			
Longitud del pedicelo	1	1.35 \pm 0.231	a	1.55 \pm 0.168	a	1.42 \pm 0.194	a
	2	1.48 \pm 0.123	ab	1.32 \pm 0.340	b	1.49 \pm 0.171	a
	3	1.62 \pm 0.217	b	1.33 \pm 0.282	b	1.42 \pm 0.152	a
	4	1.64 \pm 0.313	b	-	-	1.46 \pm 0.227	a
	5	1.61 \pm 0.245	b	1.55 \pm 0.239	a	-	-
Longitud del ovario	1	4.18 \pm 0.643	a	3.44 \pm 0.362	a	4.08 \pm 0.362	a
	2	4.46 \pm 0.462	ab	4.69 \pm 0.608	b	4.09 \pm 0.448	a
	3	5.26 \pm 0.404	bc	4.65 \pm 0.809	b	4.65 \pm 0.383	b
	4	5.29 \pm 0.507	c	-	-	5.05 \pm 0.608	c
	5	5.65 \pm 0.706	c	6.00 \pm 0.613	c	-	-
Longitud de tépalos	1	4.07 \pm 0.360	a	4.67 \pm 0.379	a	4.45 \pm 0.201	a
	2	4.51 \pm 0.574	b	5.55 \pm 0.363	b	4.56 \pm 0.228	ab
	3	3.80 \pm 0.212	ac	5.08 \pm 0.370	c	4.68 \pm 0.175	b
	4	3.72 \pm 0.179	c	-	-	4.07 \pm 0.288	c
	5	4.25 \pm 0.621	ab	4.35 \pm 0.216	d	-	-
Circunferencia del pedicelo	1	1.91 \pm 0.150	a	1.69 \pm 0.104	a	1.63 \pm 0.118	a
	2	1.86 \pm 0.150	a	1.96 \pm 0.170	b	1.64 \pm 0.157	a
	3	2.10 \pm 0.100	ab	1.90 \pm 0.182	bc	1.64 \pm 0.094	a
	4	2.03 \pm 0.206	a	-	-	1.61 \pm 0.149	a
	5	2.21 \pm 0.201	b	2.03 \pm 0.187	c	-	-
Circunferencia del receptáculo	1	2.47 \pm 0.150	a	2.01 \pm 0.092	a	2.19 \pm 0.083	a
	2	2.37 \pm 0.241	a	2.28 \pm 0.166	b	2.21 \pm 0.129	a
	3	2.76 \pm 0.152	bc	2.27 \pm 0.326	bc	2.30 \pm 0.115	b
	4	2.68 \pm 0.359	b	-	-	2.44 \pm 0.180	c
	5	2.84 \pm 0.317	c	2.43 \pm 0.198	c	-	-
Circunferencia del ovario	1	3.45 \pm 0.331	a	2.61 \pm 0.283	a	3.25 \pm 0.100	a
	2	3.21 \pm 0.145	a	3.21 \pm 0.436	b	3.26 \pm 0.109	a
	3	3.92 \pm 0.130	b	3.18 \pm 0.364	b	3.59 \pm 0.205	b
	4	3.90 \pm 0.302	b	-	-	4.04 \pm 0.418	c
	5	4.64 \pm 0.807	c	5.00 \pm 0.595	c	-	-

n: Número de datos: en Planta 1 de *Agave salmiana* fue 15, 10, 5, 20 y 20 para muestra 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente; en Planta 2 de *A. salmiana* fueron 22, 28, 26 y 20 para muestra 1, 2, 3 y 5, respectivamente; y en *A. mapisaga* fue 20 para muestra 1, 2 y 3 y 21 para la 4. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre muestras de una inflorescencia ($p \leq 0.05$). Sin dato (-).

Los botones florales pequeños (clasificados como no comestibles) de la planta 2 de *A. salmiana* presentaron una longitud menor ($p \leq 0.05$) en ovario y tépalos que los botones florales grandes (comestibles), algo similar ocurrió en la circunferencia del pedicelo, receptáculo y ovario; sin embargo, en la longitud del pedicelo se observó lo contrario. Con respecto, a la planta 2 de *A. salmiana* también se encontró una longitud menor en los tépalos de los botones florales pequeños ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3.3). Para el resto de las mediciones, las diferencias descritas no fueron observadas entre los botones florales pequeños y grandes de la planta 1 de *A. salmiana* y de *A. mapisaga*.

Las flores sin tépalos senescentes de la planta 1 de *A. salmiana* tuvieron una longitud mayor del pedicelo y el ovario y una circunferencia mayor del receptáculo y el ovario que los botones florales pequeños y grandes, mientras que en la planta 2 no existió diferencia en la longitud y circunferencia entre flores sin tépalos senescentes y botones florales grandes.

En *A. mapisaga* las flores sin tépalos senescentes tuvieron una longitud mayor ($p \leq 0.05$) del pedicelo y el ovario y una circunferencia mayor del receptáculo y el ovario que los botones florales pequeños y grandes, similar a la planta 1 de *A. salmiana*, pero no en la longitud del pedicelo, ya que el incremento en la longitud de la flor fue influenciado por el de tépalos y ovario. De acuerdo con Schaffer y Schaffer (1979) el incremento en el tamaño de la flor se asocia con los polinizadores porque estos visitan con más frecuencia las flores grandes.

La longitud y circunferencia del pedicelo, ovario, tépalo y receptáculo incrementó con forme se desarrollaron las flores. Esta diferencia fue amplia ($p \leq 0.05$)

en los frutos de ambas plantas de *A. salmiana* respecto a los botones florales, flores sin tépalos senescentes y flores senescentes (Cuadro 3.3).

En *A. mapisaga* las flores senescentes presentaron una longitud y circunferencia mayor en las estructuras florales ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3.3).

El contenido de biomasa seca en el ovario de botones florales pequeños en la planta 1 de *A. salmiana* fue 3.8 % menos que la de botones florales grandes, y lo opuesto se observó en la planta 2 (Cuadro 3.4) ($p \leq 0.05$). En esta planta, la biomasa seca del pedicelo y el conjunto del perianto, estambres, estilo y estigma (PEEE) fue menor en los botones florales grandes que en los pequeños, flores sin tépalos senescentes y frutos. También, se encontró un contenido alto de materia seca en el PEEE de los frutos de la planta 2 de *A. salmiana*, y en la planta 1 de *A. salmiana* y de *A. mapisaga* fue en las flores senescentes. Esto se debe a que el PEEE en flores senescentes y frutos ha modificado su fisiología y la producción de polen y néctar ya no la realiza en esa etapa de desarrollo (Arizaga *et al.*, 2000; Eguiarte *et al.*, 2000).

La longitud de pedicelo, ovario y tépalos de los botones pequeños de la planta 2 de *A. salmiana* fue menor que los de la planta 1 y de *A. mapisaga* (Cuadro 3.5) ($p \leq 0.05$). Lo opuesto se observó con los tépalos de botones florales grandes y flores senescentes, la longitud de estas estructuras fue 1.28 y 0.40 cm mayor que en la planta 2 y *A. mapisaga*.

Cuadro 3.4. Promedio de biomasa seca \pm D.E (%) en pedicelo, ovario y perianto más estambres, estilo y estigma (PEEE). Botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).

Estructura	Muestra	Inflorescencia					
		<i>A. Salmiana</i>				<i>A. mapisaga</i>	
		Planta 1		Planta 2			
Pedicelo	1	25.88 \pm 5.98	a	13.95 \pm 2.32	a	23.79 \pm 2.31	a
	2	26.72 \pm 2.73	a	12.96 \pm 1.35	b	26.47 \pm 4.01	b
	3	23.68 \pm 2.21	a	17.13 \pm 4.28	c	30.68 \pm 3.01	c
	4	25.27 \pm 5.90	a	-	-	28.82 \pm 3.38	c
	5	24.37 \pm 8.09	a	17.63 \pm 0.89	c	-	-
Ovario	1	16.79 \pm 2.35	a	12.34 \pm 1.52	a	15.81 \pm 1.10	a
	2	20.54 \pm 1.73	b	10.69 \pm 1.00	b	15.18 \pm 1.11	a
	3	15.63 \pm 1.57	ac	11.94 \pm 1.63	a	18.37 \pm 1.21	b
	4	16.98 \pm 3.31	a	-	-	15.46 \pm 4.12	a
	5	14.34 \pm 2.58	c	10.68 \pm 0.66	b	-	-
PEEE	1	27.17 \pm 7.02	a	16.93 \pm 3.30	a	16.19 \pm 1.02	a
	2	24.84 \pm 2.69	a	12.75 \pm 1.14	b	16.54 \pm 1.08	a
	3	43.02 \pm 9.66	b	17.73 \pm 2.80	a	18.09 \pm 1.16	b
	4	74.73 \pm 12.60	c	-	-	71.30 \pm 9.91	c
	5	55.22 \pm 17.77	b	70.61 \pm 6.77	c	-	-

n: en Planta 1 de *A. salmiana* fue 15, 10, 5, 20 y 20 para muestra 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente; en Planta 2 de *A. salmiana* fueron 22, 28, 26 y 20 para muestra 1, 2, 3 y 5, respectivamente; y en *A. mapisaga* de 20 para muestra 1 a 3 y 21 para 4. Valores de las estructuras seguidos por letras diferentes en indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). Sin dato (-).

La circunferencia del pedicelo, receptáculo y ovario de botones pequeños y flores sin tépalos senescentes de la planta 1 de *A. salmiana* fue mayor que en la

planta 2 ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3.6). Esto también ocurrió en el pedicelo y ovario de los botones pequeños, flores sin tépalos senescentes y flores senescentes entre las plantas de *A. salmiana* y *A. mapisaga*. Además, la circunferencia del pedicelo de los botones grandes (comestibles) de ambas plantas de *A. salmiana* fueron entre 0.22 y 0.32 mm más grande que los de *A. mapisaga* (Cuadro 3.6) ($p \leq 0.05$).

Cuadro 3.5. Promedio \pm D.E. (%) de longitud (cm) en botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).

Muestra	Estructura	Inflorescencia					
		<i>A. salmiana</i>				<i>A. mapisaga</i>	
		Planta 1		Planta 2			
1	Pedicelo	1.35 \pm 0.231	a	1.55 \pm 0.168	b	1.42 \pm 0.194	ab
	Ovario	4.18 \pm 0.643	a	3.44 \pm 0.362	b	4.08 \pm 0.362	a
	Tépalos	4.07 \pm 0.360	a	4.67 \pm 0.379	b	4.45 \pm 0.201	c
2	Pedicelo	1.48 \pm 0.123	ab	1.32 \pm 0.340	a	1.49 \pm 0.171	b
	Ovario	4.46 \pm 0.462	ab	4.69 \pm 0.608	a	4.09 \pm 0.448	b
	Tépalos	4.51 \pm 0.574	a	5.55 \pm 0.363	b	4.56 \pm 0.228	a
3	Pedicelo	1.62 \pm 0.217	a	1.33 \pm 0.282	b	1.42 \pm 0.152	ab
	Ovario	5.26 \pm 0.404	a	4.65 \pm 0.809	ab	4.65 \pm 0.383	b
	Tépalos	3.80 \pm 0.212	a	5.08 \pm 0.370	b	4.68 \pm 0.175	c
4	Pedicelo	1.64 \pm 0.313	a	-		1.46 \pm 0.227	a
	Ovario	5.29 \pm 0.507	a	-		5.05 \pm 0.608	a
	Tépalos	3.72 \pm 0.179	a	-		4.07 \pm 0.288	b
5	Pedicelo	1.61 \pm 0.245	a	1.55 \pm 0.239	a	-	
	Ovario	5.65 \pm 0.706	a	6.00 \pm 0.613	a	-	
	Tépalos	4.25 \pm 0.621	a	4.35 \pm 0.216	a	-	

n: en planta 1 de *A. salmiana* de 15, 10, 5, 20 y 20 para muestra 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente; en planta 2 de *A. salmiana* de 22, 28, 26 y 20 para muestra 1, 2, 3 y 5, respectivamente; y en *A. mapisaga* fue 20 para muestra 1 a 3 y 21 para 4. Valores seguidos de letras diferentes en las filas indican diferencias estadísticamente significativas entre las especies ($p \leq 0.05$). Sin dato (-).

Cuadro 3.6. Promedio \pm D.E. de la circunferencia (cm) de botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).

Muestra	Estructura	Inflorescencia					
		<i>A. salmiana</i>				<i>A. mapisaga</i>	
		Planta 1		Planta 2			
1	Pedicelo	1.91 \pm 0.150	a	1.69 \pm 0.104	b	1.63 \pm 0.118	b
	Receptáculo	2.47 \pm 0.150	a	2.01 \pm 0.092	b	2.19 \pm 0.083	c
	Ovario	3.45 \pm 0.331	a	2.61 \pm 0.283	b	3.25 \pm 0.100	a
2	Pedicelo	1.86 \pm 0.150	a	1.96 \pm 0.170	a	1.64 \pm 0.157	b
	Receptáculo	2.37 \pm 0.241	a	2.28 \pm 0.166	a	2.21 \pm 0.129	a
	Ovario	3.21 \pm 0.145	a	3.21 \pm 0.436	a	3.26 \pm 0.109	a
3	Pedicelo	2.10 \pm 0.100	a	1.90 \pm 0.182	b	1.64 \pm 0.094	c
	Receptáculo	2.76 \pm 0.152	a	2.27 \pm 0.326	b	2.30 \pm 0.115	b
	Ovario	3.92 \pm 0.130	a	3.18 \pm 0.364	b	3.59 \pm 0.205	a
4	Pedicelo	2.03 \pm 0.206	a	-		1.61 \pm 0.149	b
	Receptáculo	2.68 \pm 0.359	a	-		2.44 \pm 0.180	b
	Ovario	3.90 \pm 0.302	a	-		4.04 \pm 0.418	a
5	Pedicelo	2.21 \pm 0.201	a	2.03 \pm 0.187	b	-	
	Receptáculo	2.84 \pm 0.317	a	2.43 \pm 0.198	b	-	
	Ovario	4.64 \pm 0.807	a	5.00 \pm 0.595	b	-	

n: en Planta 1 de *A. salmiana* fue 15, 10, 5, 20 y 20 para muestra 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente; en Planta 2 de *A. salmiana* fueron 22, 28, 26 y 20 para muestra 1, 2, 3 y 5, respectivamente; y en *A. mapisaga* fue 20 para muestra 1 a 3 y 21 para 4. Valores en las filas seguidos por letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre especies ($p \leq 0.05$). Sin dato (-).

El contenido de materia seca en botones florales pequeños y grandes, flores sin tépalos senescentes y flores senescentes de la planta 1 de *A. salmiana* fue mayor que en la planta 2 ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3.7). Particularmente, el contenido de materia seca en PEEE de la planta 1 duplicó al de la planta 2, y en los frutos sucedió lo opuesto.

Ambas plantas tuvieron sólo 2.7 % menos contenido de biomasa seca en ovarios de flores sin tépalos senescentes que *A. mapisaga*; sin embargo, en los ovarios de botones grandes (comestibles) fue mayor sólo en la planta 2 de *A. salmiana* (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Promedio \pm D.E. (número de réplicas) de la biomasa seca (g) de botones florales pequeños (1), botones florales grandes (2), flores sin tépalos senescentes (3), flores senescentes (4) y frutos (5).

Muestra	Estructura	Inflorescencia					
		<i>A. salmiana</i>			<i>A. mapisaga</i>		
		Planta 1		Planta 2			
1	Pedicelo	25.88 \pm 5.98	a	13.95 \pm 2.32	b	23.79 \pm 2.31	a
	Ovario	16.79 \pm 2.35	a	12.34 \pm 1.52	b	15.81 \pm 1.10	a
	PEEE	27.17 \pm 7.02	a	16.93 \pm 3.30	b	16.19 \pm 1.02	b
2	Pedicelo	26.72 \pm 2.73	a	12.96 \pm 1.35	b	26.47 \pm 4.01	a
	Ovario	20.54 \pm 1.73	a	10.69 \pm 1.00	b	15.18 \pm 1.11	c
	PEEE	24.84 \pm 2.69	a	12.75 \pm 1.14	b	16.54 \pm 1.08	c
3	Pedicelo	23.68 \pm 2.21	a	17.13 \pm 4.28	b	30.68 \pm 3.01	c
	Ovario	15.63 \pm 1.57	a	11.94 \pm 1.63	b	18.37 \pm 1.21	c
	PEEE	43.02 \pm 9.66	a	17.73 \pm 2.80	b	18.09 \pm 1.16	b
4	Pedicelo	25.27 \pm 5.90	a	-		28.82 \pm 3.38	a
	Ovario	16.98 \pm 3.31	a	-		15.46 \pm 4.12	a
	PEEE	74.73 \pm 12.60	a	-		71.30 \pm 9.91	a
5	Pedicelo	24.37 \pm 8.09	a	17.63 \pm 0.89	b	-	
	Ovario	14.34 \pm 2.58	a	10.68 \pm 0.66	b	-	
	PEEE	55.22 \pm 17.77	a	70.61 \pm 6.77	b	-	

PEEE: conjunto del perianto, estambres, estilo y estigma. n: en planta 1 de *A. salmiana* fue 15, 10, 5, 20 y 20 para muestra 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente; en planta 2 de *A. salmiana* fueron 22, 28, 26 y 20 para muestra 1, 2, 3 y 5, respectivamente; y en *A. mapisaga* fue 20 para muestra 1 a 3 y 21 para 4. Valores seguidos de letras diferentes en las filas indican diferencias estadísticamente significativas entre especies ($p \leq 0.05$). Sin dato (-).

Después de realizar la presente investigación, las siguientes determinaciones se identificaron como necesarias para ampliar la descripción de la distribución de la biomasa y el número de estructuras en las inflorescencias: medir la distancia entre umbelas, ampliar las mediciones para determinar la relación entre los recursos de la roseta y la producción de umbelas y flores. Evaluar las visitas de los polinizadores. Determinar la producción de umbelas y flores durante el desarrollo y crecimiento de la inflorescencia. Además, sería conveniente realizar evaluaciones bioquímicas para conocer con precisión la movilización de fotoasimilados de los órganos fuente a los órganos demanda durante la etapa reproductiva de los magueyes. Evaluar el efecto de las variables edáficas y climáticas durante la producción de flores.

3.6. Conclusiones

La producción total de botones florales más flores y frutos inmaduros fue mayor en los primeros dos tercios de la sección apical o con umbelas de la inflorescencia, así como las longitudes y anchuras mayores del pedúnculo de la umbela.

La distribución de flores y frutos inmaduros es irregular entre las umbelas y a lo largo de la sección apical de la inflorescencia; en las primeras umbelas, en la base de la sección apical, se producen cantidades menores de flores y frutos inmaduros que en las ubicadas en la zona central de la sección apical de las inflorescencias de ambas especies.

Únicamente en *A. salmiana*, los tépalos de botones florales pequeños (no comestibles) son de menor talla que los botones florales grandes (comestibles).

El tamaño del escapo floral no mostro relación directa y significativa con el de la planta.

Existió relación directa entre el diámetro de la roseta con la producción de flores, frutos inmaduros y la sumatoria total de botones florales más flores y frutos inmaduros por inflorescencia en ambas especies.

3.7. Literatura citada

- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 1995. Insurance against reproductive failure in a semelparous plant: bulbil formation in *Agave macroacantha* flowering stalks. *Oecologia* 101: 329-334.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. I. Floral Biology and pollination mechanisms. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Callen, E. O. 1967. Analysis of the Tehuacán Coprolites. In: Byers, D. S. (edited). 1967. The prehistory of the Tehuacan Valley. Vol. I. Environment and Subsistence. University of Texas Press. Austin & London. pp. 261-289.
- Castro-Díaz, A. S. y J. A. Guerrero-Beltrán. 2013. El agave y sus productos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 7-2: 53-61.
- Colunga-GarcíaMarín, P., J. Coello-Coello, L. Espejo-Peniche y L. Fuente-Moreno. 1993. Value of the inflorescence peduncle and incipient domestication. *Economic Botany* 47(3): 328-334.
- Crouch, N. R. and G. F. Smith. 2011. AGAVACEAE, *Furcraea foetida*: an invading alien in South Africa. *Bothalia* 41 (1): 196-199.
- Eguiarte, L. E., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Bol. Soc. Bot. México* 66: 131-150.
- Fournier G., P. 2007. Los *hñähñu* del Valle del Mezquital: maguey, pulque y alfarería. CONACULTA, INAH and ENAH, México.

- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. UNAM. México. pp. 130 y 169.
- García-Herrera, E. J., S. de J. Méndez-Gallegos y D. Talavera-Magaña. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Ed. Especial 5: 109-129.
- García-Moya, E., A. Romero-Manzanares and P. S. Nobel. 2011. Highlights for *Agave* Productivity. *GCB Bioenergy* 3: 4-14.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *CIENCIAS* 87: 15-23.
- García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Agavaceae. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 95 p.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press. U.S.A. p. 30.
- Gómez-Aiza, L. y I. Zuria. 2010. Aves visitantes a las flores del maguey (*Agave salmiana*) en una zona urbana del centro de México. *Ornitología Neotropical* 21: 17-30.
- Granados S., D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 90.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Atlacomulco. México. Consultado en línea el 13 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15014.pdf>
- Martinez, C. y L. E. Eguiarte. 1987. Bird visitation to *Agave salmiana*: comparisons among hummingbirds and perching birds. *The Condor* 89: 357-363.
- Martínez, M., H. Rubio A. y A. Ortega R. 2005. Population structure of maguey (*Agave salmiana* ssp. *crassispina*) in Southeast Zacatecas, Mexico. *Arid Land Research and Management* 19: 101-109.
- Martínez-Salvador, M., R. Valdez-Cepeda, H. R. Arias, L. F. Beltrán-Morales, B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez and A. Ortega-Rubio. 2005. Distribution and density of maguey Plants in the arid Zacatecas Plateau, Mexico. *Journal of Arid Environments* 61: 525-534.

- Mora-López, J. L., J. A. Reyes-Agüero, J. L. Flores-Flores, C. B. Peña-Valdivia y J. R. Aguirre-Rivera. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección salmianae del género *Agave*. *Agrociencia* 45: 465-477.
- Nobel, P. S. 1977. Water relations of flowering of *Agave deserti*. *Botanical Gazette* 138: 1-6.
- Nobel, P. S. 1985. Par, water, and temperature limitations on the productivity of cultivated *Agave fourcroydes* (henequen). *Journal of Applied Ecology* 22: 157-173.
- Nobel, P. S. 1990. Environmental influences on CO₂ uptake by agaves, CAM plants with high productivities. *Economic Botany* 44(4): 488-502.
- Nobel, P. S. y E. Quero. 1986. Environmental productivity indices for a Chihuahuan Desert CAM plant, *Agave lechuguilla*. *Ecology* 67: 1-11.
- Nobel, P. S. y R. L. Hartsock. 1986. Temperatura, water, and PAR influences on predicted and measured productivity of *Agave deserti* at various elevations. *Oecologia* 68: 181-185.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia y J. R. Aguirre. 2014. Respuestas bioquímicas-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences* 92(1): 131-139.
- Reynoso-Santos, R., García-Mendoza, A. J., López-Báez, W., López-Luna, A., Cadena Iñiguez, P., Pérez-Farrera, M. A. y M. H. Domínguez Gutiérrez. 2012. Identificación taxonómica de agaves (*Agave* spp.) utilizados para la elaboración de licor comiteco en Chiapas, México. *Agroproductividad* 5(4): 9-17.
- Rocha, M., S. V. Good-Ávila, F. Molina-Freaner, H. T. Arita, A. Castillo, A. García-Mendoza, A. Silva-Montellano, B. S. Gaut, V. Souza y L. E. Eguiarte. 2006. Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso* 22: 329-344.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), México. pág. 1243.
- Salisbury, F.B., Ross C.W. 2000. Fisiología de las Plantas. Tomo 3. Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental. Ed. Thomson-Paraninfo.
- Schaffer, W. M. and M. V. Schaffer. 1979. The adaptive significance of variations in reproductive habit in the Agavaceae II: Pollinator foraging behavior and selection for increased reproductive expenditure. *Ecology* 60(5): 1051-1069.

- Slauson, L. 1994. Factors affecting the distribution, pollination ecology, and evolution of *Agave chrysantha* Peebles and *A. palmeri* Engelm. (Agavaceae). pp. 194 – 205. *In*: DeBano, L. F., G. J. Gottfried, R. H. Hamre, C. B. Edminster, P. F. Ffolliott y A. Ortega-Rubio (Editors). 1994. Biodiversity and Management of the Madran Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, United States Department of Agriculture, School of Renewable Natural Resources and University of Arizona. U. S. A. 669 p.
- Stephenson, A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecologic Systems* 12: 253-279.
- Torres, C. y L. Galetto. 2008. Importancia de los polinizadores en la reproducción de asteráceas de Argentina Central. *Acta Botánica Venezolana* 31(2): 473-494.
- Vela, E. 2014. Los usos del maguey. *Arqueología Mexicana* 57: 56-65.

