



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE LICENCIATURA

Variación morfológica de la semilla en
Stenocereus dumortieri

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

BIOLOGO

PRESENTA

YOLANDA MORALES HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. ANGEL SALVADOR ARIAS MONTES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE LICENCIATURA

Variación morfológica de la semilla en
Stenocereus dumortieri

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

BIOLOGO

PRESENTA

YOLANDA MORALES HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. ANGEL SALVADOR ARIAS MONTES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

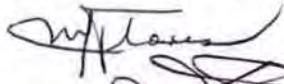
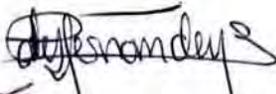
Votos Aprobatorios

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Variación morfológica de la semilla en *Stenocereus dumortieri* (Cactaceae)

realizado por **Morales Hernández Yolanda** con número de cuenta **0-8408048-0** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

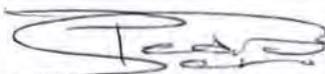
- Propietario Dra. María Hilda Flores Olvera 
- Propietario Dra. Teresa Margarita Terrazas Salgado 
- Propietario Dr. Angel Salvador Arias Montes 
- Tutor
- Suplente M. en C. Patricia Hernández Ledesma 
- Suplente Biól. Gabriel Olalde Parra 

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGIA

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., a 26 de octubre de 2009
EL COORDINADOR DEL COMITÉ ACADÉMICO DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA


DR. PEDRO GARCÍA BARRERA

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

'nlm.

Estados de ánimo

**A veces me siento
como un águila en el aire.
-Pablo Milanés**

**Unas veces me siento
como pobre colina
y otras como montaña
de cumbres repetidas.
Unas veces me siento
como un acantilado
y en otras como un cielo
azul pero lejano.**

**A veces uno es
manantial entre rocas
y otras veces un árbol
con las últimas hojas.
Pero hoy me siento apenas
como laguna insomne
con un embarcadero
ya sin embarcaciones
una laguna verde
inmóvil y paciente
conforme con sus algas
sus musgos y sus peces,
sereno en mi confianza
confiando en que una tarde
te acerques y te mires,
te mires al mirarme.**

La perfección es una pulida colección de errores.

Mario Benedetti

DEDICATORIA:

A Yolanda por tu caudal de cariño, estar siempre en todo momento, por formar mi entereza, espíritu, tenacidad, fuerza moral y de quien aprendí a no dejarse dominar ni abatir, pero sobre todo por ser mi mejor amiga, cómplice y mejor aun mi mamá.

A Héctor por acompañarme a lo largo de este proyecto y otros más por venir, y que juntos con tesón hemos contraído y edificado una relación muy importante en mi vida y que iremos fortaleciendo día a día, procurando reciprocidad en el deseo de unión, que nos completará, dándonos alegría y energía para convivir, comunicarnos y crear.

A Donato y Zenaida mis entrañables abuelos que están en un lugar increíble, pero me dejaron su enorme amor, el contemplar los maravillosos detalles sencillos de la vida a tener firmeza y perseverancia en las resoluciones y propósitos. Siempre serán mis espíritus celestes.

A quien me regalo esa inmensa sensibilidad que me ha permitido extasiarme con lo maravilloso de cada ser vivo y recordarme que la armonía que hay en ellos gratifica mi existencia.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento al Doctor Salvador Arias por la oportunidad, paciencia, atención, benevolencia, estímulo, enseñanzas y ser ejemplo de disciplina y constancia pero sobre todo por ser consecuente en este proyecto.

A la Doctora Hilda Flores por proporcionarme los primeros conocimientos y experiencias sobre el mundo tan fascinante de las plantas por sus valiosas y oportunas sugerencias que enriquecieron esta tesis.

A la Doctora Teresa Terrazas por brindarme las facilidades y apoyo en el laboratorio, así como sus observaciones y críticas para mejorar este escrito.

A la Maestra en Ciencias Patricia Hernández por la disposición y revisión minuciosa de este manuscrito que permitió acrecentar su contenido.

Al Biólogo Gabriel Olalde le agradezco sus comentarios que permitieron completar este manuscrito.

Mi reconocimiento eterno a mi mamá, quien me ha brindado su cariño incondicional, apoyo, pero sobre todo por compartir mis alegrías, triunfos y tropiezos y en mis instantes de abatimiento siempre me exhorta a seguir adelante y no mirar atrás.

A mi esposo Héctor quien ha fomentado diversas metas, compartiendo sueños, satisfacciones y que juntos hemos superado adversidades.

Al “Club de las Orquídeas Encantadoras”, me permito llamar así a las integrantes del Laboratorio de Anatomía Vegetal (Tely Sandoval, Cony Guzmán, Alice Rojas y Bárbara Estrada) por ser un equipo de damas incesantes, gentiles, constantes pero sobre todo son un ejemplo de mujeres prominentes y emprendedoras, quienes me brindaron su fraternidad y colaboración en todo momento.

A la Maestra en Ciencias Berenit Mendoza Garfias por lograr imágenes microfotográficas tan detalladas y excelentes de las semillas.

A mis compañeros de Sistemática Vegetal, David y Daniel quienes me asistieron en mis vacilaciones. A Balbina quien a final de este proyecto se integro al laboratorio, pero sus observaciones fueron valiosas para enriquecer la discusión.

Al Biólogo Jorge Saldívar Sandoval por la edición de las imágenes digitales, las sugerencias y la edición final de la tesis.

A Biólogo Enrique Ortiz por la elaboración del mapa de las localidades.

A Lizeth Serna que con esa chispeante alegría, además de ser objetiva me auxilio en diversas dudas.

A toda y cada una de las personas que laboran en el Jardín Botánico.

A la Dra. Dolores Mercado y al Ingeniero Gerardo Chávez por haberme confortado en los momentos en que menguaba mi fortaleza.

A los excelentes académicos que día a día luchan por formar universitarios con valor, pero en especial a los de la Facultad de Ciencias e Instituto de Biología.

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me acogió en sus instalaciones, dándome la oportunidad de aprender un infinito cúmulo de conocimientos así como el conocer excelentes personas con las que he compartido una infinidad de experiencias, logrando cosechar amigos fraternales, muy en especial a los miembros del Club de Baile Universitario fundado por el maestro Jaime Cisneros (q.e.p.d) y de igual forma a la maestra Irma Montero quienes me transmitieron que *“Cuando bailas, tu objetivo no es ir a un lugar determinado de la pista. Es deleitarse con cada paso del camino con seguridad, placer pero sobre todo disfrutando las emociones y sentimientos extrapolándolo en el quehacer de tu existencia”*.

ÍNDICE

Índice de figuras	
Índice de cuadros	
ABSTRACT	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	6
ANTECEDENTES	7
Generalidades sobre variación	7
La semilla y relevancia en la taxonomía	8
Estudios sobre la morfología en Cactaceae	10
<i>Stenocereus dumortieri</i>	11
Datos taxonómicos	11
Descripción de la especie	12
Morfología de la semilla	14
OBJETIVOS	15
MATERIALES Y MÉTODOS	15
Trabajo de gabinete	15
Caracteres	18
Análisis estadístico	20
RESULTADOS	21
Descripción morfológica de la semilla	21
Variación en caracteres cualitativos	21
Variación en caracteres métricos	25
Análisis canónico discriminante	28
DISCUSIÓN	31
CONCLUSIONES	35
LITERATURA CITADA	36

- 1 Ubicación y características de las localidades, de obtención de semillas de *Stenocereus dumortieri*
- 2 Lista de siete caracteres cualitativos y métricos evaluados en la semilla de *Stenocereus dumortieri*.
- 3 Media y error estándar del largo máximo y el largo de la base para la semilla de *Stenocereus dumortieri*.
- 4 Media y error estándar del ancho menor y ancho mayor para la semilla de *Stenocereus dumortieri*.
- 5 Media y error estándar del largo de la región hilo-micropilar (RHM) largo de la base Micropilar (BMH) para la semilla de *Stenocereus dumortieri*.
- 6 Media y error estándar del ángulo del cuerpo y ángulo de la curvatura para la semilla de *Stenocereus dumortieri*.
- 7 Eigenvectores correspondientes al análisis canónico discriminante entre caracteres de la semilla de *Stenocereus dumortieri*, utilizados en este estudio.
- 8 Tabla de distancias cuadradas de Mahalanobis de las localidades de *Stenocereus dumortieri*

Figura

ÍNDICE DE FIGURAS

- 1 Ejemplar adulto, rama, flor y fruto de *Stenocereus dumortieri*.
- 2 Ubicación geográfica de las localidades estudiadas de colecta de *Stenocereus dumortieri*.
- 3 Diagrama de la semilla de *Stenocereus dumortieri*.
- 4 Microfotografía mostrando variación en la forma de la semilla y extensión de la quilla en *Stenocereus dumortieri*.
- 5 Microfotografía de la estructura primaria de la escultura de la semilla de *Stenocereus dumortieri*.
- 6 Microfotografía del microrelieve de la pared periclinal de *Stenocereus dumortieri*.
- 7 Representación gráfica de las funciones canónicas 1 y 2 a partir de un análisis discriminante canónico por carácter.

ABSTRACT

In order to characterize the variation of 17 qualitative and 8 quantitative characters in 12 localities covering the area of distribution, morphology and morphometry of *Stenocereus dumorteri* (Scheidw) Buxb. seeds, were examined. Micromorphology was described with the scanning electronic microscope. Characters such as symmetry, color, luster, multicellular sculpture, periphery, testa border, curvature of cell-boundaries, boundary relief, interstices, relief of periclinal wall, orientation, position relative to rim, hilum and micropyle configuration and shape of the hilum- micropyle complex, were constant. Keel variation occurred in its extent, cells are isodiametrical to elongate in lateral region, from tetragonal to heptagonal form, and periclinal wall microrelief was irregular. A multivariate analysis was performed for morphometric characters, showing that the maximum length and the length from the base to Hilum-micropilar Region (RHM) have a latitudinal gradient variation. Largest seed were found in the southern and the smallest in northern area of distribution. Length of RHM, length of hilum-micropilar base (BHM), and the curvature angle showed a discontinuous variation among localities; meanwhile the body angle had continuous variation. Several characters listed as stable in differentiating taxa must be used in their characterization. We recommend taking multiple samples per each species to have more information on the variation in seed structure, since some of their characters may have greater variation.