CAPÍTULO IV. RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck

4.1. Resumen

Las semillas son el medio de propagación sexual de los magueyes, cada planta produce una gran cantidad de ellas y representan un recurso con potencial de uso amplio. El objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de semilla y las estructuras que las contienen de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. La hipótesis es que el rendimiento de semilla es similar en plantas que crecieron en el mismo sitio y maduraron simultáneamente. Dos infrutescencias de *A. salmiana* se cosecharon en San Luis Potosí, SLP, en el año 2014. Las variables evaluadas fueron número de umbelas, de cápsulas por umbela y por planta, de semillas normales y abortadas por cápsula, por umbela y por planta, y biomasa de valvas, semillas normales y abortadas por cápsula y por planta. El número de umbelas por planta (17 a 25), cápsulas por umbela (6 a 179 y 6 a 55) y por planta (590 a 1 990), semillas normales por cápsula (0 a 297 y 3 a 156), semillas normales por planta (30 610 a 186 209) y semillas abortadas por planta (217 506 a 619 251) variaron amplia y significativamente entre las infrutescencias; la variabilidad también se detectó en la biomasa de las cápsulas por umbela en las plantas (20 a 795 y 18 a 226 g), semillas normales y abortadas por cápsula (0 a 3.320 y 0.032 a 2.125 g; y 0.089 a 1.449 y 0.296 a 0.996 g), por umbela (3.44 a 185.26 y 0.99 a 38.20 g; y 2.27 a 97.76 y 2.95 a 34.55 g) y por planta (380 a 2

069 y 362 a 1 052 g). El rendimiento de semilla fue estadísticamente diferente entre plantas de *A. salmiana* que crecieron en el mismo sitio y maduraron simultáneamente.

Palabras clave: Infrutescencia, cápsula, maguey, semilla, umbela.

4.2. Abstract

Seeds are the means of sexual propagation of the maguey cactus; each plant produces a large number of them, they represent a resource with wide application potential. The objective of the present study was to assess seed yield and the structures that contain them in *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. The hypothesis is that seed yield is similar in plants that grew up in the same place and matured at the same time. Two infrutescences of *A. salmiana* were harvesting in San Luis Potosí, SLP, in 2014. The variables evaluated were number of umbels, of capsules per umbel and per plant, normal seeds and aborted seeds by capsule, per umbel and per plant, and biomass of valves, normal and aborted seeds per capsule and per plant. The number of umbels per plant (17-25), capsules for umbel (6 to 179 and 6 to 55) and per plant (590 to 1990), normal seeds per capsule (0 to 297 and 3 to 156), normal seeds per plant (30 610 to 186 209) and aborted seeds per plant (217 506 to 619 251) wide and significantly varied among infrutescences; variability was also detected in the biomass of capsules per umbel in plants (20 to 795 and 18 to 226 g), normal seeds in and aborted seeds per capsule (0 to 3.320 and 0.032 to 2.125 g; and 0.089 to 1.449 and 0.296 to 0.996 g), per umbel (3.44 to 185.26 and 0.99 to 38.20 g; and 2.27 to 97.76 and 2.95 to 34.55 g) and per plant (380 to 2 069 and 362 to 1 052 g). Seed yield

was statistically different between *A. salmiana* plants that grew up in the same place and matured at the same time.

Keywords: Infrutescence, capsule, maguey, seed, umbel.

4.3. Introducción

Las especies del género *Agave* producen una gran cantidad de semilla por lo que podrían propagarse sexualmente (semillas), pero *in situ* la propagación depende principalmente de la reproducción asexual (vástagos vegetativos o hijuelos y bulbilos) (Gentry, 1982; García-Mendoza, 2007). Las semillas que germinan *in situ* son pocas y el establecimiento y desarrollo de plántulas es mínimo. Al respecto Jordan y Nobel (1979) señalaron que en el desierto de Sonora, de entre 1.2 millones de semillas de *A. deserti* sólo una llega a desarrollar una planta madura.

García-Mendoza (2007) señaló que la mayoría de los magueyes presentan reproducción asexual; no obstante, cerca del 80 % de las especies del género *Agave* producen semillas (Szarek y Holmesley, 1996).

Diversas especies del género *Agave* agrónomicamente importantes, como *A. sisalana* o *A. angustifolia* entre otras, no se propagan por semilla (Nobel, 1998). La reproducción asexual en maguey origina cierta variabilidad genética, pero es menor a la originada por la reproducción sexual, y sólo les permite ampliar su área de distribución en espacio (García-Mendoza, 2007). En cambio, las semillas facilitan a los magueyes colonizar microambientes nuevos, ampliar su área de distribución, en tiempo y espacio, y originar individuos con variabilidad genética mayor que les permite

responder a condiciones ambientales adversas (Moreno, 2003). Sin embargo, la multiplicación sexual de los magueyes se enfrenta a factores adversos, como la dispersión de las semillas, los depredadores de ellas y de las plántulas, la germinación y sobrevivencia de las plántulas en ambientes naturales adversos (humedad restringida, temperaturas extremas, irradiaciones elevadas) (Nobel, 1988; García-Mendoza, 2007; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012).

Las cápsulas de maguey en la infrutescencia contienen semillas en abundancia, se abren lentamente y las semillas se dispersan por el viento (anemocoria) (Moreno, 2003; García-Mendoza, 2007). La dispersión de la semilla en maguey está favorecida por su forma (aplanada) y un ala corta en su porción convexa (García-Mendoza, 2011). Sin embargo, en algunas especies como *A. schottii* Engelm. sólo 15 % de sus semillas se dispersan (Trame *et al.*, 1995).

La producción de semillas en los magueyes varía ampliamente entre las especies. El número de estas estructuras pueden variar de 777 en *A. angustifolia* a 780 000 en *A. palmeri* (Howell y Roth, 1981; Molina-Freaner y Eguiarte, 2003). Reyes (2013) indicó que una inflorescencia de *Agave* sp. puede producir más de 3000 semillas, Nobel (1998) reportó una producción de hasta 65 000 mil por infrutescencia de *A. deserti* Engelm. y Lorenzo (2012) reveló que las infrutescencias de *A. salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry llegan a producir de 28 084 a 80 504. Existen estudios numerosos en los que se menciona la abundancia de las semillas (Gentry, 1972; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1996; Colunga-GarcíaMarín y May-Pat, 1997; Nobel, 1977; Howell y Roth, 1981; Szarek y Holmesley, 1996; Eguiarte *et al.*, 2000; Arizaga *et al.*, 2000a; Arizaga *et al.*, 2000b; Arizaga y Ezcurra, 2002; Arizaga y

Ezcurra, 2002; Molina-Freaner y Eguiarte, 2003; Rocha *et al.*, 2005; Escobar-Guzmán *et al.*, 2008; Escobar-Guzmán *et al.*, 2008; Lorenzo, 2012) en *A. chrysoglossa*, *A. fourcroydes* y *A. angustifolia*, *A. deserti*, *A. palmeri*, *A. horrida*, *A. macroacantha*, *A. vilmoriniana*, *A. angustifolia* y *A. subsimplex*, *Agave* sp., *A. celsii* var. *albicans*, *A. difformis*, *A. striata* y *A. xylonacantha*, *A. americana*, *A. tequilana* y *A. salmiana* subsp. *crassispina*. Dichos estudios evidencian una variación amplia en el número de frutos por infrutescencia y de semilla entre las especies y entre infrutescencias de una misma especie y en la mayoría de ellos el número total de semillas se predice y los caracteres morfológicos de la cápsula no se consideran. En contraste, en relación con la distribución de cápsulas y semillas en la infrutescencia la información es escasa. Lorenzo (2012) señaló la variación en el número de cápsulas producidas por umbela en *A. salmiana* subsp. *crassispina*, y registró la producción mayor en la primera mitad de la infrutescencia.

La producción alta de cápsulas y semillas por planta de maguey ha permitido su uso en la alimentación humana (García-Herrera *et al.*, 2010; Semuli, 2014), elaboración de sonajas, aretes, collares y juguetes para niños (Granados, 1993; García-Herrera *et al.*, 2010). Además, sirven de alimento a aves, roedores, hormigas y larvas de insectos (Nobel, 1977; García-Mendoza, 2007; Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

La importancia ecológica y antropocéntrica de las semillas de maguey se ha documentado escasamente, así como su producción neta y relación con caracteres morfológicos del fruto. El objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de semilla y las estructuras que las contienen en *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck. La

hipótesis es que el rendimiento de semilla es similar en plantas que crecieron en el mismo sitio y maduraron simultáneamente.

4.4. Materiales y métodos

4.4.1 Sitio de recolecta

La recolecta se realizó en San Luis Potosí, SLP, México (22° 40' y 21° 57' LN; 100° 44' y 101° 11' LO), con altitud de 1870 m y de acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1987) clima BSokw(e)gw", equivalente a (BS) seco estepario, (o) árido, (k) templado, (w) con lluvias en verano, (e) extremoso con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 7 °C y 14 °C, (g) marcha de la temperatura tipo Ganges, y (w") con canícula (García, 1987; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2009).

4.4.2 Material vegetal

Las plantas de maguey para el estudio fueron identificadas por el Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera, especialista en magueyes del altiplano potosino-zacatecano, del Instituto de Investigaciones en Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dos infrutescencias de *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck se cosecharon en agosto de 2014, cuando estaban maduras pero las cápsulas aún no mostraban dehiscencia. A las umbelas se les asignó un número en orden creciente en sentido acrópeto del escapo, se marcaron y separaron del escapo, luego las cápsulas de cada

umbela se dejaron secar a temperatura ambiente, en un lugar seco, aireado y sombreado, por cuatro semanas. Posteriormente, las cápsulas se guardaron en bolsas de papel y se mantuvieron en cajas de cartón hasta su análisis un mes después.

4.4.3. Variables evaluadas

Aleatoriamente, a las infrutescencias se les asignó, independientemente del origen, planta 1 y planta 2. Las variables evaluadas fueron:

- Número de cápsulas por umbela,
- Diámetro y longitud de las cápsulas, con un calibrador digital tipo Vernier, estándar y milimétrico (Truper, CALDI-6MP; 14388),
- Biomasa de las cápsulas (g) (determinada en balanza analítica [con precisión de ± 0.0001 g; Scientech® SA 120]),
- Biomasa de las valvas por cápsula y umbela (g),
- Biomasa de las semillas normales por cápsula y umbela (g),
- Biomasa de las semillas abortadas por cápsula y umbela (g),
- Número de semillas normales por cápsula y umbela
- Número de semillas abortadas por cápsula en tres umbelas de cada infrutescencia.
- El número de semillas abortadas por infrutescencia, se calculó con su biomasa cuantificada por umbela y el número de semillas abortadas contabilizadas en tres umbelas.

- El contenido de humedad se determinó mediante liofilización, durante 96 horas, de una muestra compuesta por 10 semillas seccionadas a la mitad, por sextuplicado.

4.4.3 Diseño experimental

El estudio se desarrolló con un diseño completamente al azar con una planta como unidad experimental.

4.4.4 Análisis estadístico

El tipo de distribución del número y peso de cápsulas, semillas normales y abortadas, así como el peso de valvas por umbela a lo largo de la infrutescencia se determinó con la prueba de Chi-cuadrada para bondad de ajuste, de Shapiro-Wilks, de asimetría y de curtosis en el programa estadístico STATGRAPHICS Plus.

Los datos de la planta 1 se compararon con los de la planta 2 mediante prueba U de Mann-Whitney (W) ($p \leq 0.05$). Esta prueba, junto con los gráficos, se realizó en el programa estadístico SigmaPlot 11.0. Los parámetros de las umbelas de una misma infrutescencia se compararon mediante la prueba Kruskal Wallis (H) seguida de comparaciones de a pares en el programa estadístico InfoStat versión 2008. Cuando los datos no cumplían con los supuestos del análisis de varianza no paramétrico (ANAVA), se empleó la prueba U de Mann-Whitney, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

4.5. Resultados y discusión

4.5.1 Número de umbelas

Las plantas se identificaron aleatoriamente como planta 1 y planta 2. En la planta 1 se contabilizaron 25 umbelas y 17 en la planta 2.

4.5.2 Número de cápsulas

La planta 1 tuvo un total de 1 990 cápsulas. La cantidad de cápsulas por umbela se graficó para conocer su distribución sobre las umbelas y el escapo. En la planta 1 se observó una distribución tipo gaussiana de abundancia de cápsulas en las umbelas a lo largo del escapo ($p \geq 0.05$), es decir, la umbela de la base (núm. uno) y las apicales (núm. 24 y 25) de la infrutescencia tuvieron las cantidades menores de cápsulas (seis y 19). En contraste, algunas de las umbelas centrales núm. 12 y 14, tuvieron 172 y 179 cápsulas (Figura 4.1 A).

La planta 2 tuvo un total de 590 cápsulas, menos de un tercio de las presentes en la planta 1. Aunque, las umbelas de los extremos de la infrutescencia tuvieron menor cantidad de cápsulas (uno, dos, 16 y 17), su distribución en las umbelas a lo largo del escapo no mostró un máximo único y varias de ellas en ubicación diversa tuvieron los valores mayores de cápsulas (49 y 55) (Figura 4.1 B).

En ambas plantas, la producción de cápsulas fue menor en las umbelas de los extremos, basal y apical, de la infrutescencia. Esta tendencia es parcialmente similar a la reportada para infrutescencias de *A. salmiana* subsp. *crassispina* en San José

Alchichica, Puebla; las umbelas con producción alta de cápsulas fue documentada en la primera mitad de la infrutescencia (Lorenzo, 2012).

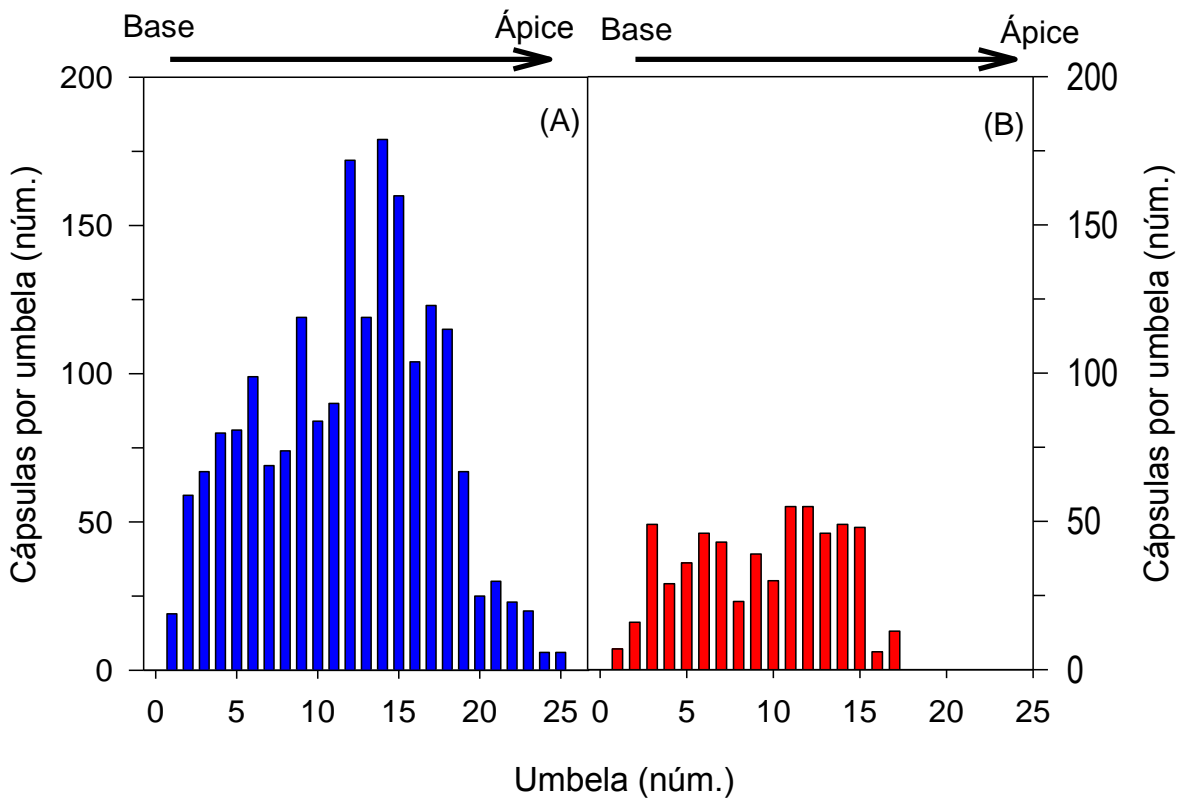


Figura 4.1. Número de cápsulas por umbela, en sentido acrópeto, en las infrutescencias de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

La cantidad de cápsulas fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) entre las plantas. La planta 2 presentó 70 % menos cápsulas que la planta 1. Lorenzo (2012) obtuvo resultados similares al comparar dos infrutescencias de *A. salmiana* subsp. *crassispina*, con una producción de 277 y 75 cápsulas. Estas variaciones entre infrutescencias se atribuyen a la diferencia en flores polinizadas de la umbela, entre

umbelas y entre las inflorescencias, al aborto de frutos inmaduros debido a la cantidad de recursos disponibles, herbivoría de flores y frutos entre otros factores (Stephenson, 1981; Ehrlén, 1991; Arizaga y Ezcurra, 1995).

4.5.3 Diámetro y longitud de las cápsulas

El diámetro promedio de las cápsulas en la planta 1 (22.50 mm; n = 1988) fue significativamente diferente al de las cápsulas de la planta 2 (21.25 mm; n = 589); la diferencia representó sólo 5.5 % ($p \leq 0.05$). Resultados similares (20 a 22 mm) se obtuvieron previamente en otras plantas de *A. salmiana* (Gentry, 1982), del Valle de México (20 a 24 mm) (Rzedowski y Rzedowski, 2005) y fueron parcialmente menores a los de las plantas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México (20 a 30 mm) (García-Mendoza, 2011).

Independientemente del tamaño promedio de las cápsulas, esas estructuras en cada umbela a simple vista parecían heterogéneas y eran identificables al menos tres clases: pequeñas, medianas y grandes (Figura 4.2). Así que el diámetro de las cápsulas por umbela se graficó para conocer si esta característica era homogénea o no entre las umbelas de cada planta. En ninguna de las plantas se observó alguna tendencia del diámetro promedio de las cápsulas dependiente de la posición o número de umbela en el escapo. Las umbelas de ambas plantas presentaron cápsulas con variabilidad amplia de diámetro; esto lo evidenció la amplitud de la desviación estándar (D.E.) en cada umbela (Figura 4.3 A y B). Además, el diámetro promedio de las cápsulas de la umbela 11 y 12 (20.75 y 20.71 cm) de la planta 1 fue menor a la de las umbelas 17 y 19 (22.22 y 22.25 cm) ($H = 88.72$; $p \leq 0.05$). En contraste, el diámetro de

las cápsulas de la umbela 16 fue menor a las umbelas de la base (uno a seis). Estos resultados son parcialmente diferentes a los documentados por Colunga-GarcíaMarín *et al.* (1996) y Colunga-GarcíaMarín y May-Pat (1997), quienes con base en la D.E. documentaron poca variación en el diámetro de las cápsulas entre variantes de *A. angustifolia* y de *A. fourcroydes*.



Figura 4.2. Cápsulas con tamaños diferentes en las umbelas de la infrutescencia de la planta 1 de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

La longitud promedio de las cápsulas en la planta 1 fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$). En la planta 1 las cápsulas tuvieron en promedio 54.27 mm ($n =$

1988) y las de la planta 2, que fueron 9 % más cortas que las de la planta 1, tuvieron en promedio 54.92 mm (n = 589) de longitud. Sólo la longitud de las cápsulas de la planta 2 coincide con lo reportado para las plantas de *A. salmiana* desarrolladas en América del Norte y el Valle de México (55 a 70 mm) (Gentry, 1982; Rzedowski y Rzedowski, 2005) y del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México (60 a 70 mm) (García-Mendoza, 2011).

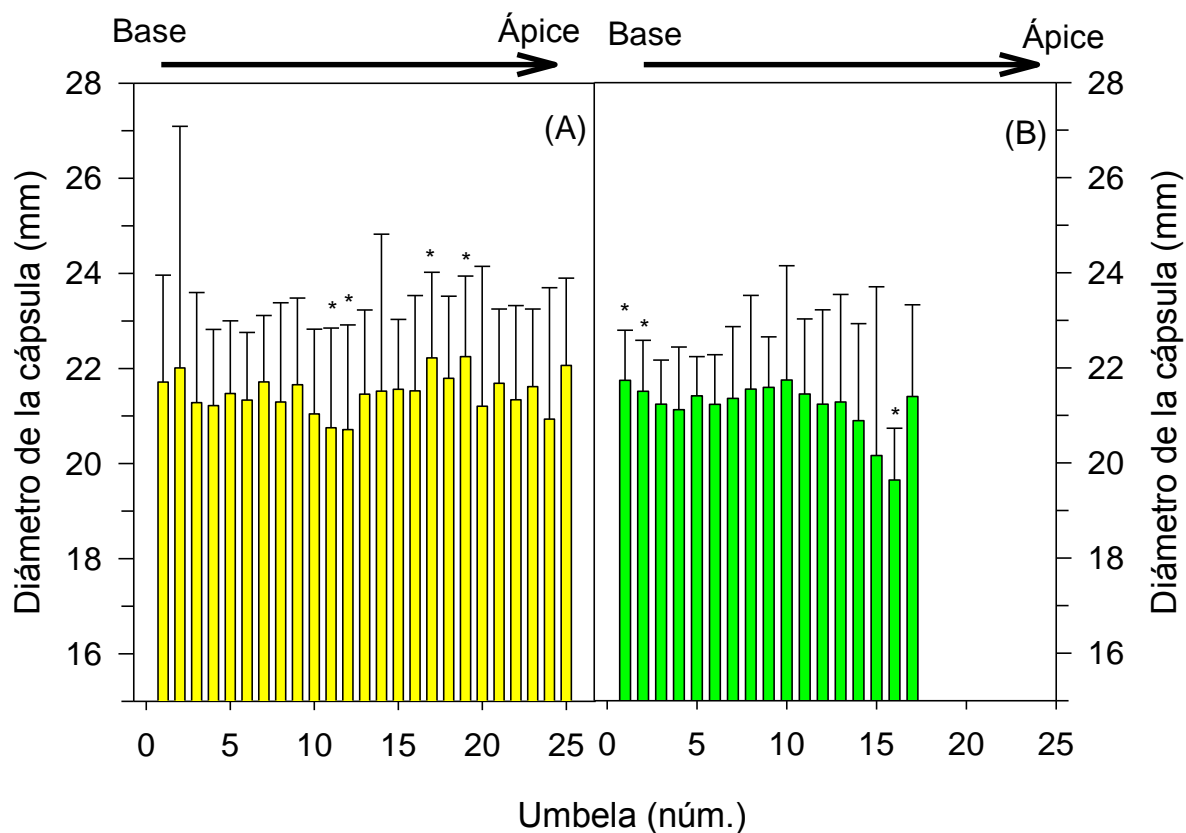


Figura 4.3. Diámetro promedio de las cápsulas (+ D.E.) en las umbelas de las infrutescencias, en sentido acrópeto, de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. Los asteriscos sobre las barras indican la diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de esa media con al menos otra de ellas.

La longitud de las cápsulas por umbela se graficó para conocer si en promedio esta característica es homogénea o no entre las umbelas. En la planta 1 se observó la presencia de cápsulas con longitud promedio mayor en las umbelas de la sección basal de la infrutescencia y las de la región apical. Las diferencias fueron significativas ($H= 174.64$; $p\leq 0.05$) entre las umbelas número dos, seis y siete de la región basal, y una de la sección relativamente cercana al ápice, la número 17, con las apicales (Figura 4.4 A).

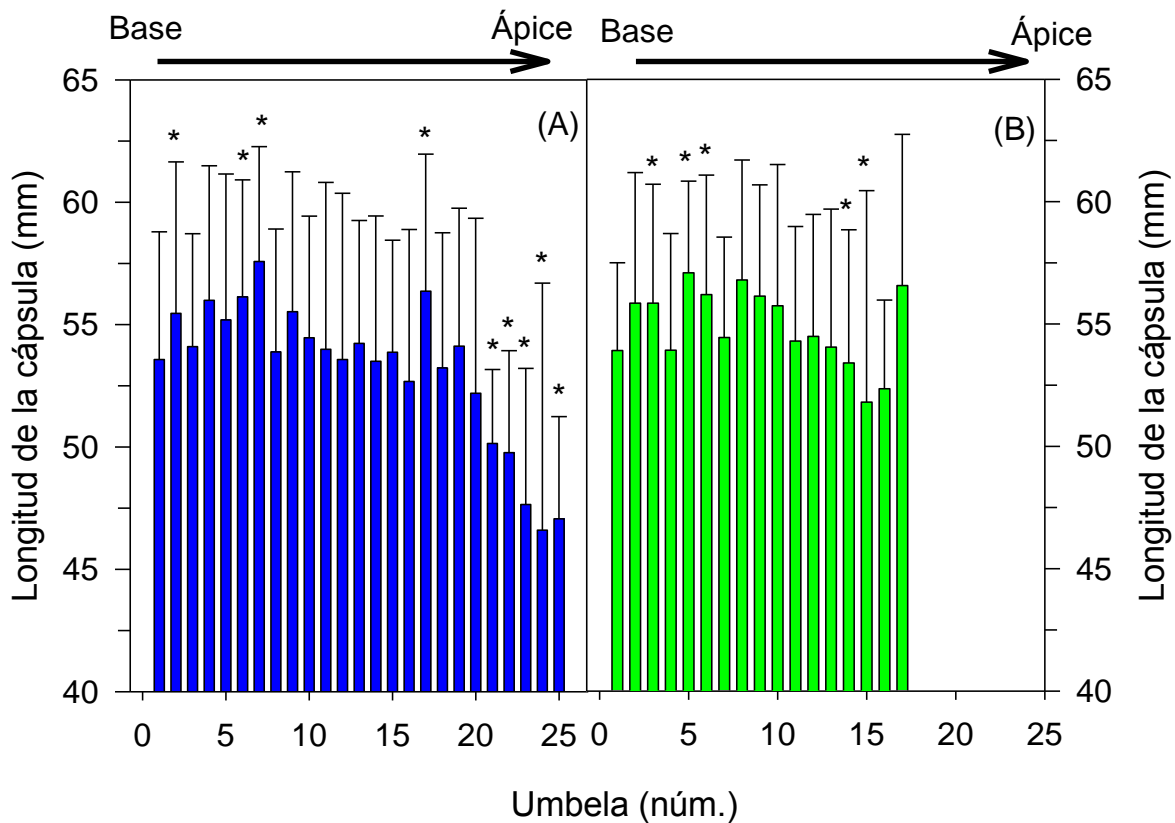


Figura 4.4. Longitud promedio de las cápsulas (+ D.E.) en las umbelas de las infrutescencias, en sentido acrópeto, de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. Los asteriscos sobre las barras indican la diferencia significativa ($p\leq 0.05$) de esa media con al menos otra de ellas.