RESUMEN

La morfología y morfometría de las semillas de *Stenocereus dumorteri* (Scheidw.) Buxb., fueron examinadas con la finalidad de caracterizar la variación de 17 caracteres cualitativos y 8 cuantitativos, en 12 localidades que cubren el área de la distribución de la especie. La micromorfología se describió con la ayuda del microscopio electrónico de barrido. Los caracteres como simetría, color, lustre, escultura multicelular, periferia, borde de la testa, curvatura de las paredes anticlinales, relieve de la pared anticlinal, intersticios, relieve de la pared periclinal, así como la orientación, posición relativa al borde, configuración del hilo-micrópilo y la forma del complejo hilo-micropilar fueron constantes. La quilla presentó variación en su extensión, las células en la región lateral son isodiamétricas a alargadas, variando de tetragonal a heptagonal y el microrelieve de la pared periclinal es irregular. Para los caracteres morfométricos se realizó un análisis multivariado, mostrando que el largo máximo y el largo de la base a la Región Hilo Micropilar (RHM) presentaron variación en un gradiente latitudinal, donde las más largas se encontraron en el sur y las más pequeñas en el norte del área de distribución. El largo de la RHM, el largo de la Base Hilo Micropilar (BHM) y el ángulo de la curvatura mostraron variación discontinua entre localidades, por su parte el ángulo del cuerpo presentó variación continua. Varios de los caracteres señalados como estables para diferenciar taxa deben seguir utilizándose en la caracterización de ellos. Es recomendable tomar muestras múltiples de cada especie para tener una mayor información sobre la variación de la estructura de la semilla, ya que algunos de sus caracteres pueden presentar mayor variación.

INTRODUCCIÓN

La familia Cactaceae es una de las familias botánicas más importantes en el contexto de la flora nacional, ya que en México se encuentra su principal centro de diversidad (Bravo-Hollis, 1978; Arias, 1993; Hernández *et al.*, 2001, 2004), con una riqueza estimada alrededor de 669 especies agrupadas en 63 géneros, de los cuales 25 géneros, 518 especies y 206 subespecies son endémicos para México (Hunt, 1999; Guzmán *et al.*, 2003).

La mayor parte de las especies habitan en las regiones áridas y semiáridas del país, particularmente en el sureste del Desierto Chihuahuense, que con cerca de 324 especies es la ecoregión con la mayor contribución a la flora cactológica de México (Hernández *et al.*, 2001, 2004; Goettsch y Hernández, 2006). Sin embargo, en regiones semiáridas del sur del país también se encuentra una importante diversidad de especies, principalmente en Oaxaca (Guzmán *et al.*, 2003). Esta concentración de especies y proliferación de endemismos se ha explicado con base en las temperaturas mínimas (20-22 C°), la precipitación medio anual (300mm), así como los eventos climáticos acontecidos en el Pleistoceno y que en conjunto presentan una relación con la aridez (Hernández y Bárcenas, 1995, 1996; Martínez-Avalos y Jurado, 2005; Godínez y Ortega, 2007).

La familia Cactaceae está dividida en cuatro subfamilias: Pereskioideae, Opuntioideae, Maihuenioideae y Cactoideae (Anderson, 2001). Esta última se divide en nueve tribus (Calymmanthea, Cereeae, Trichocereae, Notocactaeae, Browningieae, Rhipsalideae, Hylocereeae, Cactaeae y Pachycereeae), de las cuales las últimas cuatro tribus están representadas en México. En la tribu Pachycereeae se clasifican a todas las cactáceas columnares de Norteamérica aunque también hay árboles o arbustos, presenta ramas segmentadas, las flores se encuentran en la parte lateral, subapical o en el cefalio, de tamaño pequeño a medio, presenta simetría bilateral, son nocturnas raramente diurnas, frutos carnosos, con espinas, dehiscente o indehiscentes, semillas de tamaño variable. Esta tribu esta conformada por 16 géneros; se distribuye desde el sur de los Estados Unidos de América, México, las Antillas, Centro América hasta Venezuela en Sudamérica. La tribu presenta una gran diversidad debido a factores tales como la interacción de la evolución convergente en la morfología vegetativa, así como a la hibridación, poliploidía y al aislamiento reproductivo (Arias, 1998; Anderson, 2001).

El género *Stenocereus* es uno de los más diversos en la tribu Pachycereeae, agrupa cerca de 22 especies, distribuidas en regiones áridas y subtropicales, del suroeste de Estados Unidos de Norteamérica y noroeste de México, hasta Venezuela y las Antillas. En México es muy abundante y la mayoría de sus especies son endémicas. El género incluye árboles o arbustos erguidos o postrados y muchos de los cuales son aprovechados para consumo humano por sus frutos comestibles (Bravo-Hollis, 1978; Arreola, 2006).

Estudios sistemáticos recientes sobre la tribu Pachycereeae han explorado un grupo amplio de caracteres, incluyendo los moleculares, anatómicos, morfológicos y micromorfológicos para corroborar su homología y posible utilidad en reconstrucciones filogenéticas (Arias *et al.*, 2005; Terrazas y Loza-Cornejo, 2001; Arroyo-Consultchi *et al.*, 2007). De estos caracteres, los micromorfológicos representan principalmente la superficie de la semilla, ya

que se estima que conserva caracteres propios de las especies o de grupos de especies. En este sentido, la presente tesis pretende conocer la variación morfológica de la semilla de *Stenocereus dumortieri*, quien tiene una amplia distribución.

ANTECEDENTES

Generalidades sobre variación

Un examen general sobre los seres vivos nos permite observar que presentan grandes variaciones fenotípicas y genotípicas que los hace diferenciarse unos de otros. Esta variación constituye la base de la evolución y de la clasificación de los seres vivos (Donoso *et al.* 2004). La variabilidad en el mundo biológico incluye diversidad de formas, de funciones, de desarrollo y de hábitat. Si se agrupan los individuos con ciertos caracteres homólogos, las millones de formas distintas se pueden clasificar en grupos fácilmente caracterizados. De este modo, todos los seres vivos pueden ser colocados en un sistema de clasificación natural que defina con gran precisión el grado de similitud y al contrario, el grado de diferencia (Donoso *et al.* 2004). Y que además refleje hipótesis de relaciones genealógicas.

Las diferencias entre los individuos, pueden ser de dos tipos: continuas o discontinuas. Las primeras se manifiestan por pequeñas diferencias graduales. Se presentan en grados cuantitativos o cualitativos de los distintos caracteres, a los cuales también se les llama fluctuaciones. Las segundas, denominadas poliformas, anormales o indefinidas, aparecen repentinamente en individuos aislados de una misma generación, e incluso de la misma descendencia (Begón *et al.* 1990; Ramírez y Egaña, 2003)

La variabilidad que exhiben los seres vivos se debe esencialmente a: 1) influencia del medio ambiente; 2) recombinación o formación de nuevas combinaciones en los genes; 3) a las mutaciones e 4) interacción entre genotipo y medio ambiente. La primera se ha denominado también ecológica, por tratarse de diferencias exhibidas por los individuos como consecuencia de la acción diferencial de las condiciones que le rodean. Por ejemplo a la naturaleza del terreno; a la cantidad de luz y duración relativa del día y de la noche; el grado de humedad atmosférica y la temperatura. En general, estas variaciones son cuantitativas; además de que se estima que una gran parte de estas variaciones son continuas (Sttebins, 1950).

La variabilidad genética es la variación en el material genético de una población o especie e incluye genoma nuclear, mitocondrial y ribosomal, además de los genomas de otros organelos. Esta variabilidad puede deberse a mutaciones, recombinaciones o alteraciones en el cariotipo (número, forma, tamaño y ordenación de los cromosomas). Sobre esta variación actúan las fuerzas de la selección natural y la deriva génica. La primera reduce la variación existente mientras que la segunda puede reducirla o mantenerla (Hartl y Clark, 1997). Por su parte, la mutación es el proceso por el cual un gen experimenta un cambio en la replicación en una secuencia nucleótida, en un gen específico o a la estructura cromosómica, alterando la secuencia del ADN. Se estima además que este tipo de variación origina una discontinua en las poblaciones o especies. La mutación, así como la recombinación génica o crossing-over

(entrecruzamiento) aumentan la variabilidad genética de las especies, lo que contribuye a la adaptación de las especies al medio ambiente. (Edwards, 1994; Stebbins, 1950). La variación genética dentro de las poblaciones puede influenciar la habilidad dentro de los miembros de una población para explotar ciertos ambientes, sobrevivir a eventos estocásticos, mantener altos niveles de reproducción o adaptarse a ambientes nuevos o cambiantes. (Foster, 1991)

La semilla y su relevancia en la taxonomía.

La semilla se desarrolla a partir del óvulo fecundado. (Bewley y Back 1986). Posee diversas funciones: a) es la unidad de dispersión en el tiempo y espacio, b) contiene el embrión de una nueva planta, c) da protección al embrión mediante cubiertas, d) provee de reservas para el sustento de la plántula hasta su establecimiento (Bewley 1997). En general, las partes que constituyen la semilla madura son las siguientes: 1) testa, 2) embrión, 3) endosperma, 4) perisperma, 5) cobertura funicular (Opuntieae), 6) hilo. Carúncula, estrofiolo o rafe pueden estar presentes (Flores, 1973).