En la planta 2, las umbelas cercanas al ápice (14 y 15) presentaron cápsulas con longitud menor (más de 1 cm) que las de la base (tres, cinco y seis) de la infrutescencia ($p \leq 0.05$) (Figura 4.4 B).

4.5.4 Biomasa de las cápsulas

La biomasa promedio de las cápsulas en la planta 1 fue 4.40 g y significativamente similar a la planta 2, 4.18 g ($W=564\ 559$, $p \geq 0.05$). La biomasa promedio de las cápsulas por umbela se graficó para conocer si esta característica era homogénea o no entre las umbelas de cada planta.

Ninguna de las plantas mostró alguna tendencia de la biomasa acumulada en las cápsulas dependiente de la posición o número de umbela en el escapo. Las umbelas de ambas plantas presentaron cápsulas con variabilidad amplia de biomasa, que se expresó en la amplitud de la D.E. en cada umbela y sí existieron diferencias significativas entre algunas de ellas ($H= 124.16$, $p \leq 0.05$) (Figura 4.5 A y B).

La diferencia en el número de cápsulas por umbela en cada planta y en el total entre las plantas (Figura 4.1 A y B) se mantuvo en su biomasa (Figura 4.6 A y B), por lo que a diferencia de la falta de tendencia del promedio de la biomasa de las cápsulas, la biomasa de todas las pertenecientes a cada umbela, a lo largo de la infrutescencia de la planta 1, describió una tendencia tipo Ji-cuadrada y no gaussiana ($p \leq 0.05$). Aunque, esta planta tuvo umbelas intercaladas con valores bajos, fuera de la tendencia, aquellas con la biomasa total mayor de cápsulas fueron las ubicadas en la sección intermedia de la infrutescencia (Figura 4.6 A).

En la planta 2 hubo una tendencia parcialmente parecida a la descrita en la planta 1; las umbelas en los extremos de la inflorescencia tuvieron la biomasa menor de cápsulas y, en general, las umbelas con cápsulas más pesadas fueron las del centro de la umbela; pero hubo varias umbelas con el mismo valor máximo (Figura 4.6 B).

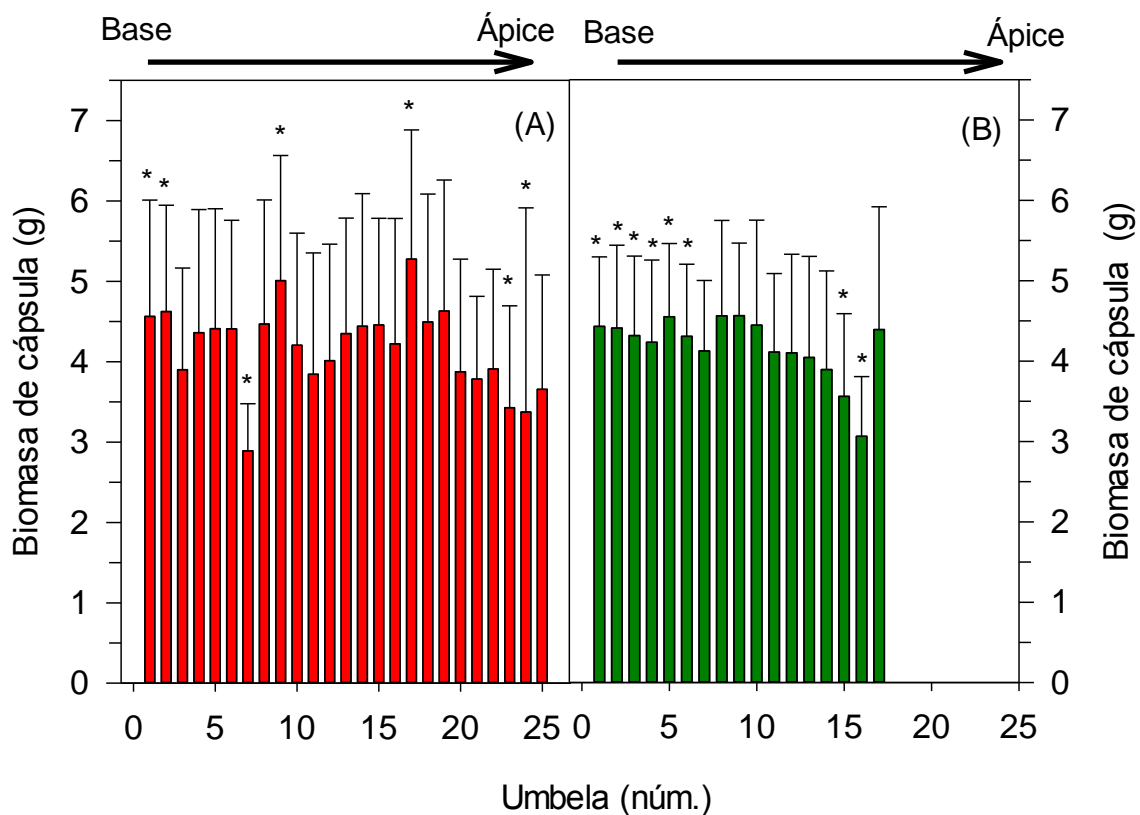


Figura 4.5. Biomasa promedio de las cápsulas (+ D.E.) en las umbelas de las infrutescencias, en sentido acrópeto, de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. Los asteriscos sobre las barras indican la diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de esa media con al menos otra de ellas.

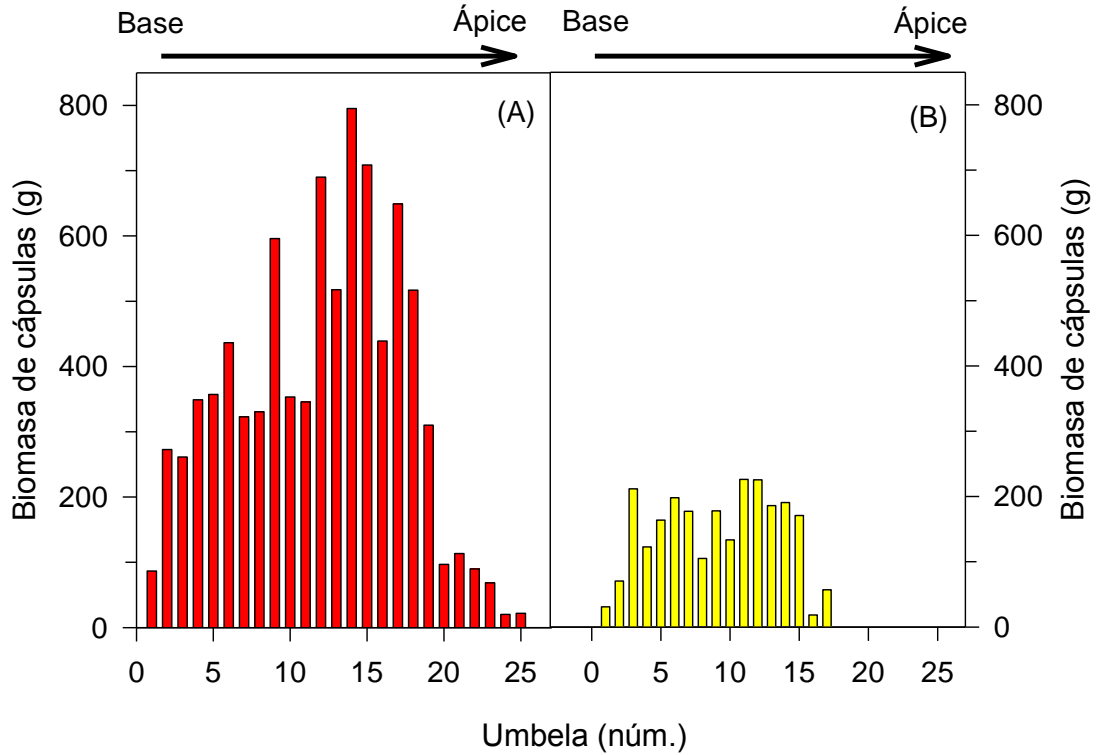


Figura 4.6. Biomasa total de las cápsulas por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Para conocer la distribución de la biomasa de las valvas en las umbelas se obtuvo la relación gráfica de la biomasa total de esas estructuras en función del número de la umbela sobre el escapo. La distribución de la biomasa de las valvas fue notablemente similar a la descrita para las cápsulas completas. La biomasa de las valvas en las umbelas, a lo largo de la infrutescencia, para la planta 1 describió una distribución tipo Ji-cuadrada ($p \leq 0.05$) y en la planta 2 una distribución tipo gaussiana ($p \geq 0.05$), debido a las fluctuaciones pronunciadas entre las umbelas (Figura 4.7 A y B).

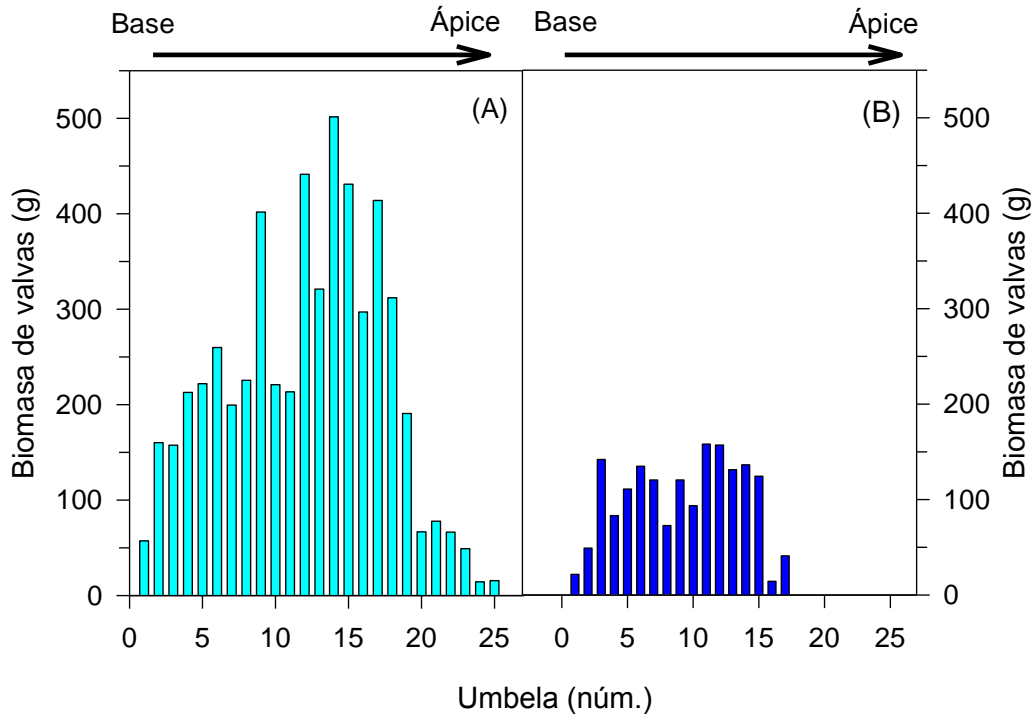


Figura 4.7. Biomasa total de las valvas por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Las diferencias entre biomasa total de cápsulas y biomasa de valvas se debieron a la presencia o ausencia de las semillas (Figura 4.6 y 4.7). Esas diferencias permiten anticipar que las semillas representan en promedio alrededor de un tercio de la biomasa total de las cápsulas, independientemente de la umbela a la que pertenezcan.

4.5.5 Número de semillas

El número de semillas abortadas fueron abundantes en todas las cápsulas de ambas plantas. El número de semillas abortadas en promedio fue 311 por cápsula en la

planta 1 y 369 en la planta 2 y estos valores fueron significativamente diferentes ($W = 361\ 948$, $p \leq 0.05$). A pesar de ello, el número de semillas abortadas de ambas plantas fue mayor a lo reportado para *A. angustifolia* (119 a 168 y 140 a 195), *A. fourcroydes* (220 a 281), *A. macroacantha* (98.68, 78.65 y 102.97), *A. salmiana* subsp. *crassispina* (187 a 237) (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1996; Colunga-GarcíaMarín y May-Pat, 1997; Arizaga *et al.*, 2000b; Arizaga y Ecurra, 2002; Lorenzo, 2012).

Debe señalarse que las semillas abortadas se contabilizaron únicamente en tres umbelas por infrutescencia, de ellas se seleccionó una de la base, otra del centro y la tercera del ápice (núm. uno, 12 y 25 en la planta 1 y núm. uno, nueve y 17 en la planta 2 en sentido acrópeto). Así, el total de cápsulas en las que las semillas abortadas se contabilizaron fueron 197 de la planta 1 y 59 de la planta 2. La diferencia del número de cápsulas analizadas se debió a la diferencia en su producción entre plantas (Figuras 4.1 y 4.6).

Así, esos valores y los números calculados de semillas abortadas en el resto de las umbelas indicaron que la planta 1 podría contener en total $\approx 619\ 251$ de estas semillas y la planta 2 contendría $\approx 217\ 506$, que es alrededor de un tercio de la primera. Esta cantidad de semillas abortadas de ambas infrutescencias es 108 veces mayor a lo reportado para *A. macroacantha* (1 887.65) y de siete a 21 que *A. salmiana* subsp. *crassispina* (18 330 a 29 126) (Arizaga y Ecurra, 2002, Lorenzo, 2012).

Debido a que las umbelas centrales en la inflorescencia contenían una cantidad significativa mayor de cápsulas que las de la base y el ápice, el número mayor de semillas abortadas mostró distribución tipo Ji-cuadrada en la planta 1 ($p \leq 0.05$) y gaussiana en la planta 2 ($p \geq 0.05$) (Figura 4.8).

El número de semillas normales contabilizadas en la planta 1 fue seis veces mayor que en la planta 2 ($W= 326\ 135$, $p\leq 0.05$) (Figura 4.8). La distribución de las semillas normales en las cápsulas a lo largo de la infrutescencia fue tipo Ji-cuadrada para planta 1 ($p\leq 0.05$) y gaussiana para planta 2 ($p\geq 0.05$), de cualquier forma para ambas plantas las umbelas centrales tuvieron número mayor de cápsulas; las semillas normales tendieron a concentrarse en algunas de esas umbelas, similar a lo observado en las semillas abortadas. En el caso de la planta 1, las primeras cuatro umbelas de la base de la inflorescencia contenían entre 1 743 y 8 304 semillas normales y en las del ápice, las últimas seis umbelas contenían entre 274 y 1 659 de estas semillas. En contraste, algunas de las umbelas centrales (12 a 17) tuvieron entre 10 700 y 16 662 semillas normales (Figura 4.8 A). Una tendencia similar se observó en la infrutescencia de la planta 2, con alrededor de 500 semillas normales en las umbelas basales y apicales y con más de 3 000 y 1 500 semillas normales entre la tercera y decimoquinta umbelas (Figura 4.8 B).

Estos resultados indican que el número de semillas abortadas con respecto a las normales fue mayor en ambas plantas, y representaron más del triple de las normales en la planta 1 y más de siete veces en la planta 2. A diferencia de las plantas de *A. macroacantha* y *A. salmiana* subsp. *crassispina* en las semillas abortadas superan sólo la mitad del total de semillas normales (Arizaga y Ezcurra, 2002; Lorenzo, 2012).

4.5.6 Biomasa de semillas

La biomasa de las semillas abortadas fue tres veces mayor (1 052 g) en la planta 1 respecto a la planta dos (362 g) y esta diferencia fue significativa ($W = 389\ 731$,

$p \leq 0.05$) (Figura 4.9). Resultados similares se encontraron en la biomasa de semillas normales ($W = 373\ 823$, $p \leq 0.05$). En ambas plantas la biomasa de las semillas abortadas y de las semillas normales fue escasa en las umbelas cercanas a la base y al ápice de la infrutescencia (Figura 4.10 y 4.11).

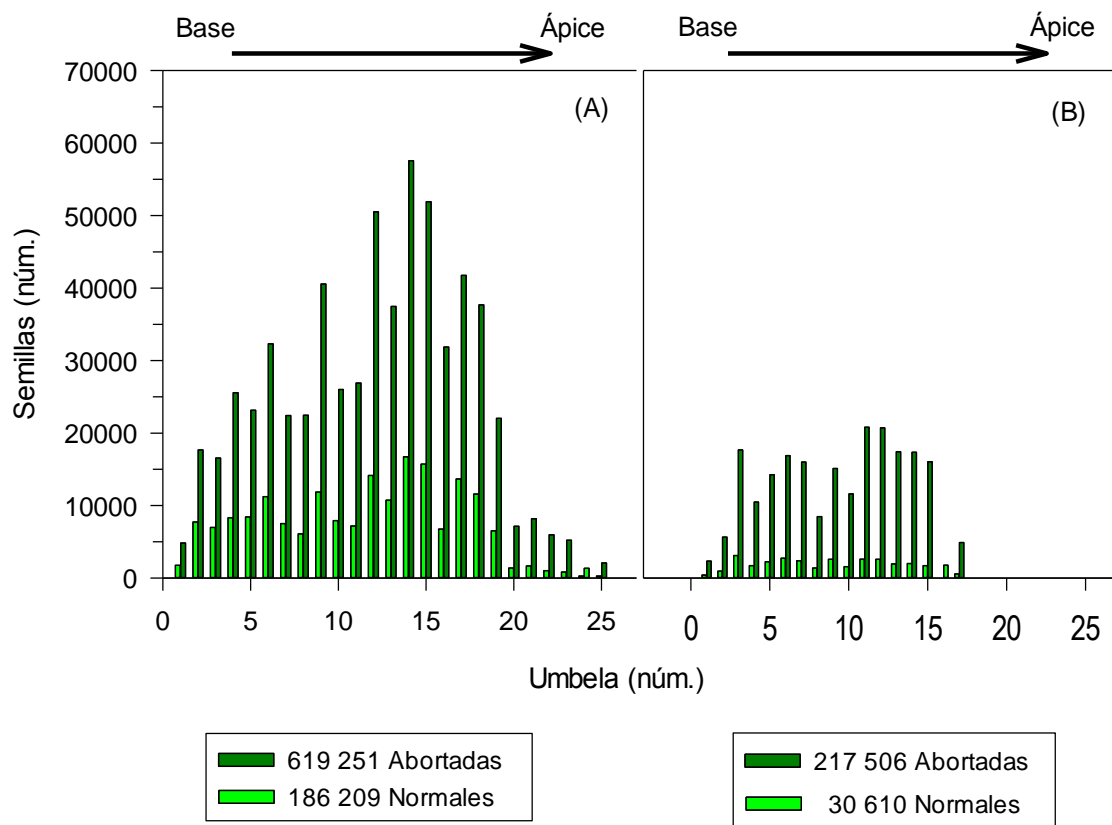


Figura 4.8. Número total de semillas abortadas y normales por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

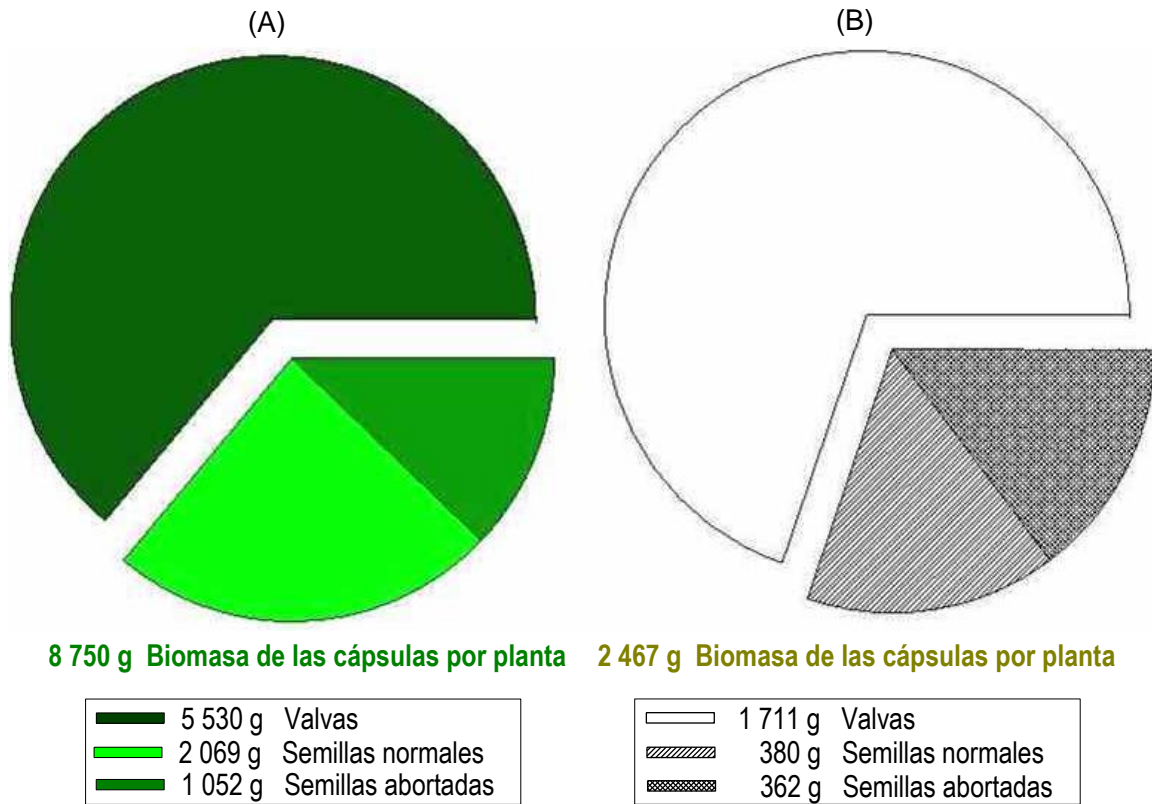


Figura 4.9. Proporción de valvas, semillas abortadas y normales por infrutescencia de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Aunque la distribución de la biomasa de las semillas abortadas y normales en las umbelas fue heterogénea, las umbelas alrededor del centro de la infrutescencia de ambas plantas acumularon cantidades mayores de los dos tipos de semillas. En la planta 1 esta característica fue más evidente por el número mayor de umbelas y semillas; en ella tres de las 25 umbelas (núm. 12, 14 y 15) acumularon 26 % de la biomasa total de semillas abortadas y en cuatro umbelas (núm. 12 a 15) se concentró

34 % de la biomasa total de semillas normales en la infrutescencia (Figura 4.10 A y 4.11 A).

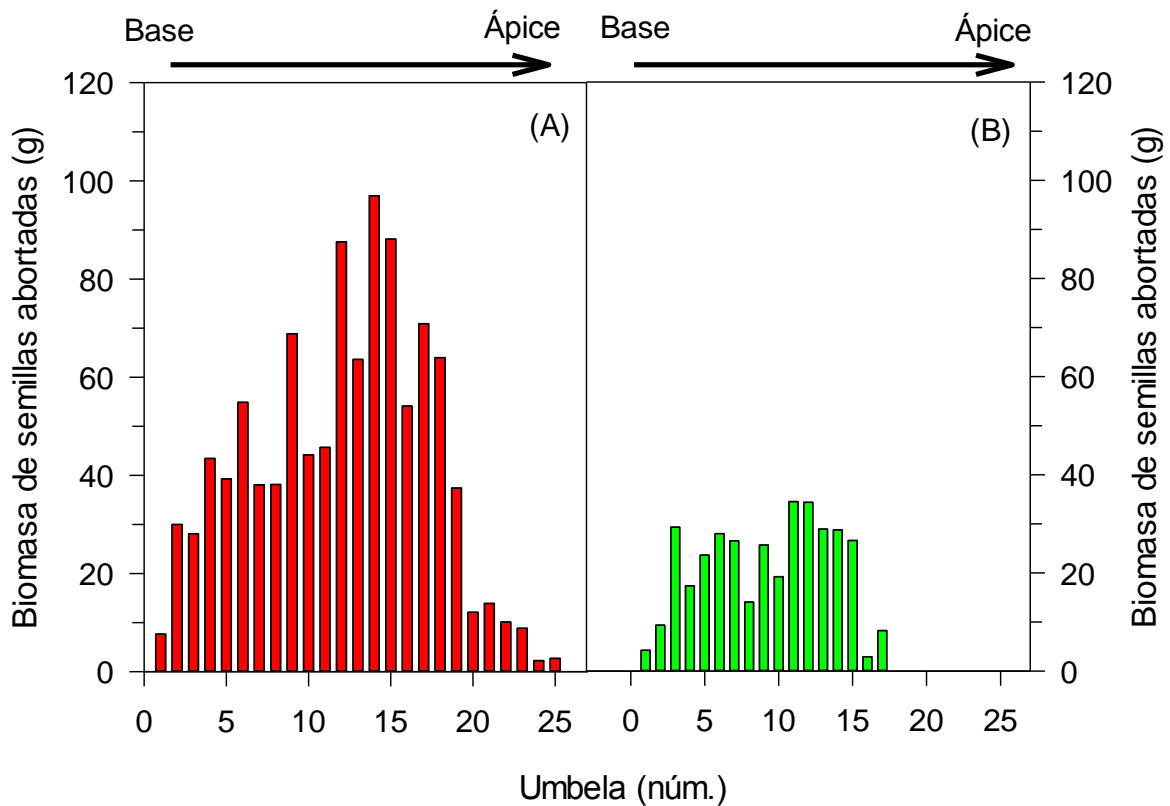


Figura 4.10. Biomasa total de las semillas abortadas por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Sobresalió que, independientemente de la biomasa de las cápsulas por umbela o infrutescencia (8 750 g y 2 467 g en la planta 1 y la planta 2), la proporción de las semillas abortadas y las normales fue parecida en las plantas. La biomasa de las

abortadas representó 12 y 15 % de las cápsulas de la planta 1 y 2 y la proporción relativa de las normales fue 23 y 16 %. Además, la biomasa de las valvas también constituyó proporciones relativamente similares, 65 y 70 %, entre las plantas (Figura 4.9).

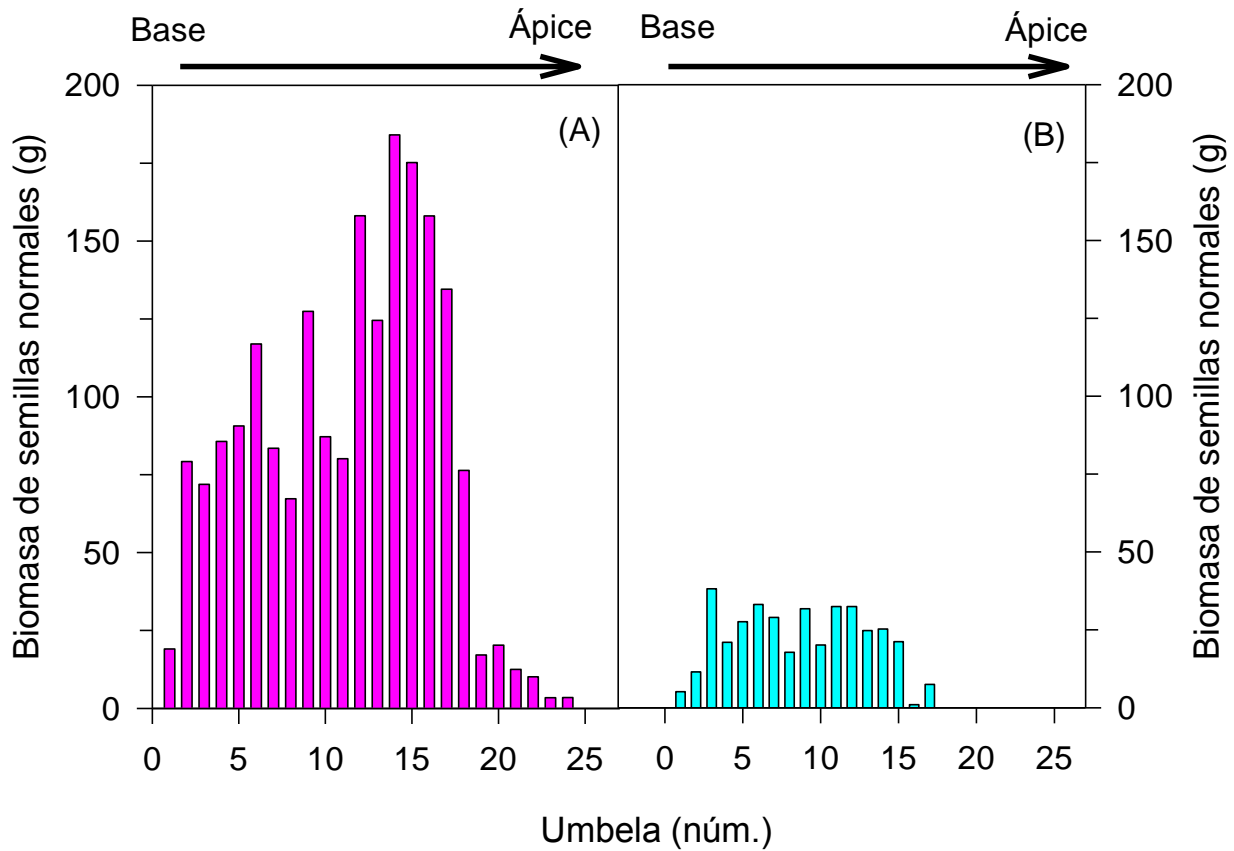


Figura 4.11. Biomasa total de las semillas normales por umbela, en sentido acrópeto, en la infrutescencia de dos plantas (A y B) de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

4.5.7. Humedad de semilla

El contenido de humedad en las semillas normales de las plantas 1 y 2 fue 7.18 ± 0.55 y 6.54 ± 0.33 %, sin diferencia significativa entre ellas ($F= 2.11$, $p = 0.1308$). Vázquez (2010) encontró que las semillas de las variantes Blanco, Chino y Liso de *A. salmiana*, recolectadas en San Luis Potosí, tuvieron contenido diferente de humedad, entre 2.8 a 11.6 %. Pero la humedad de las semillas no es una característica intrínseca, pues depende del ambiente en el que se encuentre al final y después de la maduración. El contenido bajo de humedad en las semillas de maguey, como en otras especies, puede asegurar la permanencia de su viabilidad (Doria, 2010) en el banco de semillas *in situ*.

Debe señalarse que para estimar el número de semillas abortadas es adecuado usar su biomasa, ya que existió una correlación positiva entre el número y peso de estas semillas en la planta 1 y 2 ($r = 0.9376$ y 0.9480), otra opción es utilizar el peso del fruto. Esta variable también se correlacionó positivamente con el número de semillas abortadas ($r = 0.7501$ y 0.8364 , $p \leq 0.05$).

4.6. Conclusiones

El rendimiento de semilla entre plantas de *A. salmiana* es independiente del sitio de crecimiento e intervalo de maduración de las infrutescencias.

Independientemente del número de umbelas y cápsulas por umbela, la distribución de las cápsulas a lo largo de la infrutescencia es asimétrica, la cantidad mayor de cápsulas y en consecuencia de semillas normales y abortadas se localizan en las umbelas del centro de la de la infrutescencia.

4.7. Literatura citada

- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 1995. Insurance against reproductive failure in a semelparous plant: bulbil formation in *Agave macroacantha* flowering stalks. *Oecologia* 101: 329-334.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 2002. Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *American Journal of Botany* 89(4): 632-641.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000a. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. II. The role of pollinators. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000b. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. I. Floral Biology and pollination mechanisms. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Colunga-GarcíaMarín, P. y F. May-Pat. 1997. Morphological variation of henequen (*Agave fourcroydes*, Agavaceae) germplasm and its wild ancestor (*A. angustifolia*) under uniform growth conditions: diversity and domestication. *American Journal of Botany* 84(11): 1449-1465.
- Colunga-GarcíaMarín, P., E. Estrada-Loera y F. May-Pat. 1996. Patterns of morphological variation, diversity and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatan, México. *American Journal of Botany* 83(8): 1069-1082.
- Delgado-Lemus, A., A. Casas y O. Téllez. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10: 1-12.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31(1): 74-85.
- Eguiarte, L. E., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66: 131-150.
- Ehrlén, J. 1991. Why do plants produce surplus flowers? A reserve-ovary model. *The American Naturalist* 138(4): 918-933.

- Escobar-Guzmán, R. E., F. Zamudio, K. Gil y J. Simpson. 2008. Seed production and gametophyte formation in *Agave tequilana* and *Agave americana*. *Botany* 86: 1343-1353.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. UNAM. México. pp. 130 y 169.
- García-Herrera, E. J., S. de J. Méndez-Gallegos y D. Talavera-Magaña. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Ed. Especial 5: 109-129.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *CIENCIAS* 87: 15-23.
- García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Agavaceae. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 95 p.
- Gentry, H. S. 1972. The agave family in Sonora. Agriculture handbook No. 399. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. United States. 195 p.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press. USA. pp. 605 y 651.
- Granados S., D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 15.
- Howell, D. J. y B. S. Roth. 1981. Sexual reproduction in agaves: the benefits of bats; the cost of semelparous advertising. *Ecology* 62(1): 1-7.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Luis Potosí, San Luis Potosí. Consultado en línea el 13 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/24/24028.pdf>
- Jordan, P. W. y P. S. Nobel. 1979. Infrequent Establishment of Seedlings of *Agave deserti* (Agavaceae) in the Northwestern Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 66(9): 1079-1084.
- Lorenzo, J. 2012. Éxito reproductivo y demografía de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en San José Alchichica, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 35 p.

- Molina-Freaner, F. y L. E. Eguiarte. 2003. The pollination biology of two paniculate agaves (Agavaceae) from Northwestern Mexico: contrasting roles of bats as pollinators. *American Journal of Botany* 90(7): 1016-1024.
- Moreno C, P. 2003. Vida y obra de granos y semillas. 2ª ed. Fondo de Cultura Económica. 207 p.
- Nobel, P. S. 1977. Water relations of flowering of *Agave deserti*. *Botanical Gazette* 138: 1-6.
- Nobel, P. S. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Traducido por García-Moya, E. Trillas. México. 211 p.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre R., J. A. Reyes-Agüero, A. B. Sánchez-Urdaneta y S. Valle-Guadarrama. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology* 27(2): 124-137.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), México. p. 1246.
- Rocha, M., A. Valera y L. E. Eguiarte. 2005. Reproductive ecology of five sympatric *Agave littaea* (Agavaceae) species in central Mexico. *American Journal of Botany* 92(8): 1330-1341.
- Semuli, M. 2014. Nutritional composition, descriptive sensory analysis and consumer acceptability of products developed from *Agave americana* flowers. Thesis for the degree of Master of Science. University of the Free State Bloem fontein, South Africa. 151 p.
- Stephenson, A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecologic Systems* 12: 253-279.
- Szarek, S. R. y G. E. Holmesley. 1996. Physiological activity in persistent bulbils of *Agave vilmoriniana* (Agavaceae). *American Journal of Botany* 83(7): 903-909.
- Trame, A. M., A. J. Coddington y K. N. Paige. 1995. Field and genetic studies testing optimal outcrossing in *Agave schottii*, a long-lived clonal plant. *Oecologia* 104: 93-100.
- Vázquez, E. 2010. Cambios de acidez en hojas de maguey *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck dependientes de la edad de la hoja y la planta. Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado en botánica, Colegio de Postgraduados. Estado de México, México. 80 p.

CAPÍTULO V. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, GERMINACIÓN DE SEMILLA Y CALIDAD DE PLÁNTULA DE *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck

5.1. Resumen

La reproducción de las plantas del género *Agave* a partir de semilla y su relación con las características físicas de ésta ha sido poco estudiada, a pesar de ser imprescindible para mantener e incrementar la variabilidad genética de las poblaciones de maguey. El objetivo de esta investigación fue evaluar las características físicas de las semillas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, de dos sitios de recolecta y su relación con la germinación y calidad de plántula. La hipótesis fue que existe una relación directa entre el tamaño de la semilla, el sitio de recolección, su viabilidad y la calidad de plántula. Semillas de cuatro plantas de *A. salmiana* se recolectaron en Atlacomulco, Estado de México y San Luis Potosí, SLP, México. Las variables evaluadas fueron anchura, espesor, longitud y biomasa de la semilla en una muestra de 100 semillas por planta. También se cuantificó la germinación (23.21 ± 1.18 °C e iluminancia de 145.42 ± 19.87 lux con fotoperiodo natural) en 12 unidades experimentales, con 10 semillas cada una, por planta y el crecimiento de las plántulas hasta los 11 cm de longitud y cuando apareció el nomófilo (entre 20 a 23 días). El estudio se desarrolló con un diseño experimental completamente al azar; los resultados se analizaron con pruebas Kruskal-Wallis y comparación a pares o con Pruebas U de Mann-Whitney. La morfología de la semilla fue diferente entre plantas de un mismo sitio de recolecta y entre sitios; una planta de SLP presentó las semillas

con el espesor promedio mayor (0.742 mm) y una del Estado de México las de anchura y longitud mayor (6.758 y 9.099 mm) y las de ambas plantas tuvieron biomasa promedio alta (12.118 y 11.934 mg) respecto a las otras plantas. La germinación osciló entre 95 y 99 %, sin diferencias ($p > 0.05$) entre plantas ni sitios de recolecta. Cuando las plántulas alcanzaron longitudes entre 40 y 51 mm de longitud habían consumido el tejido de reserva. La morfología de las semillas de *A. salmiana* de plantas del mismo sitio o de sitios diferentes no influye en la germinación. Las plántulas de *A. salmiana* mantienen su crecimiento y desarrollo, después de la germinación, con calidad baja y sin daño aparente hasta alcanzar tamaños mayores a 10 cm.

Palabras clave: crecimiento, desarrollo, viabilidad, maguey.

5.2. Abstract

The reproduction of *Agave* genus plants from seed and its relationship to physical seed characteristics has being little studied, despite being essential to maintain and increase the genetic variability of maguey populations. The objective of this research was to evaluate the physical seed characteristics the of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck of two sites of collection and its relation with germination and seedling quality. The hypothesis was that there is a direct relationship between the size of the seed, site collection, and its viability and seedling quality. Seeds from four plants of *A. salmiana* were collecting in Atacomulco, State of Mexico and San Luis Potosí, SLP, Mexico. The evaluated variables were width, thickness, length and biomass of seeds in a sample of 100 seeds per plant. Germination was also quantified (23.21 ± 1.18 ° C and

illuminance of 145.42 ± 19.87 lx with natural photoperiod) in 12 experimental units, with 10 seeds each, per plant, and the growth of the seedlings was also measured up to 11 cm in length and when it nomofilo appeared (between 20-23 days). The study was conducting with an experimental design completely random; the results were analyzing with Kruskal-Wallis test and comparison to pairs or U de Mann-Whitney test. Seed morphology was different among plants harvested at the same place and between sites: a SLP plant presented the seeds with highest average thickness (0.742 mm) and one of the State of Mexico presented wider and longer seeds (6.758 and 9.099 mm) and seeds of both plants had more biomass average seeds (12.118 and 11.934 mg) than the other plants. Germination changed between 95 and 99%, without differences ($p > 0.05$) between plants or sites of collection. When seedlings reached lengths between 40 and 51 mm in length, they had consumed reserve tissue. The morphology of the seeds of *A. salmiana* of plants from the same site or different sites does not affect germination. Seedlings of *A. salmiana* maintain their growth and development, after germination, with quality low and without apparent harm until reach sizes greater than 10 cm.

Keywords: growth, development, viability, maguey.

5.3. Introducción

Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck es una especie del género *Agave*, familia Agavaceae (*sensu stricto*) (García-Mendoza y Chávez-Rendón, 2013) o Asparagaceae (APG III, 2009; Chase *et al.*, 2009). En México, esta especie es endémica, se

considera semidomesticada, y se distribuye de Coahuila a Chiapas (Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2011; Mora-López *et al.*, 2011; Reynoso-Santos *et al.*, 2012) y puede cultivarse o crecer en forma silvestre en lugares con distinto grado de perturbación antropocéntrica (Mora-López *et al.*, 2011), en planicies o laderas con o sin afloramientos rocosos y en suelos de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos (Tello, 1988; Martínez *et al.*, 2005). De acuerdo con Gentry (1982) y Rzedowski y Rzedowski (2005), *A. salmiana* se conforma de tres variedades y una subespecie: *A. salmiana* var. *angustifolia* A. Berger, *Agave salmiana* var. *salmiana*, *Agave salmiana* var. *ferox* (K. Koch) Gentry y *Agave salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry. En contraste, García-Mendoza (2011) considera dos subespecies para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán debido a la plasticidad alta y al entrecruzamiento entre plantas silvestres y cultivadas: *Agave salmiana* subsp. *salmiana* y *Agave salmiana* subsp. *tehuacanensis* (Karw. ex Salm-Dyck) García-Mend.

El crecimiento y desarrollo de las plantas de *A. salmiana* se ve favorecido en planicies con una profundidad mayor a 30 cm, suelos de origen ígneo y suelos franco arenosos con pH neutro a ligeramente ácido (Martínez, 1985; Martínez-Morales y Meyer, 1985; Tello, 1988; Flores, 2002; Martínez *et al.*, 2005) y disponibilidad limitada de agua durante la temporada de sequía (Gentry, 1982).

A *Agave salmiana* se le conoce como maguey de pulque en México (Gentry, 1982), uanthe o penca blanca en el Valle del Mezquital, Hidalgo (Ramsay, 2004), maguey mezcalero en el altiplano potosino (Zamora *et al.*, 2010), “maguey manso” en Tamaulipas (Treviño-Carreón, 2011) y en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (García-Mendoza, 2011).

Las plantas de *A. salmiana* son importantes en los ecosistemas porque evitan la erosión, representa una fuente de alimento o hábitat para algunos organismos como aves, mamíferos e insectos (Martínez y Eguiarte, 1987; Granados, 1993; Eguiarte *et al.*, 2000; Flores, 2002; Gómez-Aiza y Zuiria, 2010; Aguilar *et al.*, 2014). La importancia antropocéntrica de esta especie se debe a que de manera directa o indirecta, el humano puede obtener de una o varias estructuras muertas o vivas alimento, material para construcción y elaboración de alimentos o medicina, leña, forraje, así como barreras cortavientos entre otros beneficios (Castelló y Piña, 1986; Granados, 1993; Ramsay, 2004; Zamora *et al.*, 2010; García-Mendoza, 2011; Mora-López *et al.*, 2011; Aguilar *et al.*, 2014).

Las plantas de maguey como *Agave salmiana* pueden reproducirse sexual y asexualmente, según la especie, pero la propagación asexual a través de hijuelos parece que es la más común. De acuerdo con Nobel (1988) y Arizaga y Ezcurra (2002) la propagación asexual asegura el éxito del establecimiento de las plántulas y cierta uniformidad que puede facilitar el manejo agronómico, pero también puede propiciar daños mayores por incidencia de enfermedades en las plantaciones (Piven *et al.*, 2001). La propagación asexual de la mayoría de las especies de *Agave* de interés comercial se debe principalmente a la creencia de que las semillas de los magueyes son inviables y, por tanto, se propagan sólo por hijuelos y bulbilos (Gentry, 1982; Aguirre *et al.*, 2001). Además, como lo señalaron Peña-Valdivia *et al.* (2006) esta tendencia de propagación asexual puede estar relacionada con las condiciones *in situ* poco adecuadas para la germinación, disminución de la calidad y cantidad de semillas

como resultado de herbivoría y la producción disminuida de semillas por el uso de las plantas antes de la floración.

La relación de las características físicas y químicas de las semillas con su capacidad para germinar y producir plántulas se ha evaluado incipientemente. Esto probablemente debido a la creencia de que la reproducción por semilla requiere más cuidados y alarga el periodo de crecimiento (Anónimo, 1988). Además, es frecuente que una proporción variable de las semillas en los ambientes silvestres permanezcan latentes y no germinen aunque las condiciones ambientales sean adecuadas para este proceso o para el crecimiento de las plántulas (Peña-Valdivia *et al.*, 2013). En contraste, las semillas de varias especies de *Agave*, como *Agave americana* var. *marginata* Trelease, *A. asperrima* Jacobi, *A. cupreata* Trelease & Berger, *A. duranguesis* Gentry, *Agave lechuguilla* Torrey, *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck y *A. striata* Zuccarini tiene proporciones bajas o carecen de latencia pues alcanzan porcentajes máximos de germinación mayores a 90 % en condiciones de laboratorio y en dependencia de la temperatura, el potencial de agua del sustrato, y en periodos variables dependientes de la especie y en algunos casos del ambiente de origen (Freeman *et al.*, 1977; Pritchard y Miller, 1995; Peña-Valdivia *et al.*, 2006; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012).

Así, se espera que los patrones de germinación de las especies dependan de las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de las semillas de cada región y de su respuesta al ambiente (humedad, temperatura, irradiancia y disponibilidad de oxígeno) (Peña-Valdivia *et al.*, 2006); aunque, pueden depender de uno o la combinación de dos o más de estos factores (Baskin y Baskin, 1988).

El objetivo de esta investigación fue evaluar las características físicas de las semillas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, de dos sitios de recolecta y su relación con la germinación y calidad de plántula. La hipótesis fue que existe una relación directa entre el tamaño de la semilla, el sitio de recolección, su viabilidad y la calidad de plántula.

5.4. Materiales y métodos

5.4.1 Sitios de recolecta

Para el estudio se seleccionó *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck de dos regiones climáticas distintas. Un sitio de recolecta fue el Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México (19° 43' y 19° 55' LN; 99° 42' y 99° 59' LO), entre 2400 y 3900 m de altitud y clima Cb(w1)(w)(i')g, equivalente a (Cb) templado subhúmedo con lluvias en verano y (w1) con lluvia invernal menor de 5% de la anual y (w) temperatura media de cuatro meses o más es superior a 10°C, (i') con poca oscilación térmica (entre 5° y 7°C) y (g) con marcha de temperatura tipo Ganges, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García (García, 1987; INEGI, 2009a). Las plantas de este sitio se cotejaron con el apoyo del Dr. Abisaí García, especialista en magueyes del país, del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los ejemplares respectivos fueron depositados en el Herbario-Hortorio CHAPA del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.

El otro sitio de recolecta fue San Luis Potosí, SLP, México (22° 40' y 21° 57' LN; 100° 44' y 101° 11' LO), con altitud de 1870 m y de acuerdo con la clasificación de

Köppen modificada por Enriqueta García (1987) clima BSokw(e)gw”, equivalente a (BS) seco estepario, (o) árido, (k) templado, (w) con lluvias en verano, (e) extremoso con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 7 °C y 14 °C, (g) marcha de la temperatura tipo Ganges, y (w”) con canícula (García, 1987; INEGI, 2009b). Las plantas del segundo sitio fueron identificadas por el Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera, especialista en magueyes del altiplano potosino-zacatecano, del Instituto de Investigaciones en Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

5.4.2 Material vegetal

Las semillas maduras se obtuvieron de cápsulas de dos infrutescencias de dos plantas del Estado de México (denominadas de aquí en adelante como planta 1 y planta 2 EM) y de otras dos de San Luis Potosí (denominadas de aquí en adelante como planta 1 y planta 2 SLP) cosechadas en diciembre de 2013 en el primer caso y en agosto de 2014 en el segundo.

Al momento de la cosecha, en las infrutescencias del Estado de México había cápsulas cerradas, y parcial o totalmente abiertas. La muestra de semillas de la planta 1 y 2 EM fueron obtenidas al azar; aunque, en la planta 2 EM se consiguió una segunda muestra conformada de semillas de 12 cápsulas sin abrir que fueron tomadas aleatoriamente de la infrutescencia.

Las cápsulas de las infrutescencias de San Luis Potosí estaban cerradas al momento de la cosecha y, por tanto, se recolectó toda la infrutescencia. Posteriormente, se trasladaron a un sitio con humedad baja, aireado y sombreado, por

cuatro semanas para su deshidratación. Las semillas de ambas plantas de SLP se separaron de una o dos cápsulas de las umbelas centrales de cada infrutescencia hasta obtener 10 o 12 repeticiones.

Las semillas normales de las cuatro plantas se separaron de semillas abortadas, basura y/o frutos totalmente deshidratados y se mantuvieron en bolsas de papel estraza dentro de cajas de cartón a temperatura del laboratorio (25 ± 3 °C) hasta su utilización.

Las semillas seleccionadas para el estudio fueron semillas que a simple vista parecían normales, bien formadas, sin daño aparente, y viables. Estas semillas difirieron de las semillas abortadas principalmente por el color y espesor, las normales tienen color negro y su grosor es mayor que las abortadas, que son blancas y delgadas. Además, en un ensayo preliminar se observó que las semillas parcialmente negras tenían entre 0 y 2.5 % de germinación y, por tanto, se decidió excluirlas del presente estudio.

5.4.3. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron el número y biomasa de semillas normales y abortadas en 10 g de muestra de las dos infrutescencias del EM, así como en 12 cápsulas de la planta 2 del EM y en todas las cápsulas de la infrutescencia 2 EM y de las dos de SLP.

En las semillas normales se evaluó anchura, espesor y longitud con un calibrador digital tipo Vernier, milimétrico estándar (Truper, CALDI-6MP; 14388), y biomasa de la semilla y de sus estructuras, embrión y cubierta seminal con una

balanza analítica (precisión de ± 0.0001 g; Scientech® SA 120). Estas variables se obtuvieron en semillas individuales de una muestra de 100 por planta. La humedad y materia seca se evaluaron en seis muestras de 10 semillas deshidratadas 72 h.