Los caracteres de las semillas pueden ser diagnósticos en la clasificación y en las interpretaciones evolutivas y ecológicas de las plantas. La morfología de la semilla, sobre todo a nivel de la superficie de la testa, es relevante y es de gran importancia para separar a las especies. Adicionalmente, el microscopio electrónico de barrido (MEB) ha permitido reconocer nuevos aspectos de la arquitectura y microestructura de la superficie seminal (Gunn, 1981; Mariño *et al.* 2007).

De acuerdo con Brisson y Peterson (1976), estudios llevados a cabo en semillas de diversos grupos de angiospermas, han demostrado la importancia que tienen en la taxonomía al aportar información principalmente de los caracteres morfométricos y cualitativos. Bajo esta consideración, en las décadas más recientes se han publicado diversos estudios sobre la morfología de las semillas.

Entre los estudios realizados, con base en la información de caracteres exclusivamente cualitativos, están los siguientes: Bonilla-Barbosa *et al.* (2000), compararon la morfología de las semillas del género *Nymphaea* (Nymphaeaceae) presente en México, reconociendo la relevancia de atributos como la forma, color, ornamentación y tricomas, que resultaron útiles como caracteres diagnósticos para reconocer tres subgéneros. Segarra y Mateu (2001) estudiaron la morfología de *Linaria* (Scrophulariaceae) con base en atributos como la ausencia-presencia de alas y las variantes de la escultura de la superficie lograron identificar a las especies que conforman este género. Peralta (1996) consideró que los caracteres cualitativos encontrados en las semillas de *Calandrinia* (Portulacaceae), especialmente los patrones de variación en la microestructura de la superficie de la testa, proporcionan información para identificar a las especies y son útiles en la caracterización de los subgéneros y secciones. Zeng *et al.* (2004), con base en doce patrones básicos en la ornamentación en la testa, lograron identificar seis especies de *Brassica* (Brassicaceae). Otra contribución es la de Khalik *et al.* (2008), quienes analizaron semillas de 11 especies y dos subespecies de *Gallium* (Rubiaceae), y encontraron que de todos los caracteres cualitativos estudiados (color, tamaño, escultura multicelular, paredes periclinales y paredes anticlinales), los de la ornamentación (de fina a gruesa) y el de la escultura secundaria de la testa, presentaron

variación, la cual consideraron relevante para delimitar a las especies. Por otra parte, algunos estudios sobre la variación infraespecífica también han mostrado la relevancia de los caracteres de la testa. Por ejemplo, Ferreira y Cunha (2000) describieron la forma, color, textura, posición del hilo y del micrópilo, presencia de alas, así como características del embrión de *Tabebuia caraiba* (Bignoniaceae), reconociendo que estas características fueron homogéneas para la especie y que son confiables para diferenciarla de otras especies del género. Turki *et al.* (2008) realizaron un estudio de los caracteres morfológicos y anatómicos en semillas de *Bassia muricata* (Chenopodiaceae), una especie polimórfica; encontrando que la escultura de la testa es relevante para separar a esta especie en cuatro variedades.

La incorporación de atributos morfométricos a este tipo de estudios también ha sido significativa en los estudios taxonómicos. Por ejemplo, Muñoz (1995) estudió la longitud, ancho, forma, posición del hilo, profundidad del surco que separa a los lóbulos de los cotiledones, color y superficie de las semillas de 54 especies del género *Trifolium* (Leguminosae), mostrando que el tamaño de las semillas no es discriminante entre las especies, sin embargo; la escultura resultó importante para separar a las especies. Pérez Cortes *et al.* (2002), realizaron un estudio morfológico en 51 especies de *Passiflora* (Passifloraceae), donde encontraron que la ornamentación de la testa está uniformemente distribuida en la zona central de la semilla, pero está ausente en el ápice seminal y en el micrópilo, y en algunos casos, en la zona de borde de la semilla, donde en caso de estar presente puede ser diferente al resto de la ornamentación de la superficie de la testa. Por tanto, estos autores, reconocieron que la distribución de la ornamentación es un carácter diagnóstico para diferenciar a las especies que componen a este género, no obstante, caracteres como el ancho, grosor y longitud, mostraron una variación continua. Fagundez e Izco (2004) estudiaron la morfología de las semillas de *Calluna* (Ericaceae), donde encontraron que las semillas son pequeñas (0.55-0.65 mm), elipsoidales, con ornamentación de la testa reticulada y la región hilar que se transforma en un poro. Estos autores encontraron que este último carácter fue relevante para distinguir a *Calluna* del género *Erica*. Akbari y Azizian (2006) realizaron un estudio con semillas de 15 especies de dos secciones del género *Epilobium* (Onagraceae), y encontraron variación en el tamaño, (0.97 y 2.2 mm de longitud), y la forma de la semilla (ovado-oblongo a ovado). Los resultados de este estudio permitieron el reconocimiento y la descripción de las especies con base en la forma, tamaño y en los cinco tipos de ornamentación de la testa. El-Enain *et al.* (2007) evaluaron la variación en semillas de 34 especies de *Lathyrus* (Leguminosae), a partir de caracteres anatómicos y morfológicos como: brillo, escultura multicelular, tamaño de las células, paredes anticlinales (nivel, ondulación, espesor y escultura secundaria), paredes periclinales exteriores, hilo (forma y longitud-ancho) y longitud-ancho de la semilla; estos autores encontraron que estos caracteres son útiles para identificar especies o grupos de especies. Mariño *et al.* (2007) encontraron que las características cualitativas como el color y forma de las semillas son de gran importancia para distinguir a *Canavalia maritima* de *C. plagiosperma* (Fabaceae), no obstante caracteres como el ancho, grosor y longitud resultaron muy variables.

Son escasos los estudios a nivel infraespecífico con implicaciones taxonómicas. Por ejemplo, Juan *et al.* (1996) estudiaron la morfología y anatomía de frutos y semillas en *Pediculares*

sylvatica subsp. *lusitanica* (Scrophulariaceae), y encontraron caracteres tales testa reticulada y un apéndice esponjoso en la cara ventral que permitieron diferenciar a esta subespecie de la subespecie típica (*P. sylvatica* subsp. *sylvatica*). Finalmente, Moro *et al.* (2001) estudiaron la morfología de la testa de *Angeloniasa licariefolia* (Scrophulariaceae), encontrando que son semillas muy pequeñas (0.9-1.7 mm de largo y 0.5-0.9 mm de ancho), de forma oval, con una exotesta con cresta reticulada y organizada de manera uniforme en filas longitudinales y una alta densidad de microcilios como proyecciones en las paredes celulares. Adicionalmente estos autores encontraron que el hilo está situado junto al micrópilo de la semilla, característica que se reconoció por primera vez y que los autores consideraron con un valor taxonómico importante para este género neotropical.

Estudios sobre la morfología de semillas en Cactaceae

En la familia Cactaceae las características de las semillas son importantes para entender la relación entre los diversos grupos debido a la diversidad en tamaño, forma, color y patrones de la testa. Aunque varios autores reconocen que los caracteres morfológicos de las semillas son generalmente estables para diferenciar taxa, es posible que factores ambientales puedan afectarlas (Anderson, 2001; Buxbaum, 1955).

En 1958, Buxbaum señaló que los caracteres de las semillas dentro de la familia no han sido suficientemente examinados, a pesar de que sus caracteres puedan tener importancia para la clasificación, ya sea a nivel genérico o específico. Posteriormente, otros autores también confirmaron que las semillas muestran una compleja y alta diversidad morfológica y micro-morfológica que proporciona información con valor taxonómico y que puede ser relevante en la sistemática de los géneros (Barthlott y Voit, 1979; Leuenberger, 1974; Flores y Engleman, 1976; Barthlott y Hunt, 2000).

Entre los estudios de índole taxonómico que han usado caracteres de la semilla, se encuentra el de Leuenberger (1974) quien presentó una revisión general sobre la importancia de los caracteres de la semilla en el reconocimiento de especies. Sin embargo otros estudios más particulares que analizan los caracteres de la semilla bajo este contexto se mencionan a continuación:

Elizondo *et al.* (1994), presentaron contribuciones importantes referentes al valor taxonómico que tiene la micromorfología de la cubierta seminal, en especies de la tribu Cactae. En su estudio, encuentran que la posición y tamaño del hilo, así como la estructura del relieve fino de la pared celular en la escultura secundaria, permiten la formación de grupos, importante para la delimitación de líneas evolutivas.

Kattermann (1994) observó que en las semillas del género *Eriosyce*, la escultura terciaria puede ser originada por el borde anticlinal similar a estrías, aunque, en algunos casos, puede ser sólo un conjunto de células, y que en algunas semillas la porción periclinal esta separada por un borde exterior. Estas observaciones le permitieron al autor evaluar las diferencias entre las especies de este género.

Chamberland (1997), encontró que los caracteres que permiten diferenciar a *Echinocactus polycephalus* de *E. parry* están basados principalmente en el tiempo de floración y color de la

flor, longitud e indumento del hipantio, así como en la longitud, forma y textura de la semilla.

Un estudio morfométrico detallado sobre los caracteres seminales del género *Frailea*, fue llevado a cabo por Metzinger y Thiede (2001), quienes observaron unas peculiares ornamentaciones en la pared periclinal de la testa, conocidas como papilas, las cuales tienen diferente longitud y forma.

Arias y Terrazas (2004), realizaron un estudio comparativo de la morfología de la semilla de 13 especies de *Pachycereus* y dos de *Stenocereus*, incluyendo 16 caracteres cualitativos y siete cuantitativos. Los caracteres cualitativos más significativos que encontraron para reconocer grupos de especies, fueron el tamaño, la apariencia lustrosa y el relieve bajo de la pared periclinal de las células, en la región lateral, los cuantitativos, fueron la longitud de la semilla, el ancho, la longitud y el ángulo de la Región Hilo Micropilar (RHM).