Además, la germinación se cuantificó en 12 unidades experimentales por planta, con 10 semillas cada una en marzo del 2015. Las semillas se desinfectaron con hipoclorito al 5 % en agua (v:v) por 5 min., se colocaron en cajas Petri, en condiciones de laboratorio de acuerdo con el método descrito por Association of Official Seed Analysts AOSA (1983) y adaptado por Peña-Valdivia *et al.* (2002). La temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa fue registrada con un Data logger (HOBO®, Burner MA USA). La germinación se consideró positiva cuando la raíz más cotiledón habían emergido de la semilla y alcanzado 5 mm de longitud.

El crecimiento de las plántulas se evaluó en las recolectas del Estado de México, Para esto se obtuvieron a partir de semilla sin desinfectar y desinfectadas 500 plántulas de cada planta; durante su crecimiento, entre el 22 de agosto y el 20 de noviembre de 2014, se muestrearon lotes de 36 plántulas con longitud total de 1 cm y hasta 11 cm. Las variables evaluadas en las plántulas fueron la longitud del cotiledón y de la raíz y el diámetro del cuello, con un calibrador digital tipo Vernier, milimétrico estándar (Truper, CALDI-6MP; 14388). Además se evaluó la biomasa seca, por liofilización y deshidratación en estufa a 50°C, del cotiledón, la raíz, la cubierta seminal y nomófilo, cuando estuvo presente, en una balanza analítica (con precisión de ± 0.0001 g; Scientech® SA 120). Además, se determinó la calidad de plántula con el índice de calidad de Dickson e índice de esbeltez o robustez (Sáenz *et al.*, 2010) en plántulas de un mes de desarrollo, el cálculo se realizó con las siguientes formulas:

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

Donde:

- ICD Índice de calidad de Dickson
- PST Peso seco total de la planta (g)
- PSA Peso seco de la parte aérea (g)
- PSR Peso seco del sistema radical (g)
- A Altura de la plántula (cm)
- D Diámetro del cuello de la raíz (mm)

$$IR = \frac{A}{D}$$

Donde:

- IR Índice de robustez o esbeltez
- A Altura de la plántula (cm)
- D Diámetro del cuello de la raíz (mm)

5.4.4 Diseño experimental

El estudio se desarrolló con un diseño completamente al azar con una planta como unidad experimental, dos sitios de recolecta y número variable de unidades experimentales en dependencia de la variable evaluada.

5.4.5 Análisis estadístico

Las características de biomasa y dimensiones de las semillas se analizaron con las figuras de frecuencia y los coeficientes de variación (C.V.). La germinación y las características de las plántulas se analizaron con la prueba Kruskal-Wallis y comparación a pares ($p \leq 0.05$). Cuando no se cumplieron los supuestos de la prueba Kruskal-Wallis, se usaron Pruebas U de Mann-Whitney ($p \leq 0.05$).

Para las comparaciones entre plantas de las plántulas se utilizó la prueba t, en caso de no cumplir los supuestos de esta prueba se empleó la prueba U de Mann-Whitney. La asociación entre variables se determinó con el Coeficiente de Pearson (r) ($p \leq 0.05$).

5.5. Resultados y discusión

5.5.1 Rendimiento de semillas

Las muestras de 10 g de semillas de las cápsulas abiertas y cerradas en la planta 1 y 2 EM contenían basura y, por tanto, se descontó a la muestra de 10 g el peso de la basura teniendo un peso promedio 9.55 ± 0.326 y 9.56 ± 0.361 para la planta 1 y la 2, respectivamente. Estas muestras evidenciaron que la herbivoría en las semillas de *A. salmiana* es frecuente (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Cantidad de semillas en muestras de 9.6 g y en cápsulas (promedio \pm D.E.) de infrutescencias de *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Lugar de recolecta	Planta	Método de muestreo*	Número de semillas			Peso de semilla (g)		
			Normales	Abortadas	Con herbivoría	Normales	Abortadas	Con herbivoría
Atzacmulco,	1	Peso	556 \pm 48	1800 \pm 504	113 \pm 44	6.63 \pm 0.57	2.44 \pm 0.34	0.474 \pm 0.12
Estado de México	2	Peso	624 \pm 107	1801 \pm 364	35 \pm 13	6.54 \pm 1.14	2.53 \pm 0.50	0.125 \pm 0.07
		Cápsula	190 \pm 132	277 \pm 106	0	1.99 \pm 1.42	0.40 \pm 0.13	0
San Luís	1	Cápsula	94 \pm 59	311 \pm 100	0	1.04 \pm 0.65	0.53 \pm 0.17	0
Potosí, SLP	2	Cápsula	52 \pm 30	369 \pm 79	0	0.64 \pm 0.39	0.61 \pm 0.14	0

* El número promedio y peso promedio de las semillas por cápsula de la planta 2 de Atzacmulco, Estado de México, corresponde a 11 cápsulas y los de las plantas 1 y 2 de San Luis Potosí, SLP, corresponde al total de cápsulas por planta, 1989 y 590. El número de semillas normales por cápsula fluctuó entre 0 y 297 en la planta 1 y entre 3 y 156 en la planta 2 de SLP.

Independientemente de las diferencias intrínsecas entre las plantas del mismo sitio y sitios diferentes, el método de muestreo para determinar el rendimiento de semillas, por cápsula o por infrutescencia, puede generar discrepancias en los resultados (Figura 5.1), ya que los valores dependerán del tamaño de muestra, de su homogeneidad y etapa de maduración de la infrutescencia. Así, las muestras de las plantas 1 y 2 EM, que provenían de diferentes cápsulas abiertas y cerradas tuvieron cantidades similares de semillas normales y diferencias en las semillas con daño por herbivoría. En contraste, la muestra de semillas de la misma planta 2 EM originada de grupos de 11 cápsulas cerradas careció de semillas con daño por herbivoría, como fue el caso de las dos plantas de SLP. Pero independientemente del método de muestreo, la biomasa promedio de las semillas normales mostró diferencias mínimas, ya que se calculó que en las plantas 1 y 2 EM las normales tuvieron 11.71 y 10.48 mg y las abortadas 1.35 y 1.42 mg; en el caso de las semillas normales de las plantas 1 y 2 SLP la biomasa promedio fue 11.06 y 12.31 mg (Cuadro 5.1). Estos resultados parecen no reflejar la diferencia de evaluar las semillas de un número relativamente bajo de cápsulas (11) en comparación con la totalidad de una planta (1989 y 590 en la infrutescencia respectiva). En relación con lo anterior, Arizaga y Ecurra (2002) opinan que las diferencias en la producción de semillas en las especies de *Agave* pueden deberse a las extrapolaciones.

La comparación del número y biomasa de las semillas entre las plantas en una muestra de 10 g mostró que las infrutescencias del EM presentaron más del 34.8 % de semillas normales que las de la infrutescencia 2 SLP ($p \leq 0.05$) (Figura 5.1). Una tendencia similar ocurrió para el peso de semilla, ambas infrutescencias de SLP

mostraron más de 32.9 % ($p \leq 0.05$). Aunque el número de semillas abortadas en la infrutescencia 2 de SLP fue similar al de planta 2 del EMb y la biomasa de semillas vanas de la infrutescencia 1 de SLP al de la 1 EM ($p \leq 0.05$) (Figura 5.1); en general, la biomasa de las semillas vanas de las infrutescencias de SLP fue mayor al de las del EM, en promedio de 31.8 a 52.0% (Figura 5.1). Las diferencias del número y biomasa de las semillas en muestras de 10 g entre las plantas de las dos regiones de muestreo se atribuyen al tamaño del fruto, a la cantidad de material de reserva en la semilla y la humedad (Werker, 1997).

5.5.2 Anchura de las semillas

La anchura de las semillas normales varió heterogéneamente entre las plantas, el intervalo con amplitud mayor de este carácter fue el de las semillas en la planta 2 EM, entre 2.76 a 7.33 mm, y el menor en la planta 1 SLP, 3.81 a 6.12 mm. La distribución de frecuencias fue asimétrica con respecto a la moda en las cuatro plantas, pues la moda de la anchura de las semillas fue 7.2, 6.0 y 6.2 mm en las plantas 1 y 2 EM y la planta 2 SLP. En contraste, la planta 2 SLP presentó semillas sin un máximo único de anchura, ya que hubo abundancia similar de semillas con anchuras desde 6.2 hasta 6.6 mm. Además, con excepción de esta última planta la anchura de las semillas ocuparon intervalos discontinuos en las plantas, con ausencia de semillas con ciertas anchuras y en los cuatro casos la distribución de este carácter alternó valores altos y bajos (denominada distribución dentada o tipo peine) entre 2.76 y 8.14 mm (Figura 5.2 A-D).

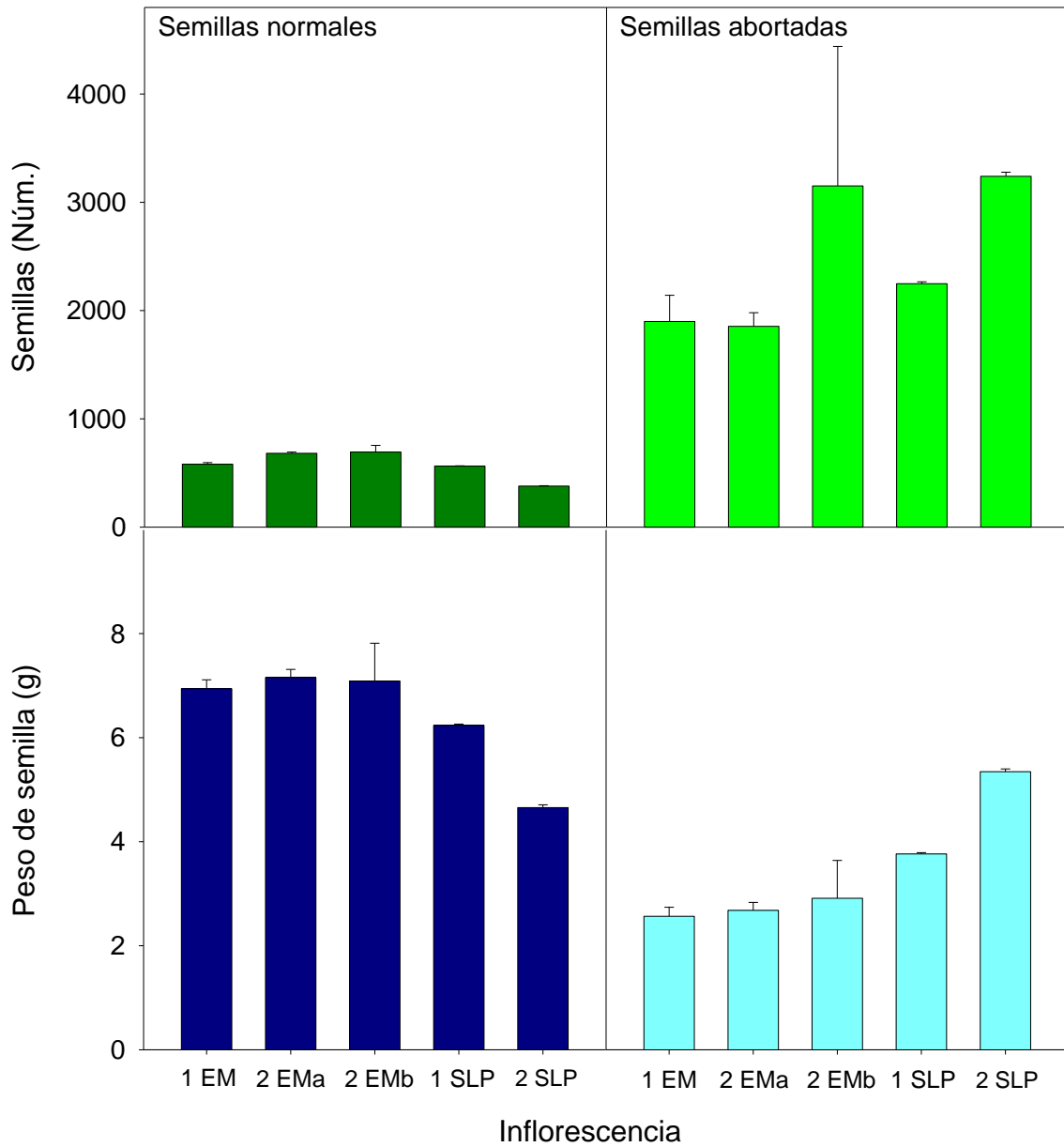


Figura 5.1. Número (A) y biomasa (B) de semillas normales y abortadas en una muestra de 10 gramos de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck de plantas del Cerro Tepari en San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México (1 y 2 EM a y b) y San Luis Potosí, México (1 y 2 SLP).

En general, los valores promedio de la anchura de las semillas fue significativamente diferente dentro y entre los sitios de recolecta ($p \leq 0.05$). Las semillas de la planta 1 EM fueron las más homogéneas en esta característica, pues su C.V. fue 7.26 % y contrastaron con las de la planta 2 con C.V. = 12.25 %. Entre las plantas de SLP la diferencia significativa fue menor a 3 %. En promedio, la variabilidad de las plantas de SLP, de acuerdo con su C.V., representó 8.76 y 11.10 %. La diferencia de la anchura de las semillas entre los sitios de recolecta fue cercana a 15 % (Cuadro 5.2).

Los resultados indican que la anchura de las semillas de *A. salmiana* es un carácter parcialmente heterogéneo dentro y entre las plantas y no parece depender del ambiente de crecimiento. Werker (1997) indicó que los tamaños diferentes en las semillas de una misma especie se deben a la posición de ellas dentro del fruto, al tamaño del fruto, la cantidad de material de reserva disponible y otros factores.

Estos resultados contrastan con los de otras especies en las que una de las similitudes es su metabolismo fotosintético MAC y los ambientes áridos y semiáridos en los que crecen. Es el caso de la anchura promedio de las semillas normales que fue un carácter relativamente homogéneo entre y dentro de las especies evaluadas de 89 variantes de cinco especies de *Opuntia* recolectadas en el altiplano mexicano por López-Palacios *et al.* (2015), pues las diferencias entre ellas fueron mínimas.

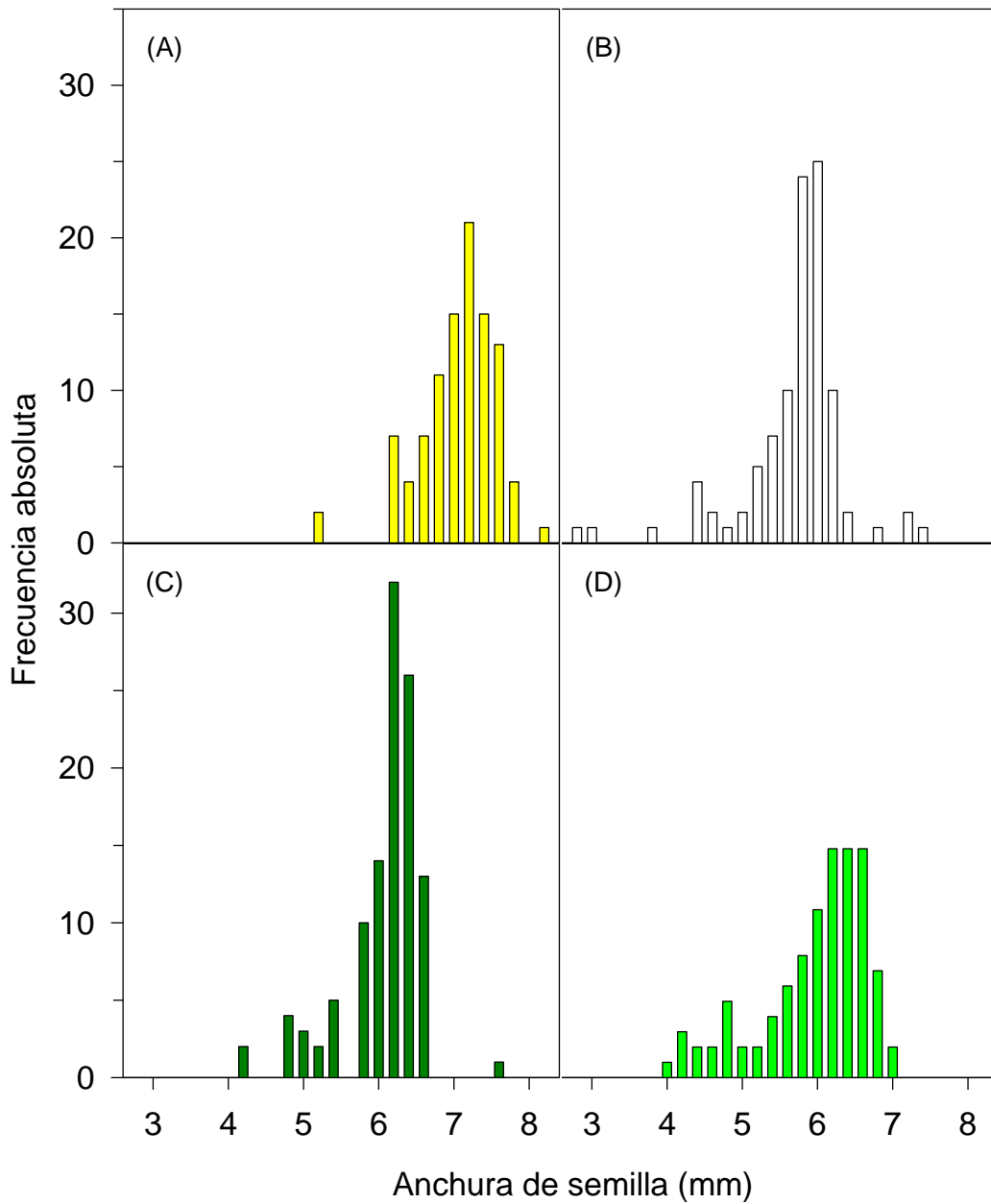


Figura 5.2. Distribución de la anchura de las semillas viables de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).

Cuadro 5.2. Dimensiones y biomasa de las semillas de cuatro plantas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y San Luis Potosí, SLP, México, en el año 2014.

Característica	Estado de México		San Luis Potosí	
	Planta 1	Planta 2	Planta 1	Planta 2
Anchura (mm)	6.758 a	5.589 c	5.564 c	5.729 b
C.V.	7.26	12.25	8.76	11.10
Espesor (mm)	0.578 c	0.659 b	0.585 c	0.742 a
C.V.	15.37	38.69	24.87	17.01
Longitud (mm)	9.099 a	7.831 d	8.497 b	8.028 c
C.V.	6.82	8.80	6.46	9.15
Biomasa (mg)	11.934 a	10.896 b	11.534 b	12.118 a
C.V.	13.47	21.83	10.84	19.13

5.5.2 Espesor de las semillas

El espesor de las semillas de la muestra total fluctuó entre 0.28 y 2.36 mm. El espesor de las semillas fue heterogéneo dentro y entre las plantas. El intervalo de este carácter con amplitud mayor, 0.31 a 2.36 mm, lo presentó la planta 2 EM, y el menor la planta 1 de este estado, 0.28 a 0.83 mm. Pero todas tuvieron gran cantidad de valores dispersos alrededor de la media. Las curvas de distribución de frecuencias del espesor

de las semillas fueron asimétricas y las plantas mostraron más de una moda de esta característica y su distribución fue del tipo dentado (Figura 5.3 A-D).

Los valores promedio del espesor de las semillas fue significativamente diferente dentro y entre los sitios de recolecta ($p \leq 0.05$). En promedio, el espesor de las semillas de las plantas 1 de ambas localidades fue significativamente similar entre ellos y menor al de las otras plantas, pero el C.V. fue diferente entre ellos (15.37 y 24.87 %). En promedio las semillas de la planta 2 SLP fueron las más gruesas entre las cuatro plantas y este carácter fue relativamente poco heterogéneo respecto a las otras plantas (Cuadro 5.2).

Estos resultados indican que, como en el caso de la anchura de las semillas, el grosor o espesor de las mismas es una característica variable dentro y entre plantas de *A. salmiana* y la variabilidad no depende del sitio de recolecta.

La heterogeneidad del espesor de las semillas entre las plantas y los sitios de recolecta de *A. salmiana* del presente estudio contrastó con la homogeneidad de las semillas de frutos de especies silvestres de *Opuntia*, como *O. streptacantha* y *O. hyptiacantha*, ejemplo de especies poco domesticadas, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el grosor de sus semillas normales de acuerdo con López-Palacios *et al.* (2015) y aunque estos autores reconocieron heterogeneidad en el espesor de las semillas de las especies de *Opuntia* domesticadas, las distribución de frecuencias del espesor de las especies silvestres, medianamente domesticadas y con grado mayor de domesticación son notablemente diferentes a las de *Agave*, pues en aquel caso fueron truncadas y sesgadas.

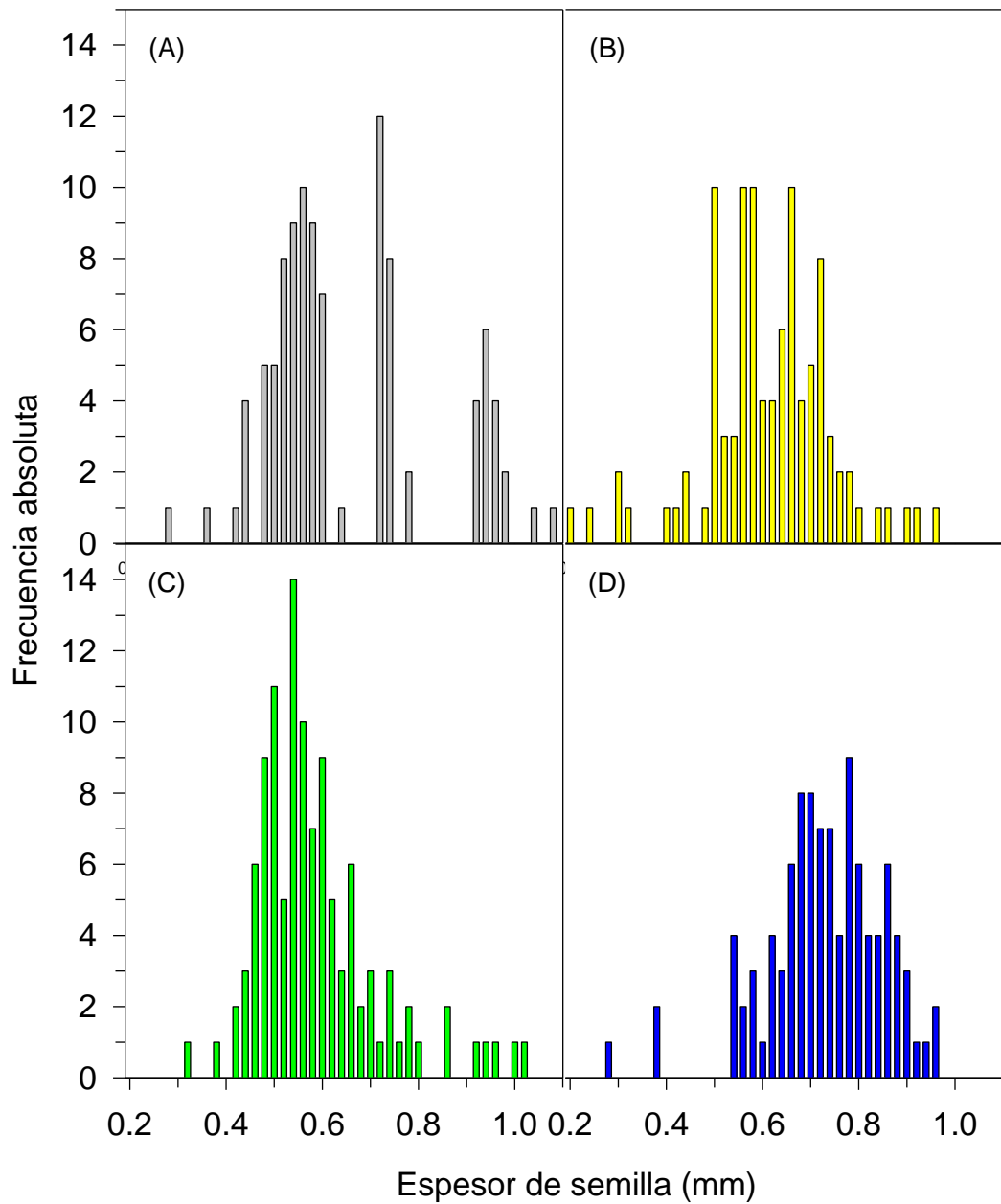


Figura 5.3. Distribución del espesor de las semillas viables de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).

5.5.3 Longitud de las semillas

La longitud de la muestra total de semillas varió entre 5.22 y 10.22 mm. En las cuatro plantas la distribución de este carácter fue dentada pues alternó valores altos y bajos. La longitud de las semillas de la planta 1 EM fue la única cercana a la normal. En estas distribuciones no modales sobresalió la de la planta 1 SLP porque la moda de la longitud (7.6 mm) la representaron cerca de 40 % de las semillas de esa muestra; en la planta 2 EM se observó algo similar, sólo que en ésta la moda (8.4 mm) la representó poco menos de 30 % de las semillas de la muestra; sin embargo, más del 40 % de las semillas de ambas plantas tuvieron longitudes menores y mayores que la moda con frecuencias entre 1 y 5 % de las semillas independientemente de su cercanía a la moda. La distribución de la longitud de las semillas de la planta 2 SLP presentó tres intervalos máximos de longitud de las semillas, entre 8.2 y 8.8 mm (Figura 5.4).

La homogeneidad de la longitud de las semillas en cada planta la confirmaron los valores bajos del C.V. de las cuatro plantas (entre 6.46 y 9.15 %). Independientemente de esto, la longitud promedio fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) entre las cuatro plantas y las más cortas (planta 2 EM) fueron 14 % menores a las más largas (planta 1 EM) (Cuadro 5.2).

La longitud de las semillas de otras especies MAC fue documentada por López-Palacios *et al.* (2015), los autores señalaron que especies como *O. streptacantha*, *O. albicarpa*, *O. megacantha* y *O. ficus-indica* mostró distribución modal y varió significativamente ($p \leq 0.05$) dentro de las especies.

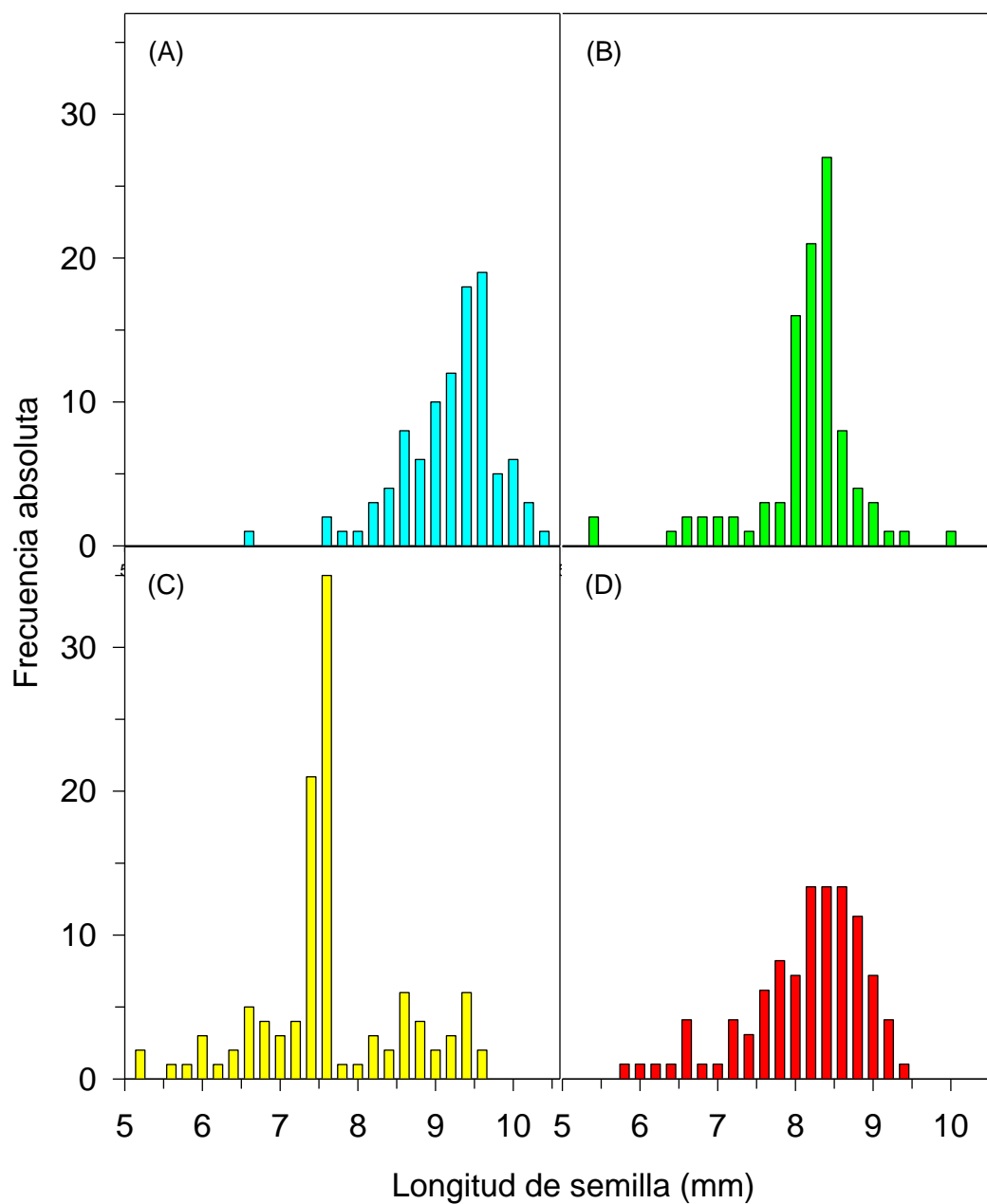


Figura 5.4. Distribución de frecuencias de longitud de las semillas viables de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).

Los resultados de este estudio concuerdan con los documentados por otros autores en relación con el color y algunas dimensiones como la anchura y la longitud. Al respecto se ha señalado que las semillas son negras brillantes, planas con un ala corta en su porción convexa y con forma lunulares, lacrimiformes o triangulares (Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2007; García-Mendoza, 2011). Estos son los criterios aplicados para seleccionar las semillas para el presente estudio, como se mencionó en el apartado de materiales y métodos. Gentry (1982) señaló que la semilla de *A. salmiana* mide de 8 a 9 mm de longitud por 6 a 7 mm de anchura; aunque, como se observó en las plantas recolectadas del Estado de México (Cuadro 5.2) se ha registrado que algunas poblaciones del Valle de México y del Valle de Tehuacán-Cuautitlán presentan anchuras más heterogéneas (5 a 7 mm). Sin embargo, sólo las plantas del Valle de Tehuacán-Cuautitlán producen semillas con longitudes entre 7.0 y 9.0 mm (Rzedowski y Rzedowski, 2005; García-Mendoza, 2011). Lo anterior, coincide con las longitudes encontradas en las plantas recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, en el Estado de México (Cuadro 5.2).

Tanto la anchura, entre 5.4 a 6.5 mm, como la longitud, entre 7.1 a 8.4 mm, de las semillas de *A. salmiana* (variantes Blanco, Liso y Chino) de San Luis Potosí, México, fueron documentadas por Vázquez *et al.* (2011) y coinciden con las de los dos individuos recolectados en SLP y evaluadas en este estudio (Cuadro 5.2).

5.5.4 Biomasa de las semillas

La amplitud en la biomasa de las semillas de la muestra completa fue de 2.20 mg entre las semilla de la planta 1 EM y 16.70 mg entre las de la planta 1 SLP. La biomasa promedio de las semillas fue significativamente diferente entre las plantas ($p \leq 0.05$), las de la planta 1 SLP y de la planta 2 EM, sin diferencia significativa entre ellas, fueron 6.7 % más pesadas que las de las otras dos plantas (Cuadro 5.2).

La distribución de frecuencias de la biomasa de las semillas fue parcialmente similar entre las plantas; ninguna fue estrictamente simétrica alrededor de la media. Las plantas 1 EM y SLP fueron sesgadas hacia semillas abundantes de biomasa mayor, con picos mayores en 12 y 13 mg. Esto se reflejó en la homogeneidad mayor de esta característica de las semillas de ambas plantas (C.V. = 13.47 y 10.84 %), y frecuencia relativa disminuida o nula de biomasa de semilla entre 6 y 11 y entre 15 y 18 mg (Figura 5.5 A y C).

En contraste las semillas de las plantas 2 EM y SLP mostraron menor homogeneidad en su biomasa (C.V. = 21.83 y 19.13 %) y, como en el caso de la planta 1 SLP, esa distribución fue discontinua, con ausencia de semillas en algunos intervalos de biomasa (Figura 5.5 B y D).

La biomasa seca en las semillas de la planta 1 y 2 EM fue de 93.00 ± 0.21 y 92.91 ± 0.68 %. Estos valores estuvieron entre los valores de biomasa seca de las plantas 1 y 2 SLP (92.82 ± 0.55 y 93.46 ± 0.33 %). El contenido de materia seca no presentó diferencias significativas entre las plantas de un mismo sitio y entre sitios ($F = 2.11$, $p = 0.1308$). Resultados similares se encontraron en el contenido de humedad ($F = 2.11$, $p = 0.1308$).

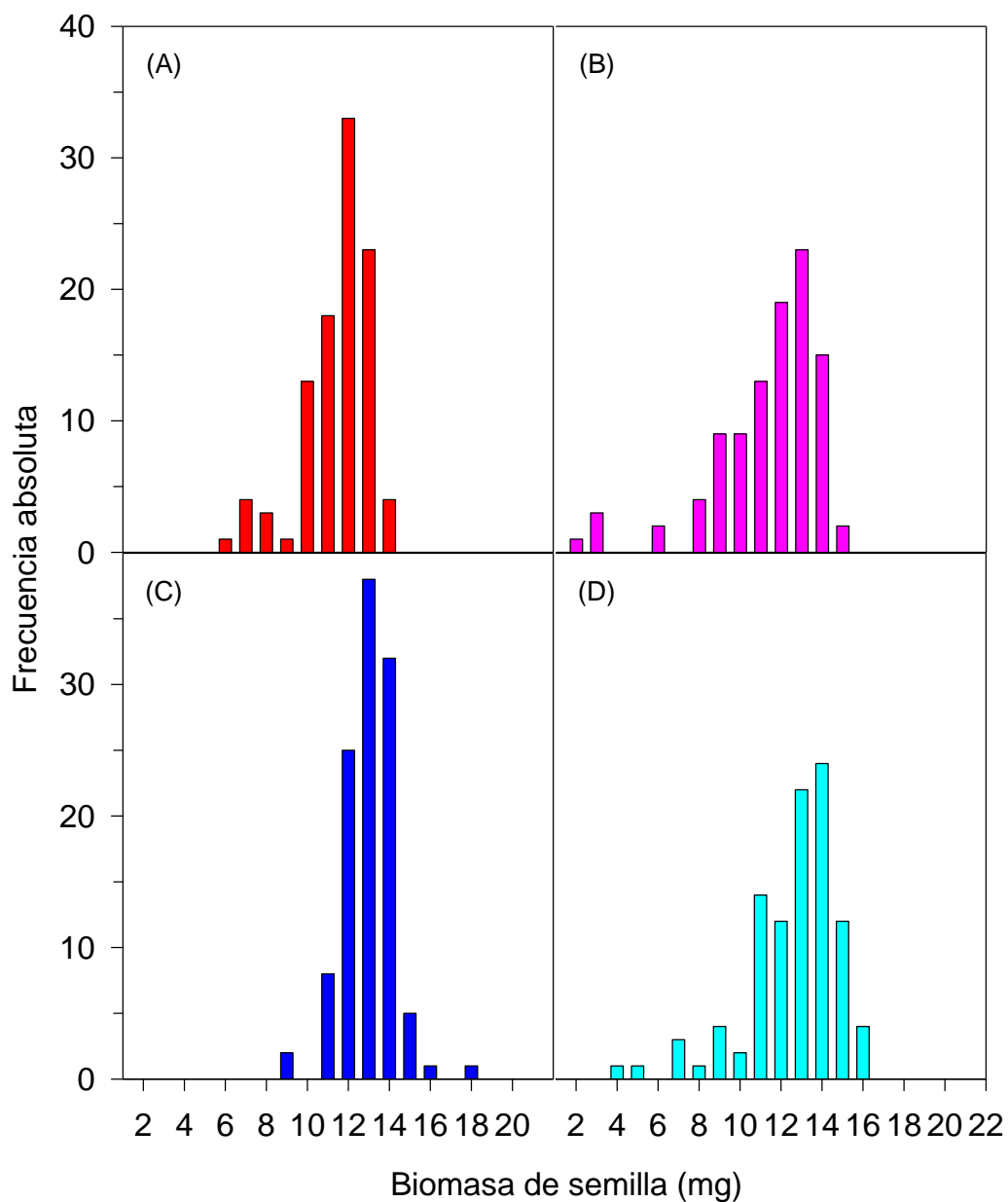


Figura 5.5. Distribución de la biomasa de las semillas viables de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. (A y B) plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México y (C y D) de San Luis Potosí, SLP, México (n = 100).

En el año 2015, el contenido de humedad para la planta 1 y la 2 EM y SLP fue 7.00 ± 0.21 , 7.09 ± 0.68 , 7.18 ± 0.55 y 6.54 ± 0.33 %. El contenido de humedad bajo en las semillas de maguey puede servirles para permanecer viables y se encuentra influenciada del ambiente (Doria, 2010). Al respecto, en el año 2014, se registró contenido de humedad de 6.74 ± 0.64 y 6.77 ± 0.86 % en la planta 1 y 2 EM, estos resultados no mostraron diferencias con los obtenidos en 2015 ($F = 0.42$, $p = 0.7374$) a pesar de existir un periodo de ocho meses entre determinaciones. En oposición, Vázquez (2010) encontró que las semillas de las variantes Blanco, Chino y Liso de *A. salmiana*, recolectadas en San Luis Potosí, tuvieron contenido diferente de humedad, entre 2.8 a 11.6 %.

5.5.5 Germinación de las semillas

Las condiciones de germinación fueron: temperatura media 23.21 ± 1.18 °C (mínima y máxima de 20.96 y 26.33 °C), humedad relativa (HR) de 51.99 ± 5.11 % (mínima y máxima de 32.24 y 62.69 %) e iluminancia de 145.42 ± 198.69 lux (lx) (mínima y máxima de 3.9 y 1131.3 lx). En general las condiciones de germinación fueron óptimas para la germinación de *A. salmiana* y otras siete especies de *Agave* (Ramírez-Tobías *et al.*, 2012).

Las semillas de las cuatro plantas iniciaron la germinación poco después de 100 h, en las siguientes 90 h incrementaron el porcentaje en cantidades variables y entre las 196 y 216 h las semillas de las cuatro plantas alcanzaron la germinación máxima acumulada, entre 95 y 99 %, sin diferencias significativas entre ellas ($p > 0.05$) (Figura 5.6). Entre las semillas sin germinar se observó a simple vista semillas con desarrollo

de bacterias y hongos en la cubierta seminal (1.5 a 4.25 %) y una proporción mínima (0.75 a 1.5 %) de ellas fue de semillas vanas, que se caracterizaron por embeber agua y no presentaron germinación. Además, de esas proporciones se cuantificó sólo 0.75 % de semillas latentes. Estas últimas únicamente se encontraron en la planta 1 EM.

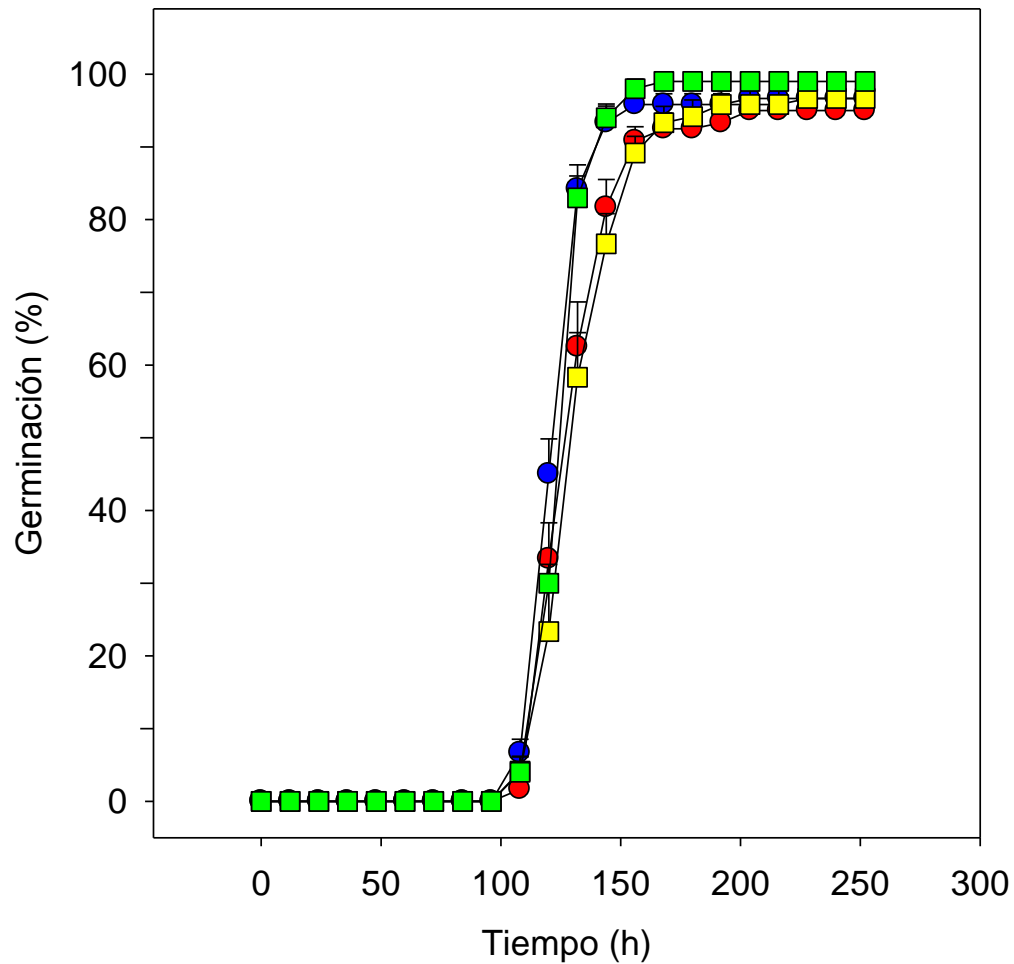


Figura 5.6. Germinación acumulada de las semillas viables de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. Círculos: plantas del Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México, y cuadros: plantas de San Luis Potosí, SLP, México (n = 120).

Estos resultados indicaron que la germinación no dependió de las dimensiones ni la biomasa de las semillas, y tampoco de la planta o sitio de recolecta, ya que en todos los casos el porcentaje de germinación fue cercano a 100 % y se alcanzaron en tiempos similares ($p \geq 0.05$) (Cuadro 5.2; Figura 5.6). La excepción de esto fue la planta 2 SLP, ya que la asociación positiva entre el porcentaje de germinación y la longitud de la semilla ($r = 0.702$, $p \leq 0.05$) fue significativa.

Las semillas recolectadas en el Estado de México no fueron afectadas negativamente por el almacenamiento pues su germinación en agosto de 2014 fue de 93.33 ± 8.16 % y en marzo de 2015, más de un año después de la recolección, fue 95.0 ± 6.74 % y 96.67 ± 4.92 en la planta 1 y 2. En 2015, las semillas tardaron dos días más para alcanzar la germinación máxima.

Los resultados de la germinación máxima acumulada coincidieron con los señalado por Jiménez-Aguilar y Flores (2010) en relación a que las semillas de *A. salmiana* son fotoblásticas neutras, pero esos autores observaron que a 25 °C e iluminación mostraron germinación máxima de 70 % y en oscuridad tuvieron 94 %. Las semillas de esta especie en condiciones de oscuridad no germinan a 10 y 45 °C, y sí lo hacen en el intervalo de 15 a 35 °C, pero la germinación mayor (91 %) se desarrolla aceleradamente (cerca de una semilla h^{-1}) entre 20 y 30 °C (Ramírez-Tobías *et al.*, 2012). De acuerdo con Sánchez-Urdaneta *et al.* (2004), las semillas de *A. salmiana* originarias de SLP incrementaron la germinación sincrónica hasta 98 ± 2 % y en 84 h cuando se escarificaron mecánicamente y embebieron en agua durante 24 h (Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2004).

Los resultados de las evaluaciones de germinación en condiciones de laboratorio difieren de los documentados para la emergencia de las plántulas en condiciones de invernadero. Con base al porcentaje de emergencia de las plántulas, Sánchez-Urdaneta *et al.* (2011) y Vázquez *et al.* (2011) señalaron que la germinación de las semillas de *A. salmiana* es heterogénea y menor a 71 %. Lo que puede estar relacionado con la incapacidad del embrión para generar plántulas vigorosas que atraviesen el suelo y emerjan a la superficie, que a la vez, podría estar relacionada con la cantidad de reservas de las que dispone el embrión para su crecimiento durante la germinación. Aunque, de acuerdo con Vázquez *et al.* (2011) las plántulas de *A. salmiana* que emergieron primero fueron las originadas por semillas chicas (10.8 g, 7.1 y 5.4 mm de longitud y anchura).

5.5.7 Crecimiento de plántulas

Para conocer si las semillas de *A. salmiana* después de germinar mantenían el crecimiento y desarrollo normal de sus plántulas y sin daños aparentes se evaluó la biomasa de la raíz y el vástago de plántulas durante su crecimiento que alcanzaron alrededor de los 11 o 12 cm de longitud total, en condiciones de laboratorio, y también de plántulas con su primer nófilo (con 20 a 23 días después de la germinación). Para esta evaluación se utilizaron las semillas de las plantas del Estado de México.

El ambiente de desarrollo de las plántulas fue 24.99 ± 1.52 °C de temperatura media (mínima y máxima de 20.70 y 29.99 °C), 46.44 ± 6.44 % de HR media (mínima y máxima de 20.10 y 60.65 %) y 144.69 ± 137.69 lx de iluminancia media (mínima y máxima de 3.9 y 1990.25 lx).

En las plántulas de maguey se distinguieron la raíz, el cotiledón, el cuello y el haustorio color blanco o negro (Figura 5.7). El crecimiento de estas estructuras se dejó de evaluar cuando la disponibilidad de plántulas con tamaños mayores a más de 127 mm para planta 1 y 109 mm para planta 2 comenzaron a ser raros.

El embrión de las plántulas obtenidas con las semillas de la planta 1 EM tuvo 5.91 ± 0.756 mm de longitud (mínima y máxima de 2.73 y 8.48 mm) y el de la planta 2 EM de 5.38 ± 0.520 mm (mínima y máxima de 3.7 y 6.52 mm). El embrión de la planta 1 fue 8.9 % más grande que en la planta 2 ($W= 1264.5$, $p \leq 0.05$). Las diferencias pueden deberse a las dimensiones originales de la estructuras de las semilla, como en el caso de *Yucca schidigera* Ortgies en la que se demostró que el tamaño del embrión está relacionado directamente al tamaño y forma de la semilla (Arnott, 1962).

Durante el crecimiento y desarrollo de la plántula, el lugar del embrión es ocupado por el haustorio del cotiledón (Arnott, 1962), que cambia de color durante el crecimiento y desarrollo de la plántula hasta quedar una capa celular color negro. La longitud del embrión fue comparada con la longitud del haustorio medido durante el crecimiento de las plántulas (Figura 5.8). En plántulas de la planta 1 y 2 EM menores de 40 mm, se encontró diferencias entre el embrión y el haustorio ($p \leq 0.05$), dicha diferencia fluctuó entre 0.38 y 0.86 mm en las plántulas de la planta 1 EM y entre 0.42 y 0.71 mm en la planta 2 EM. Con el crecimiento de la plántula, las longitudes de las dos estructuras se igualan y la longitud del embrión fue similar a la del haustorio de las plántulas mayores a 80.14 y 89.13 mm en las plántulas de la planta 1 y 2 EM ($p < 0.05$). Las diferencias observadas probablemente se deban a que la zona de transición (color

amarillo) entre el haustorio y el cotiledón se incluyó en la longitud del haustorio y no como parte de la longitud del cotiledón y de la plántula.

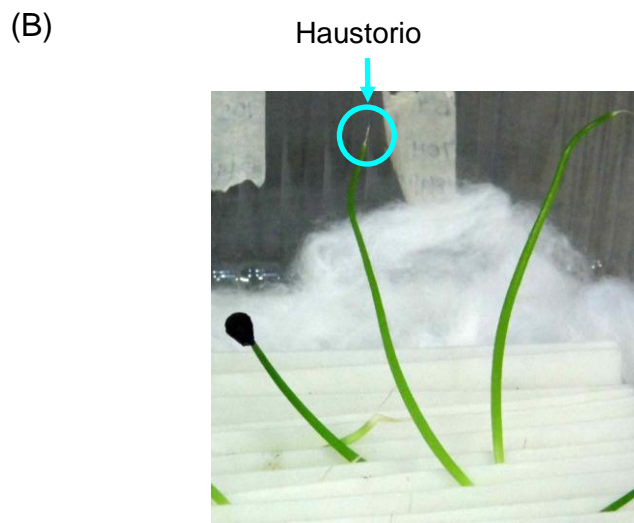
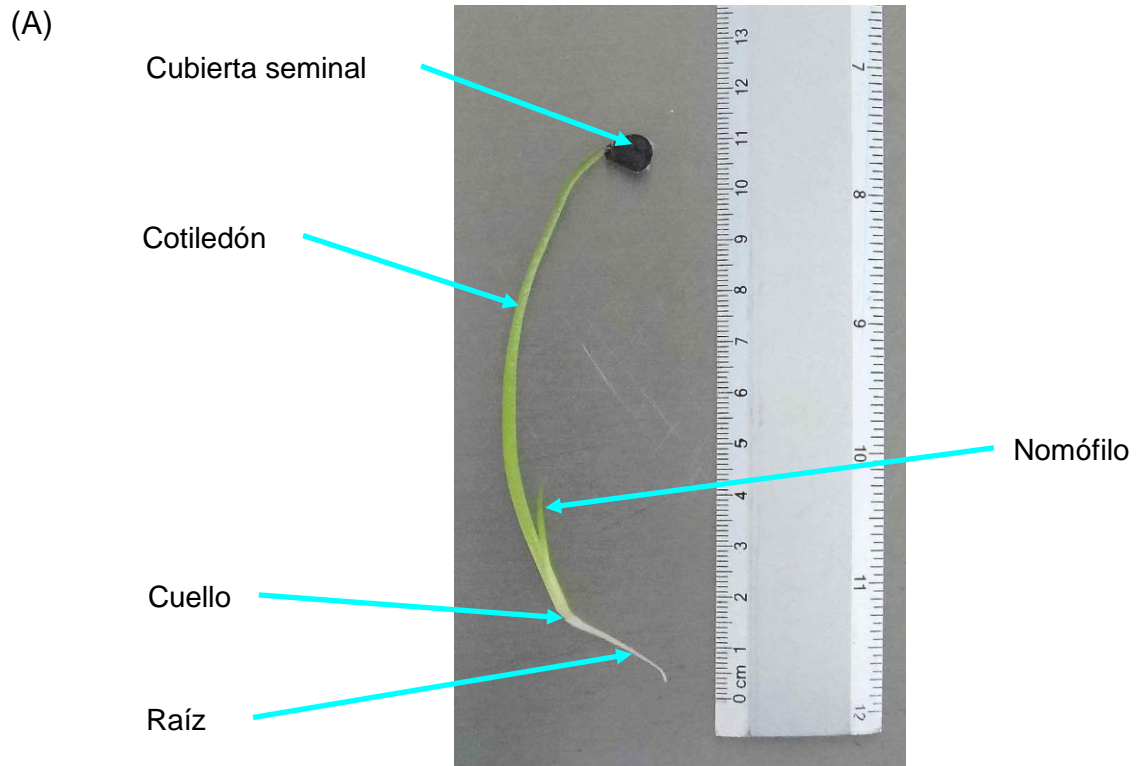


Figura 5.7. Estructuras de la plántula de *A. salmiana* (A y B).