Arroyo-Consultchi *et al.* (2006) valoraron la morfología de 24 especies de *Stenocereus*. Con base en caracteres cualitativos y cuantitativos y realizando análisis fenéticos, estos autores distinguieron dos grupos con base en la variación del tamaño, lustre, escultura multicelular, presencia de la quilla, tamaño de la célula, escultura de la pared anticlinal y posición y tamaño de la Región Hilo Micropilar (RHM).

Con el propósito de identificar grupos de especies usando un análisis de similitud, Arroyo-Consultchi *et al.* (2007) examinaron la morfología en semillas de nueve especies de *Neobuxbaumia*, utilizando 14 caracteres cualitativos y cuantitativos. Los resultados permitieron distinguir dos grupos con base en la forma de la semilla y la posición relativa a la región hilo-micropilar. Varios de los rasgos señalados se compartieron con otros miembros de Pachycereinae y no se identificaron caracteres de la semilla únicos para las especies de *Neobuxbaumia*, por lo que no se pudieron sugerir como posibles sinapomorfias del género.

Stenocereus dumortieri

Datos taxonómicos

Durante el siglo XIX, las cactáceas columnares fueron generalmente clasificadas dentro del género *Cereus* Buxbaum (1958). A comienzos del siglo XX, *Cereus*, fue subdividido en varios géneros. Uno de ellos corresponde a *Stenocereus*, el cual fue inicialmente propuesto por Berger (1905) incluyéndolo dentro del subgénero de *Cereus* y posteriormente fue elevado a rango genérico por Riccobono (1909). En propuestas de clasificación posteriores para el género *Stenocereus* (Hunt, 1992), fue incluido en su sinonimia *Machaerocereus* y poco tiempo después fue incorporada *Rathbunia* (Taylor y Gibson, 1994).

Estudios recientes sobre sistemática filogenética en la tribu Pachycereeae, permiten reconocer que *Stenocereus* es un género con 22 especies, las cuales se distribuyen del suroeste de los Estados Unidos de América hasta Colombia y Venezuela, pero en México se encuentra la mayor diversidad con 20 especies (Arreola, 2006). Morfológicamente *Stenocereus* se caracteriza por la presencia de un tubo receptacular largo, fruto dehiscente, mucílago y

cuerpos de sílice en el tejido dérmico (Terrazas et al., 2005; Arreola, 2006).

Stenocereus dumortieri fue descrito dentro del género *Cereus* por el botánico alemán Michael Josef Scheidweiler, en 1837 quien le dedicó la especie al botánico francés Barhelemy Charles Joseph Dumortieri (Arreola, 2006). Nathaniel Britton y Joseph Rose (1909) transfirieron el taxón al género *Lemaireocereus*, por presentar cerdas en los frutos. Posteriormente Backeberg (1938) lo incluyó dentro del subgénero *Isolatereus* y en 1942 este mismo autor elevó este subgénero a rango genérico. En 1961, Franz Buxbaum transfirió esta especie a *Stenocereus*. Bravo-Hollis (1978) siguió la propuesta de clasificación de Buxbaum manteniendo a esta especie en *Stenocereus*. Arthur Gibson y Karl Horak (1978) la separan en el género *Isolatereus* aunque también señalan que comparte con las restantes especies de *Stenocereus* la presencia de triterpenos en la corteza del tallo y cuerpos de sílice en el tallo.

Los estudios filogenéticos recientes permiten reconocer que este taxón presenta un buen número de autapomorfias moleculares y estructurales (pocas costillas, aréolas comprimidas lateralmente y confluentes, espinas amarillas, la forma angosta de su flor, fruto con aréolas escasas así como espinas amarillas) que lo diferencian del resto de las especies (Arreola, 2006).

Descripción de la especie

Nombre científico: *Stenocereus dumortieri* (Scheidw.) Buxbaum. *Botanische Studien* 12:100.1961. (Figura . 1)

Sinonimia:

- *Cereus dumortieri* Scheidw. *L'horticulteur belge, journal des Jardiniers et Amateurs* 4:220.1837.
- *Lemaireocereus dumortieri* (Scheidw.) Britton & Rose, *Contributions from the United States National Herbarium* 12:425.1909.
- *Isolatocereus dumortieri* (Scheidw.) Backeb. *Jahrbuch Deutschen Kakteen Gesellschaft* 1:76.1942.
- *Rathbunia dumortieri* (Scheidw) P.V. Heath, *Calyx* 2:104.1992.

Nombres comunes: pitayo, órgano, candelabro, u órgano cenizo.