Así, el haustorio en plántulas con longitud similar fue significativamente más largo (entre 0.44 a 1.12 mm) en la progenie de la planta 1 EM respecto a la de la planta 2 EM ($p \leq 0.05$). La excepción fueron las plántulas con tallas de 50.69 y 108.39 mm en planta 1 y 49.36 y 109.34 mm para planta 2 ($p \geq 0.05$).

La longitud promedio total de las plántulas fue diferente entre las plantas madre. Las de la planta 1 EM lograron tallas de 126.95 ± 2.73 mm ($n = 4$) y las de la planta 2 EM fueron en promedio 13.9 % menores (Figura 5.8).

Después de la germinación de la semilla, la longitud promedio de las plántulas mostró diferencias significativas entre las de la planta 1 y 2 EM ($p \leq 0.05$), donde las de la planta 2 alcanzaron tamaño mayor, 9.45 ± 2.38 y 11.49 ± 2.44 mm ($n = 72$); esta diferencia se apreció también en la longitud de la raíz y el cotiledón (5.42 ± 1.65 y 4.03 ± 1.48 mm en la planta 1; y 6.19 ± 1.79 y 5.31 ± 1.66 mm en la planta 2), pero el diámetro del cuello fue similar (1.08 ± 0.228 mm en la planta 1 y 1.07 ± 0.162 mm en la planta 2).

En las primeras etapas de desarrollo de las plántulas la longitud de la raíz correspondió a poco más de 53 % de la longitud de la plántula, independientemente de la planta madre. Con el crecimiento de las plántulas la proporción se modificó, entre las estructuras y entre el origen de las plántulas; en las plántulas descendientes de la planta 1 EM la longitud del cotiledón llegó a constituir entre 56.6 y 74.5 % de la altura de la plántula, pero en la planta 2 fue entre 50.7 y 73.6 %. Cuando las plántulas de ambas plantas alcanzaron el tamaño máximo (cerca de 110 mm), el cotiledón representaba 72 y 73 % de la longitud máxima (Figura 5.8).

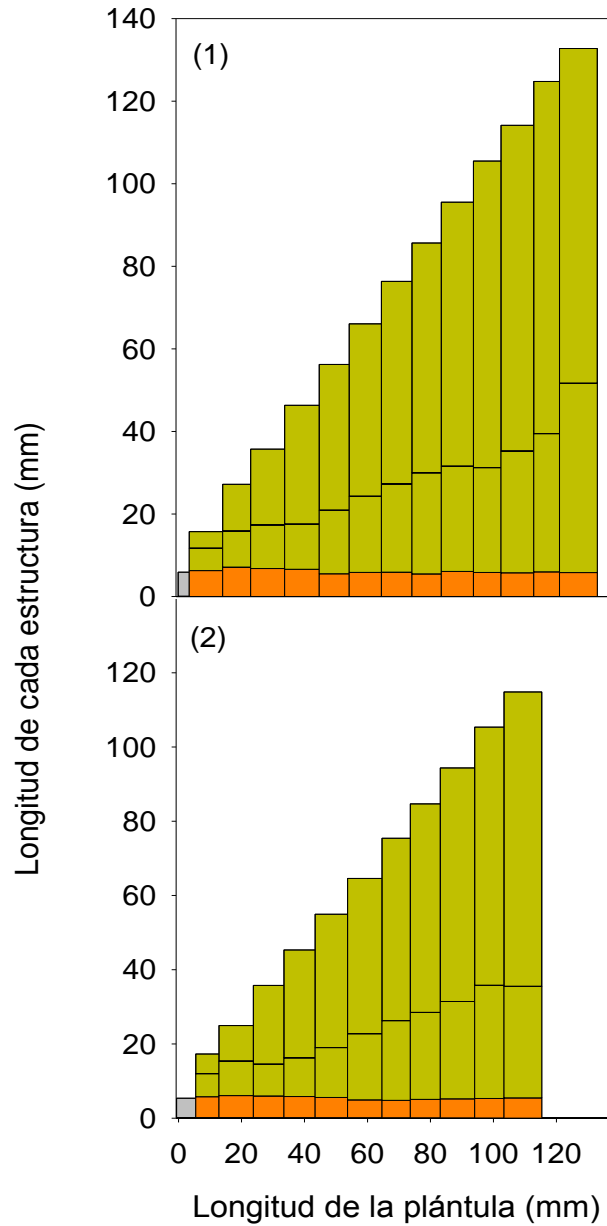


Figura 5.8. Longitud del haustorio (sección inferior de las barras), de la raíz (sección media de las barras) y el cotiledón (sección superior de las barras) respecto a la longitud total de la plántula en dos plantas (1 y 2) de *Agave salmiana*, después de germinar la semilla a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y mantenidas en penumbra (iluminancia $145.42 \pm 198.69 \text{ lx}$). La primera barra representa la longitud del embrión.

Como podría esperarse el crecimiento del cotiledón y de la raíz se relacionan directamente con el incremento del diámetro del cuello de las plántulas ($r = 0.8707$ y $r = 0.9607$, $p \leq 0.05$). Cuando las plántulas de ambas plantas madre EM alcanzaron el tamaño máximo, el diámetro del cuello había incrementado 21.3 y 26.9 % en las plántulas de la planta 1 y 2 (Figura 5.9).

De acuerdo con la prueba t y U de Mann-Whitney, entre plantas la longitud de la raíz, cotiledón y total no fueron diferentes ($p \geq 0.05$) cuando las plántulas descendientes de la planta 1 y 2 EM tuvieron longitudes alrededor de 40, 50 y 109 mm. La única diferencia se obtuvo después de la germinación, cuando las plántulas iniciaban el desarrollo (Figura 5.8).

En oposición, el diámetro del cuello de las plántulas fue significativamente diferente entre ambos grupos de plántulas cuando habían alcanzado tamaño mayor, aproximadamente 80 y 100 mm ($p \leq 0.05$). Para estas medidas, las plántulas de la planta 2 mostraron 3.9 y 6.6 % mayor diámetro de cuello que las de la planta 1.

5.5.7 Acumulación de biomasa en plántulas

La biomasa seca del embrión y perispermo-cubierta seminal en las semillas de la planta 1 EM fue 1.43 ± 0.194 y 9.70 ± 0.659 mg, respectivamente, y en las semillas de la planta 2 fue 1.35 ± 0.262 y 9.20 ± 0.660 mg, sin diferencias significativas entre las plantas ($p \geq 0.05$). La biomasa del embrión en las semillas de la planta 1 presentó una relación directa con la biomasa del perispermo-cubierta seminal ($r = 0.4068$, $p \leq 0.05$), y la biomasa del perispermo-cubierta seminal de ambas plantas estuvo asociada positivamente a la longitud del embrión ($r = 0.4879$ y 0.5969 , $p \leq 0.05$).

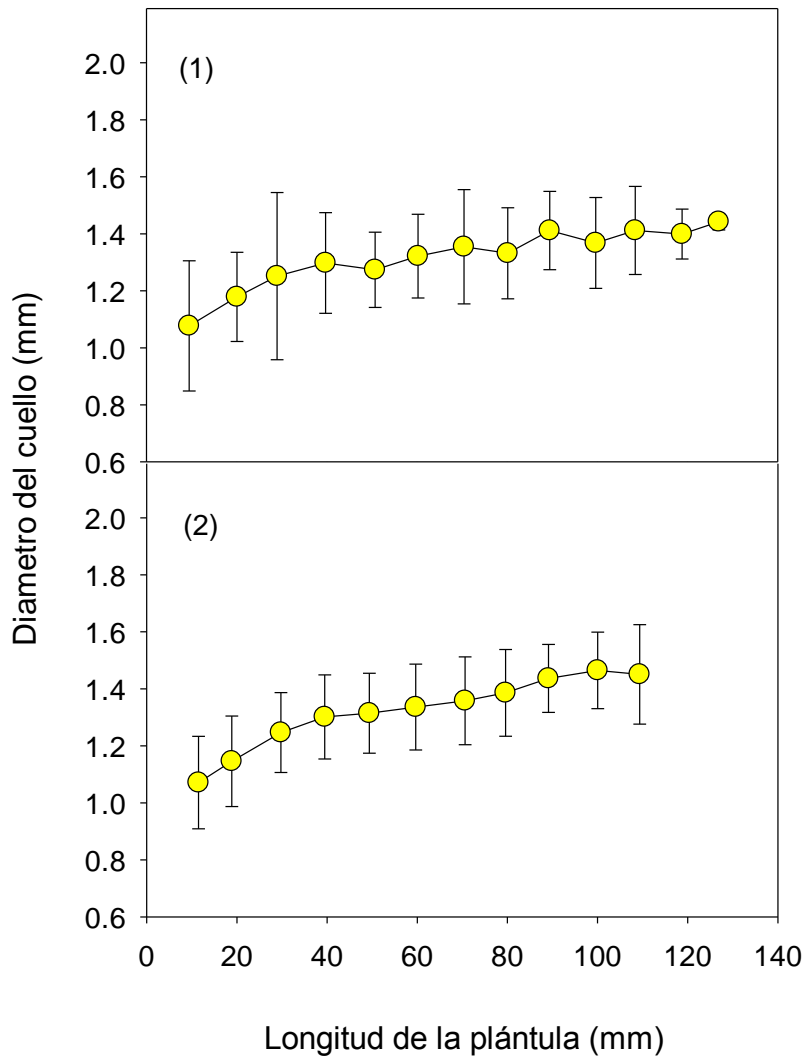


Figura 5.9. Diámetro del cuello de la plántula de *Agave salmiana* en función de la longitud total de la plántula. Plántulas obtenidas de la germinación (a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y en penumbra (iluminancia de 145.42 ± 198.69 lx) de semillas de dos plantas (1 y 2) recolectadas en el Cerro Tepari, San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México.

La biomasa seca del perispermo-cubierta seminal de las dos plantas se encontró asociada negativamente con la altura de la plántula ($r = - 0.7601$ y $- 0.7793$, $p \leq 0.05$). Esta correlación fue marcada en las plántulas con altura menor a 28.94 y 18.85 mm en planta 1 y 2 EM, porque en plántulas mayores la relación disminuye ($p \geq 0.05$) (Figura 5.10). Lo anterior indica que las plántulas al alcanzar alturas cercanas a 30 mm consumen los nutrientes del perispermo, por transporte de nutrimentos a la plántula (Arnott, 1962; Bewley y Black, 1994; Bewley, 1997; Werker, 1997).

La biomasa seca del perispermo en la semilla de ambas plantas (5.98 ± 0.664 y 6.20 ± 0.665 mg) disminuyó con el crecimiento de las plántulas; cuando su altura era de 30 mm, el perispermo en la cubierta seminal alcanzó su biomasa menor (1.9 y 2.5 mg en la planta 1 y 2).

Con base en los valores mínimos y máximos de biomasa del perispermo, las plántulas con tallas entre 28.94 a 50.69 mm (planta 1) y de 18.85 a 39.48 mm (planta 2) presentaron algunas cubiertas seminales con perispermo (Figura 5.10). Por tanto, plántulas con longitudes similares o mayores a las descritas dejaron de depender del perispermo.

La acumulación de biomasa en la raíz y cotiledón se graficó para conocer su cambio en relación con la longitud de la plántula (Figura 5.11). Las plántulas con tallas menores a 12 mm procedentes de las semillas de la planta 1 presentaron biomasa seca total, de la raíz y del cotiledón (1.54 ± 0.390 , 0.305 ± 0.176 y 1.23 ± 0.341 mg) menor a la de la planta 2 (2.00 ± 0.502 , 0.393 ± 0.155 y 1.61 ± 0.393 mg); la diferencia osciló entre 22.4 a 23.6 % ($p \leq 0.05$). La biomasa de la raíz, de ambas plantas, constituyó menos del 20.5% de la biomasa total de las plántulas (Figura 5.11).

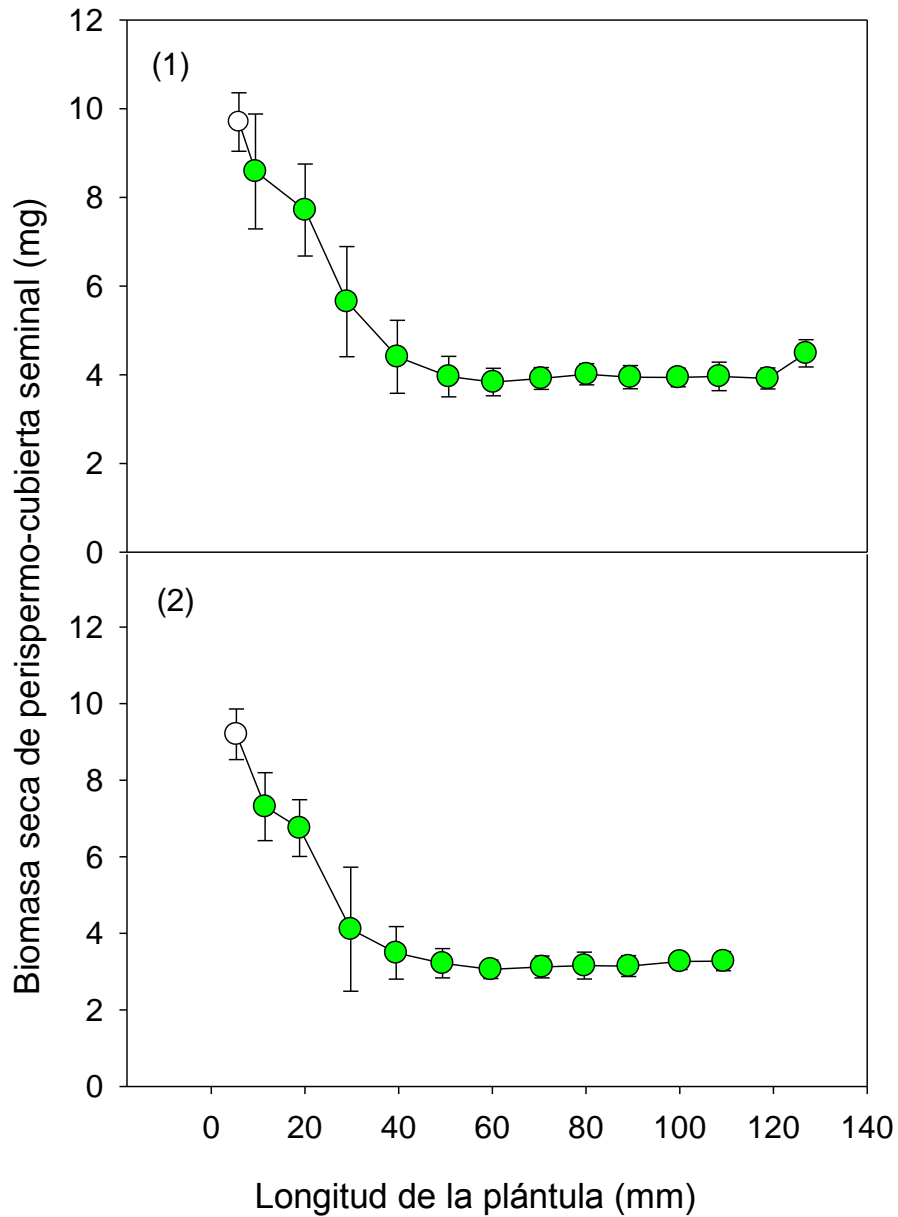


Figura 5.10. Biomasa seca del perispermo-cubierta seminal respecto a la longitud total de la plántula de plantas (1 y 2) de *Agave salmiana*, después de germinar la semilla a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y mantenidas en penumbra (iluminancia de $145.42 \pm 198.69 \text{ lx}$). El círculo de color blanco representa la biomasa seca del perispermo-cubierta seminal en la semilla.

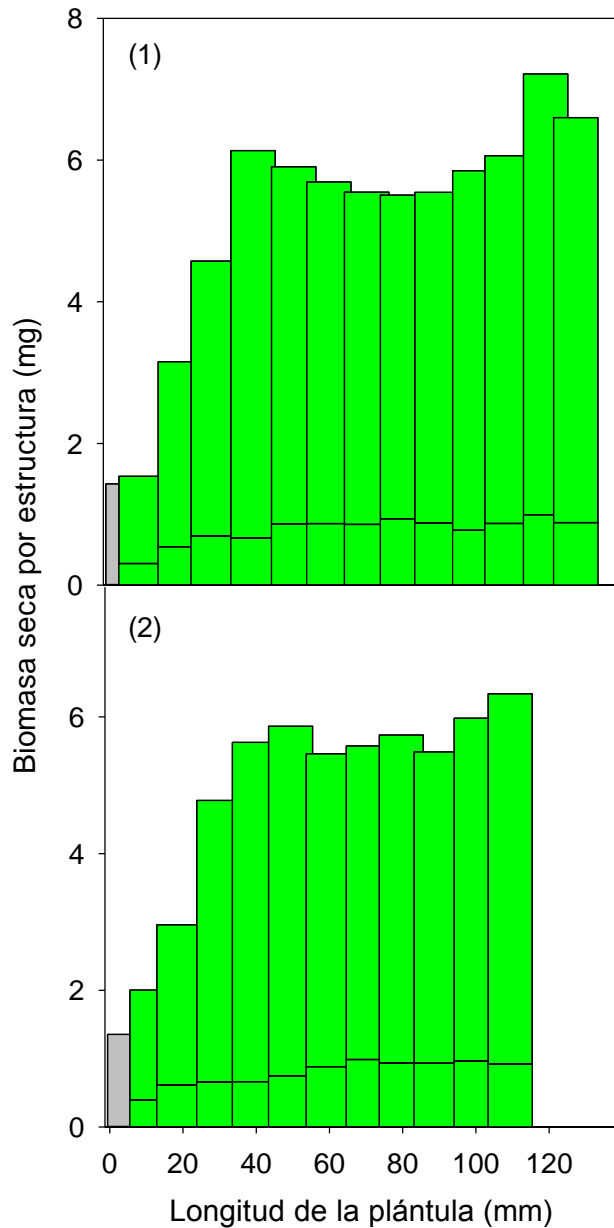


Figura 5.11. Biomasa seca acumulada en la raíz (sección inferior de las barras) y el vástago (sección superior de las barras) respecto a la longitud total de las plántulas de planta 1 y 2 de *Agave salmiana*, después de germinar la semilla a $23.21 \pm 1.18^{\circ}\text{C}$ y mantenidas en penumbra (iluminancia de $145.42 \pm 198.69 \text{ lx}$). La barra color gris representa la biomasa inicial del embrión.

La biomasa seca de la plántula incrementó con el tamaño de la plántula ($r = 0.7891$ y 0.8308 , $p \leq 0.05$), del inicio del desarrollo hasta longitudes alrededor de 40 mm (Figura 5.12).

Al comparar la cantidad de biomasa seca total entre las longitudes de la plántula se encontró que cuando las plántulas, de la planta 1 y la 2, alcanzaron valores cercanos a 30 mm detuvieron el incremento significativo de la biomasa ($p \leq 0.05$) (Figura 5.11). Las plántulas de las semillas de la planta 1 EM cuando alcanzan una longitud promedio de 28.94 mm dejan de acumular biomasa en la raíz, y en las plántulas de la planta 2 se observó cuando alcanzaron 49.36 mm ($p \geq 0.05$). Aunque la acumulación de biomasa en el cotiledón cesa cuando las plántulas de la planta 1 y la 2 alcanzan longitud de 39.71 y 29.76 mm ($p \geq 0.05$), respectivamente.

5.5.8 Caracterización de plántulas con nomófilo

El nomófilo en plántulas obtenidas de las semillas de plantas 1 y 2 EM se observó aproximadamente entre los 20 y 23 días después de la germinación de las semillas. La altura promedio de las plántulas con nomófilo descendientes de la planta 1 EM fue de 87.95 ± 14.63 mm, el diámetro del cuello y la longitud del nomófilo fue de 1.37 ± 0.156 y 18.66 ± 4.60 mm. En las plántulas descendientes de la planta 2 EM tuvieron longitud de 90.74 ± 15.60 mm, diámetro del cuello de 1.45 ± 0.154 mm y un nomófilo con longitud 18.71 ± 5.11 mm. La raíz de las plántulas de ambos grupos de plantas representó 17% de la longitud total de las plántulas (Cuadro 5.3).

Cuadro 5.3. Caracterización de plántulas con nomófilo (1 mes de desarrollo) de dos plantas del Estado de México.

Variable	Estructura	Planta 1			Planta 2		
		Promedio \pm D.E.	Mínimo	Máximo	Promedio \pm D.E.	Mínimo	Máximo
Longitud (mm)	Raíz anatómica	14.60 \pm 5.68	3.90	28.70	15.51 \pm 7.14	4.47	39.65
	Cotiledón	73.35 \pm 11.44	43.68	97.22	75.23 \pm 12.10	31.55	103.57
	Plántula	87.95 \pm 14.63	56.48	119.76	90.74 \pm 15.60	45.37	125.73
	Haustorio	5.86 \pm 1.00	3.62	8.07	5.27 \pm 0.875	2.48	6.99
	Nomófilo	18.66 \pm 4.60	11.74	30.63	18.71 \pm 5.11	9.49	33.84
Diámetro (mm)	Cuello	1.37 \pm 0.156	1.09	1.84	1.45 \pm 0.154	1.05	2.05
Biomasa (mg)	Raíz	0.56 \pm 0.108	0.28	0.77	0.59 \pm 0.120	0.45	0.80
	Cotiledón	5.38 \pm 0.528	4.27	6.40	5.97 \pm 0.627	4.77	7.20
	Cubierta seminal	3.73 \pm 0.249	3.18	4.10	3.02 \pm 0.234	2.47	3.43
	Nomófilo	0.48 \pm 0.150	0.23	0.77	0.55 \pm 0.114	0.33	0.83
	Plántula	6.42 \pm 0.664	4.97	7.40	7.11 \pm 0.743	5.80	8.47

La longitud del haustorio y diámetro del cuello de las plántulas descendientes de la planta 1 fueron diferentes a las de la planta 2 ($p \leq 0.05$) (Cuadro 5.3). Estas variables junto con la longitud de la raíz, cotiledón y plántula coinciden con los valores descritos para plántulas sin nomófilo. Al respecto, Vázquez *et al.* (2011) señalaron que la longitud del cotiledón entre las variantes 'Blanco', 'Liso' y 'Chino' de *A. salmiana* fue homogénea (98 - 112 mm).

Las plántulas con nomófilo de la planta 2 presentaron 10 % más contenido de biomasa en el cotiledón y la plántula respecto a las de la planta 1 ($p \leq 0.05$), sucediendo lo contrario para la cubierta seminal ($p \leq 0.05$) (Cuadro 5.3).

En la planta 1 y la 2, los valores de biomasa en la raíz, cotiledón y cubierta seminal de plántulas con nomófilo coinciden con los descritos en plántulas sin nomófilo que alcanzan su máximo desarrollo, es decir, a partir del punto en que la acumulación de biomasa en raíz y cotiledón se mantienen constantes (Figura 5.11).

5.5.8 Calidad de plántula

La calidad de plántula en plántulas de *A. salmiana* sin y con nomófilo se evaluó mediante el índice de Dickson y el de esbeltez (Figura 5.12).

Independientemente del tamaño de las plántulas, los valores promedio del índice de Dickson para las plántulas de planta 1 y 2 oscilaron entre 3.14×10^{-4} y 5.93×10^{-4} y de 3.86×10^{-4} a 5.60×10^{-4} , respectivamente. Los valores promedio menores correspondieron a plántulas menores de 12 mm, y los más altos en plantas con tallas de 50.69 y 59.65 mm para las plántulas de planta 1 y 2, respectivamente.

Los valores del índice de Dickson mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las tallas diferentes de la plántula para una misma planta. La calidad de plántula

menor en planta 1 se encontró en plántulas con longitudes cercanas a 12 mm y 100 mm, en promedio de 34.0% a 47.0% y de 11.9 a 30.4 %, respectivamente. En la planta 2, las plántulas con tallas de 12 mm presentaron menor calidad que las plántulas con otras longitudes, en promedio de 5.1% a 31.0%.

Cuando las plántulas alcanzan longitudes cercanas a 12 y 100 mm, su calidad en planta 2 fue 18.6 y 15.6%, respectivamente, mayor que las de la planta 1 ($p \leq 0.05$). Las diferencias encontradas en las plántulas con tallas de 12 mm, puede estar influida por la cantidad tejido de reserva transportado a la plántula (Arnott, 1962; Bewley y Black, 1994; Bewley, 1997; Werker, 1997).

Respecto al índice de esbeltez se obtuvieron los siguientes valores en plántulas menores a 12 mm: 0.866 ± 0.158 para planta 1 EM y 1.079 ± 0.152 para planta 2 EM.

Los valores del índice de esbeltez de las plántulas de la planta 2 con longitudes de 12 mm fue 19.7% mayor ($p \leq 0.05$) a las de la planta 1. En contraste, las plántulas de la planta 1 con longitudes de 51, 80 y 100 mm presentaron valores significativamente altos de este índice respecto a las de la planta 2 ($p \leq 0.05$). Sin embargo, en ambas plantas el valor del índice de esbeltez llega a incrementarse más de un 85 % en plántulas con alturas cercanas a 110 mm. Esto se debe a que existió correlación positiva entre los valores promedio del índice de esbeltez y el tamaño de plántula de ambas plantas ($r = 0.9979$ y 0.9989 , $p \leq 0.05$). Lo anterior indica que las plántulas sin nomófilo menores a 80 mm tienen el potencial para resistir condiciones ambientales adversas; aunque, de acuerdo al índice de Dickson su calidad sigue siendo baja.

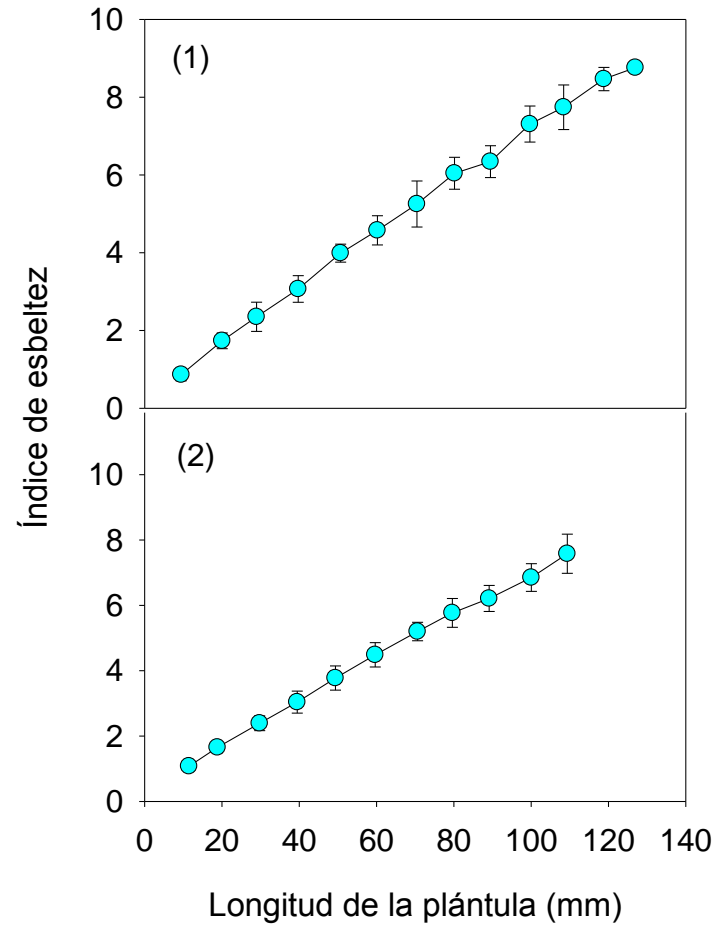
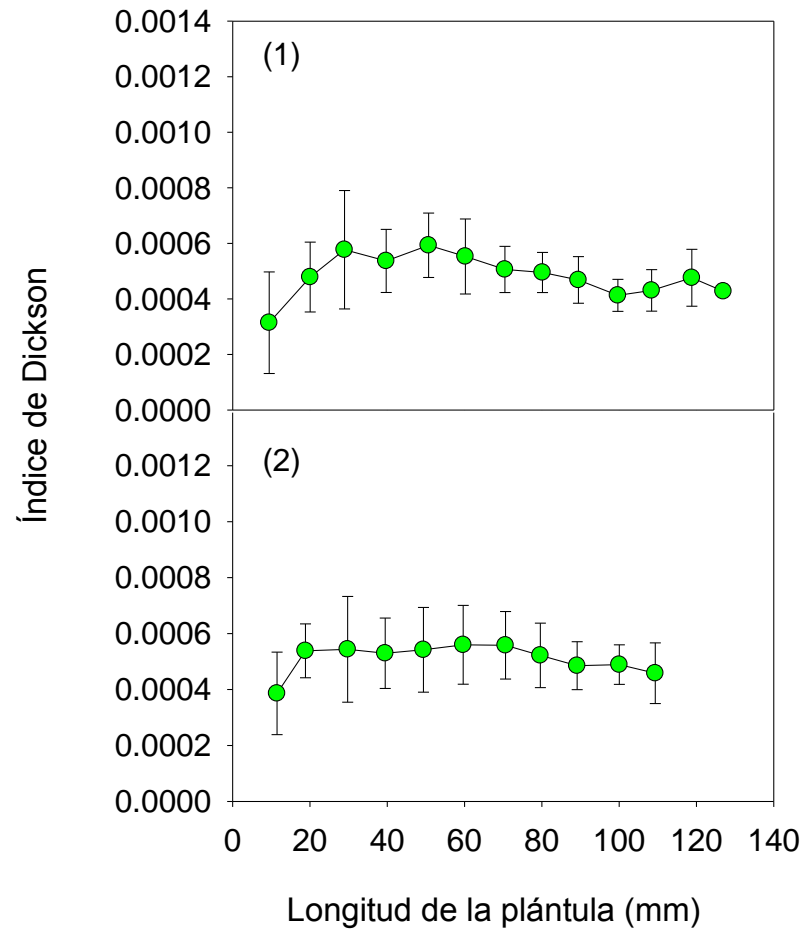


Figura 5.12. Índice de Dickson y de esbeltez de plántulas de planta 1 y 2 de *Agave salmiana* del Estado de México.

En las plántulas con nomófilo para la planta 1 y la 2 se observaron valores en el índice de Dickson de $3.78 \times 10^{-4} \pm 6.11 \times 10^{-5}$ y $4.07 \times 10^{-4} \pm 5.79 \times 10^{-5}$. Los valores del índice de esbeltez en plántulas con nomófilo fue para planta 1 de 6.42 ± 0.836 y en planta 2 de 6.27 ± 0.657 . Los valores de ambos índices no presentaron diferencias entre las plántulas de planta 1 y 2 ($p \geq 0.05$).

Con base a lo anterior, las plántulas de maguey tienen calidad baja porque están alejadas del máximo valor del índice de Dickson (uno) y, de acuerdo con el índice de esbeltez o robustez pueden ser susceptibles al viento, frío y sequía (Sáenz *et al.*, 2010), ya que presentaron valores mayores a seis. De forma indirecta, esta calidad baja de las plántulas de *A. salmiana* puede indicar porque existe un establecimiento escaso *in situ* reportado para otras especies de maguey como *A. deserti* (Nobel, 1977) y *A. macroacantha* (Arizaga y Ezcurra, 2002).

Después de realizar la presente investigación, se considera que en otras investigaciones debe escogerse el método de muestreo para determinar el rendimiento de la semilla en las infrutescencias de acuerdo al objetivo del trabajo. El método al azar proporcionó información acerca de la herbivoría que sufren las cápsulas, en cambio al usar las cápsulas se pierde esta información, probablemente, porque las cápsulas colectadas se encontraban en buen estado. También se recomienda determinar la relación entre las características de la semilla con su germinación en condiciones, mediante el seguimiento de la germinación de cada semilla caracterizada. Además, se recomienda determinar la morfología del embrión de semillas previamente medidas.

5.6. Conclusiones

La morfología de la semilla de *A. salmiana* de plantas provenientes del mismo sitio o de sitios diferentes no influye en la germinación.

Las plántulas de *A. salmiana* mantienen su crecimiento y desarrollo después de la germinación, con calidad baja y sin daño aparente hasta alcanzar tamaños mayores a 10 cm.

5.7. Literatura citada

- Aguilar, B., J. Enríquez, G. Rodríguez-Ortiz, D. Granados y B. Martínez. 2014. El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(2): 106-120.
- Aguirre R., J. R., H. Charcas S. y J. L. Flores F. 2001. El maguey mezcalero potosino. Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología, Gobierno del Estado de San Luis Potosí, e Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 87 p.
- Anónimo. 1988. El maguey: árbol de las maravillas. Museo Nacional de Culturas Populares. México, DF. 178 p.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. Seed vigor testing handbook. Contribution No. 32. Association of Official Seed Analysis.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 105-121.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 2002. Propagation mechanisms in *Agave macrocantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *American Journal of Botany* 89(4): 632-641.
- Arnott, H. J. 1962. The seed, germination and seedlings of *Yucca*. *University of California Publications in Botany* 35: 1-164.

- Baskin, C.C., y J. M. Baskin. 1988. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. *American Journal of Botany*. 75: 286-305.
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9: 1055-1066.
- Bewley, J. D. y M. Black. 1994. Seeds: physiology of development and germination. 2nd edition. Plenum Press • New York and London. USA. p. 293.
- Castelló, T. e I. Piña. 1986. Presencia de la comida prehispánica. Fomento cultural Banamex. México. p. 89.
- Charlton, T. H., D. L. Nichols y C. O. Charlton. 1991. Aztec craft production and specialization: archeological evidence from the city-state of Otumba, Mexico. *World Archeology* 23: 98-114.
- Chase, M. W., J. L. Reveal y M. F. Fay. 2009. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 132-136.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31(1): 74-85.
- Flores, J. L. 2002. El maguey mezcalero y sustentabilidad en el altiplano potosino. Reportes del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica 1(1): 53-61.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4^a ed. UNAM. México. pp. 130 y 169.
- García-Mendoza, A. J. y C. Chávez-Rendón. 2013. *Agave kavandivi* (Agavaceae: group *Striatae*), una especie nueva de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 1070-1076.
- García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Agavaceae. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 95 p.
- Granados S., D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 90 p.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of continental North America. The University of Arizona Press. U.S.A. 605 p.

- Gómez-Aiza, L. y I. Zuria. 2010. Aves visitantes a las flores del maguey (*Agave salmiana*) en una zona urbana del centro de México. *Ornitología Neotropical* 21: 17-30.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Atlacomulco. México. Consultado en línea el 13 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15014.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Luis Potosí, San Luis Potosí. Consultado en línea el 13 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/24/24028.pdf>
- Jiménez-Aguilar, A. y J. Flores. 2010. Effect of light on seed germination of succulent species from the southern Chihuahuan Desert: comparing germinability and relative light germination. *J. PACD* 12:12-19.
- López-Palacios, C., C. B. Peña-Valdivia, J. A. Reyes-Agüero, J. R. Aguirre-Rivera, H. M. Ramírez-Tobías, R. M. Soto-Hernández y J. F. Jiménez-Bremont. 2015. Inter- and intra-specific variation in fruit biomass, number of seeds, and physical characteristics of seeds in *Opuntia* spp., Cactaceae. *Genet Resour Crop Evol* 62: 1205-1223.
- Lorenzo, J. 2012. Éxito reproductivo y demografía de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en San José Alchichica, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 35 p.
- Martinez, C. y L. E. Eguiarte. 1987. Bird visitation to *Agave salmiana*: comparisons among hummingbirds y perching birds. *The Condor* 89: 357-363.
- Martínez, M. R. 1985. Demografía en una población silvestre de maguey mezcalero (*Agave salmiana* spp. *crassispina* Trel. Gentry) bajo condiciones de utilización intensiva. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Córdoba, Veracruz, México. En: Martínez, M., H. Rubio y A. Ortega. 2005. Population Structure of Maguey (*Agave salmiana* spp. *crassispina*) in Southeast Zacatecas, México. *Arid Land Research and Management* 19: 101-109.
- Martínez, M., H. Rubio y A. Ortega. 2005. Population Structure of Maguey (*Agave salmiana* spp. *crassispina*) in Southeast Zacatecas, México. *Arid Land Research and Management* 19: 101-109.
- Martinez-Morales, R. y S. E. Meyer. 1985. A demographic study of maguey verde (*Agave salmiana* ssp. *crassispina*) under conditions of intensive utilization. *Desert Plants* 7(2): 61-66.

- Mora-López, J. L., J. A. Reyes-Agüero, J. L. Flores-Flores, C. B. Peña-Valdivia y J. R. Aguirre-Rivera. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *salmiana* del género *Agave*. *Agrociencia* 45: 465-477.
- Nobel, P. S. 1977. Water relations of flowering of *Agave deserti*. *Botanical Gazette* 138: 1-6.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. Cambridge, NY. EU. 288 p.
- Piven, N. M.; F. A. Barredo-Pool, I. C. Borges-Argaez, M. A. Herrera-Alamillo, A. Mayo-Mosqueda, J. L. Herrera-Herrera y M. L. Robert. 2001. Reproductive biology of henequen (*Agave fourcroydes*) and its wild ancestor *Agave angustifolia* (Agavaceae). I. Gametophyte development. *American Journal of Botany* 88: 1966-1976.
- Ramírez-Tobias, H. M., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre, J. A. Reyes-Agüero, A. B. Sánchez-Urdaneta y S. Valle. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology* 27: 124-137.
- Ramsay, R. M. 2004. El maguey en Gundhó, Valle del Mezquital (Hidalgo, México): variedades, propagación y cambios en su uso. *Etnobiología* 4: 54-66.
- Reynoso-Santos, R., García-Mendoza, A. J., López-Báez, W., López-Luna, A., Cadena Iñiguez, P., Pérez-Farrera, M. A. y M. H. Domínguez Gutiérrez. 2012. Identificación taxonómica de agaves (*Agave* spp.) utilizados para la elaboración de licor comiteco en Chiapas, México. *Agroproductividad* 5(4): 9-17.
- Ruiz, G., C. Peña-Valdivia, L. Trejo y A. Sánchez. 2007. Reacción fisiológica del maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) a la sequía intermitente. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 24(1): 318-325.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), México. pp. 1243, 1246 y 1322.
- Sáenz, J. T., F. J. Villaseñor, H. J. Muñoz, A. Rueda y J. A. Prieto. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 48 p.
- Sánchez-Urdaneta, A. B., I. Ortega, I. Cano, A. González, C. B. Peña-Valdivia, G. Rivero, G. Sthormes y D. Pacheco. 2011. Efecto de la escarificación de la semilla

y del sustrato sobre el crecimiento de plántulas de *Agave salmiana*. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 28(1): 40-50.

Sánchez-Urdaneta, A. B., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre, C. Trejo y E. Cárdenas. 2004. Efectos del potencial de agua en el crecimiento radical de plántulas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. *Interciencia* 29: 626-631.

Tello, J. de J. 1988. Análisis gráfico-tabular de dos poblaciones silvestres de maguey mezcalero (*Agave salmiana* Otto ex Salm, ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, especialidad en Botánica. Chapingo, México. 123 pp.

Treviño-Carreón, J. 2011. Descubriendo el valor de los magueyes tamaulipecos. *CienciaUat* 19(1): 34-40.

Vázquez, E. 2010. Cambios de acidez en hojas de maguey *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck dependientes de la edad de la hoja y la planta. Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado en botánica, Colegio de Postgraduados. Estado de México, México. 80 p.

Vázquez D., E, J. R. García N., C. B. Pena-Valdivia, H. M. Ramírez T., V. Morales R. 2011. Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3): 167-173.

Werker, E. 1997. Seed anatomy. *Encyclopedia of plant anatomy*. Berlin, Germany. pp. 8-10.

Zamora, C., B. I. Juárez, J. R. Aguirre, D. Ortiz, C. I. Godínez y G. Álvarez. 2010. Variación de la concentración de azúcares y saponinas durante la cocción del maguey mezcalero potosino. *e-Gnosis* 8: 1-11.

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN GENERAL

En enero y febrero de 2014, se recolectaron datos sobre la morfología de dos plantas de *A. mapisaga* y 18 de *A. salmiana* en prefloración de la zona del Cerro Tepari correspondientes a la comunidad de San José del Tunal, Atlacomulco, Estado de México. En diciembre de 2015, las inflorescencias que desarrollaron frutos maduros fueron 0 de *A. mapisaga* y 9 de *A. salmiana*.

Durante la floración de plantas de maguey independientemente de la especie, algunos pobladores de San José del Tunal emplearon una de las inflorescencias como forraje, cuatro para la construcción de cercas y de tres no fue posible documentar el uso. Además, se observó que las inflorescencias extraídas procedían de plantas ubicadas a menor altitud y con accesibilidad mayor.

Las variables evaluadas en la roseta e inflorescencia de *A. salmiana* y *A. mapisaga*, no mostraron una relación significativa ($p \geq 0.05$) con la longitud del escapo de primer orden de la inflorescencia. Contrario a lo esperado, ya que en el tallo de la roseta se acumulan los nutrientes necesarios para la producción de la inflorescencia (Gentry, 1982; Arizaga y Ezcurra, 1995; García-Mendoza, 2007). Probablemente, si una muestra mayor de plantas se evaluara la tendencia sería otra. Aunque la muestra evaluada incluyó únicamente tres plantas, la longitud de la sección basal del escapo presento una asociación negativa y significativa ($p \leq 0.05$) con el número de brácteas, mientras que su relación con la anchura basal del pedúnculo de la umbela fue positiva ($p \leq 0.05$). Una tendencia opuesta se observó entre la longitud de la sección apical del escapo con el número de brácteas y la anchura del pedúnculo de la umbela ($p \leq 0.05$).

El pedúnculo de las umbelas de *A. mapisaga* y *A. salmiana* mostró una longitud, anchura basal y apical mayor en las umbelas ubicadas en los primeros dos tercios de la sección apical de la inflorescencia. Esta tendencia se observó únicamente en la producción de estructuras con fines reproductivos (botones florales más flores y frutos inmaduros) de *A. salmiana*; ya que, las dos primeras umbelas de *A. mapisaga*, en sentido acrópeto, presentaron una cantidad de estructuras con fines reproductivos similar a las umbelas más apicales (posteriores a la número 23).

La distribución de estructuras con fines reproductivos en la inflorescencia de *A. salmiana* fue opuesta a la distribución de las cápsulas (distribución tipo gaussiana). Las inflorescencias produjeron 3 315 y 4 438 estructuras con fines reproductivos que en comparación al número de frutos, contabilizados en otras plantas de la misma especie, duplicaron o septuplicaron la producción. La relación entre número de flores y frutos producidos en una misma planta de *A. salmiana* no se ha realizado y, por tanto, para documentar dicha relación Arizaga *et al.* (2000) y Arizaga y Ezcurra (2002) proponen contabilizar las flores en la inflorescencia sin cortarla y Sutherland (1987) por estimación indirecta del número de flores, contabilizando los pedicelos al momento de la cosecha de los frutos.

La producción de estructuras con fines reproductivos de las plantas de *A. salmiana* fue hasta 55.5 % menor a la de *A. mapisaga*. De acuerdo con Stephenson (1981), Ehrlén (1991) y Torres y Galetto (2008) teóricamente *A. mapisaga* tiene posibilidades mayores de producir más cápsulas que *A. salmiana* (de 590 a 1 990), así como de semillas.

El número de semillas normales producidas por dos plantas de *A. salmiana*, recolectadas en San Luis Potosí, fue entre 8.6% y 84.9% mayor al número reportado por Lorenzo (2012) para *A. salmiana* subsp. *crassispina* (28 084 a 80 504). Las diferencias pueden deberse a que en el segundo estudio los valores se obtuvieron por estimación y no se contabilizaron todas las semillas (Arizaga y Escurra, 2002). Las diferencias también pueden deberse a la cantidad de recursos de la roseta (Gentry, 1982; Arizaga y Escurra, 1995; García-Mendoza, 2007). Independientemente de esas diferencias, la producción de semillas por las plantas del presente estudio coincidió con el de otras especies de maguey entre 777 en *A. angustifolia* y 780 000 en *A. palmeri* (Howell y Roth, 1981; Molina-Freaner y Eguiarte, 2003).

Las plantas de *A. salmiana* de San Luis Potosí produjeron en total 30 610 y 186 209 semillas normales, su potencial para producir plántulas normales, de acuerdo con las evaluaciones estándar de laboratorio, es de 97% y 99%. Esto indica que la producción de plántulas a partir de semillas podría ser de 27 549 y 184 347, y podrían desarrollarse eventualmente en plantas adultas en condiciones ambientales favorables. Así, en un campo para cultivo comercial de plantas de maguey, con fines de producción de mezcal, pulque, fibras o cutícula de las hojas para envolver alimentos, u otros usos, las semillas de una planta sería suficiente para cultivar en promedio 16 hectáreas, con 1.5 m de distancia entre plantas y entre surcos (Granados, 1993). Para establecer plantaciones de *A. salmiana* a partir de plántulas obtenidas de semillas es necesario determinar la etapa de desarrollo adecuado de esas plántulas. Con base en los resultados del presente estudio dicha etapa podía encontrarse después de los 20-23 días de desarrollo de las plántulas.

Durante el proceso de selección de las plantas para la presente investigación confirmamos que *A. mapisaga* es una especie que se presenta sólo en campos de cultivo (García-Mendoza, 2011) y, por lo tanto, tiene un uso antropocéntrico amplio en diferentes lugares del país (Granados, 1993; Aguilar *et al.*, 2014; Ramsay, 2004). A pesar de su importancia se carece de información sobre su rendimiento, germinación de semillas y calidad de sus plántulas, entre otros aspectos.

6.1. Literatura citada

- Aguilar, B., J. Enriquez, G. Rodriguez-Ortiz, D. Granados y B. Martínez. 2014. El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(2): 106-120.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 1995. Insurance against reproductive failure in a semelparous plant: bulbil formation in *Agave macroacantha* flowering stalks. *Oecologia* 101: 329-334.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 2002. Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *American Journal of Botany* 89(4): 632-641.
- Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez y E. Vega. 2000. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. II. The role of pollinators. *American Journal of Botany* 87(7): 1011-1017.
- Ehrlén, J. 1991. Why do plants produce surplus flowers? A reserve-ovary model. *The American Naturalist* 138(4): 918-933.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *CIENCIAS* 87: 15-23.
- García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Agavaceae. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 95 p.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press. USA. p. 30.
- Granados S., D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 252 p.

- Howell, D. J. y B. S. Roth. 1981. Sexual reproduction in agaves: the benefits of bats; the cost of semelparous advertising. *Ecology* 62(1): 1-7.
- Lorenzo, J. 2012. Éxito reproductivo y demografía de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en San José Alchichica, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 35 p.
- Molina-Freaner, F. y L. E. Eguiarte. 2003. The pollination biology of two paniculate agaves (Agavaceae) from Northwestern Mexico: contrasting roles of bats as pollinators. *American Journal of Botany* 90(7): 1016-1024.
- Ramsay, R. M. 2004. El maguey en Gundhó, Valle del Mezquital (Hidalgo, México): variedades, propagación y cambios en su uso. *Etnobiología* 4: 54-66.
- Stephenson, A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecologic Systems* 12: 253-279.
- Sutherland, S. 1987. Why hermaphroditic plants produce many more flowers than fruits: experimental tests with *Agave mckelveyana*. *Evolution* 41(4): 750-759.
- Torres, C. y L. Galetto. 2008. Importancia de los polinizadores en la reproducción de asteráceas de Argentina Central. *Acta Botánica Venezolana* 31(2): 473-494.

CAPITULO VII. CONCLUSIONES GENERALES

El tamaño del escapo floral no se relaciona directa y significativamente con el diámetro de la roseta, número de hojas, longitud y anchura de la planta de maguey.

El diámetro de la roseta de *A. salmiana* y *A. mapisaga* está relacionado directamente con la producción total de flores, de frutos inmaduros y de estructuras con fines reproductivos (total de botones florales más flores y frutos inmaduros) por inflorescencia, en ambas especies.

La distribución de estructuras con fines reproductivos (total de botones florales más flores y frutos inmaduros) es heterogénea a lo largo de la inflorescencia, la cantidad mayor está en los primeros dos tercios de la sección apical.

El rendimiento de semilla fue estadísticamente diferente entre plantas de *A. salmiana* que crecen en el mismo sitio y maduran simultáneamente.

Independientemente del número de umbelas y cápsulas por umbela, la distribución de las cápsulas a lo largo de la infrutescencia es asimétrica, la cantidad mayor de cápsulas y en consecuencia de semillas normales y abortadas se localizan en las umbelas del centro de la de la infrutescencia.

La distribución de las estructuras con fines reproductivos (total de botones florales más flores y frutos inmaduros) en la sección apical de la inflorescencia de *A. salmiana* es del tipo Ji-cuadrada y la de las cápsulas, en la infrutescencias, es del tipo gaussiana.

La cantidad de semillas producidas por planta de *A. salmiana* tienen el potencial para ser usadas en campos agrícolas.

La morfología de la semilla de *A. salmiana* fue diferente entre plantas del mismo sitio de recolecta y entre sitios, y no influyó en la germinación pero sí en la calidad de plántula con tallas cercanas a 12 mm.

Las plántulas de *A. salmiana* mantienen su crecimiento y desarrollo, después de la germinación, con calidad baja y sin daño aparente hasta alcanzar tamaños mayores a 10 cm.