Especie columnar de 3-13 m de alto. Posee un tronco bien definido, 20-60 cm de largo y 30-50 cm de diámetro; ramas hasta de segundo y tercer orden de 4 m de largo y 15 cm de diámetro, con ápices angostos, de color verde claras (Figura 1A). Las ramas más viejas se encuentran en el centro y las más jóvenes hacia el perímetro de la planta; costillas 5, agudas en sección transversal; aréolas confluentes, elípticas, 6-10 mm de largo y 3-6 mm de ancho, con tricomas de color blanco, espinas radiales 8-12, aciculares, espinas centrales 1-4, aciculares, de hasta 5.8cm de largo, ligeramente más fuertes que las radiales amarillo doradas, con la base rojiza en etapa juvenil, después blancas a grises. (Figura 1B). Flores

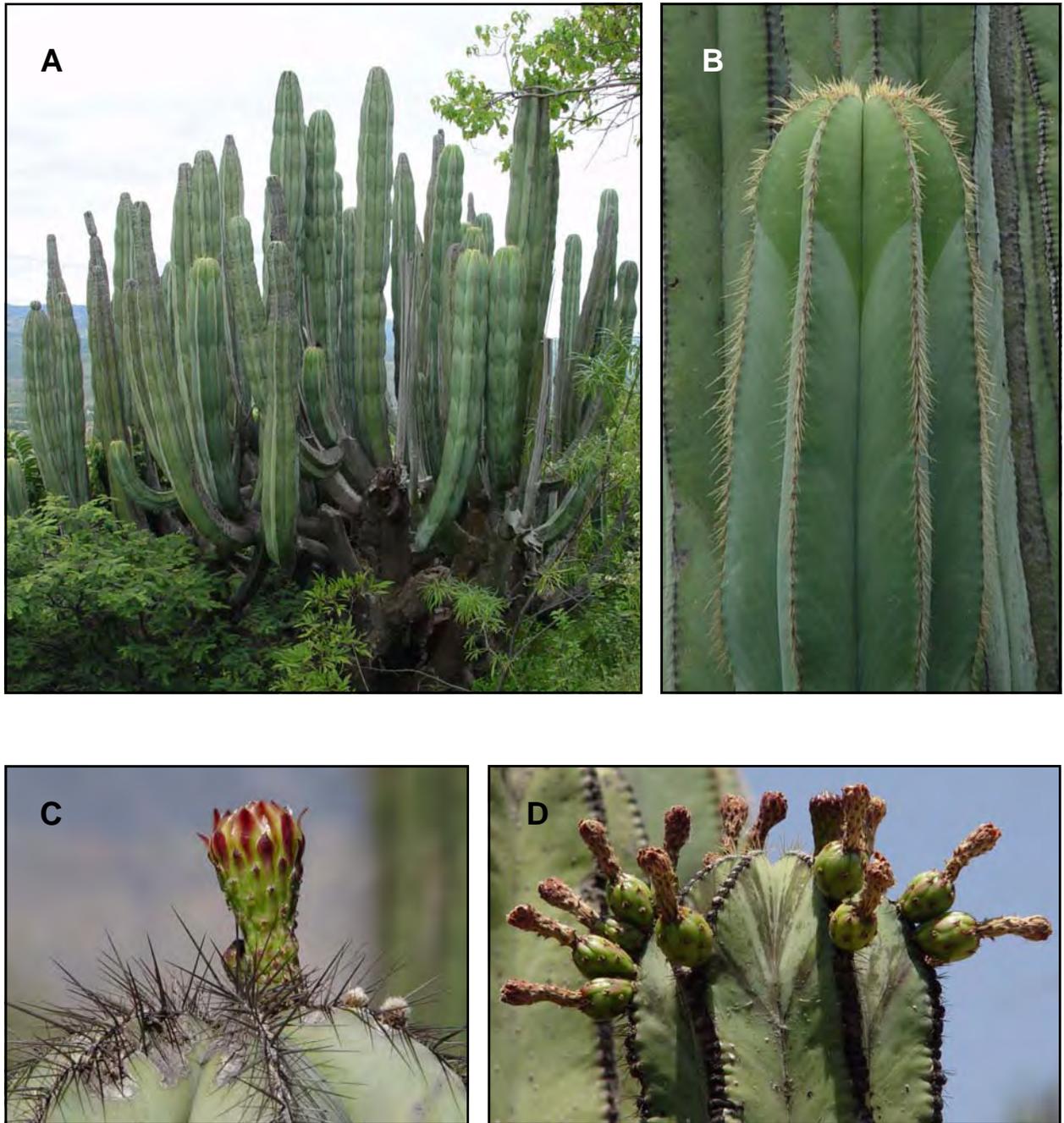


Figura 1. *Stenocereus dumortieri* (A) Ejemplar adulto, (B) rama, (C) flor y (D) frutos.

laterales o apicales, nocturnas que permanecen abiertas durante la mañana siguiente, infundiliformes, 4-6 cm de largo y de 2.5-3 cm de ancho en antesis; pericarpelo globoso a ovoide, alrededor de 1.5 cm de diámetro, de color verde rojizo, cubierto con podarios anchos y prominentes, aréolas con tricomas blanco-amarillentos y espinas suaves y setosas; tubo receptacular de 2 cm de largo, podarios con escamas decurrentes; con segmentos exteriores del perianto angostamente obovados a espatulados con el ápice agudo, verde-purpúreos, de 0.6-1 cm de largo y de 0.3-1 cm de ancho; segmentos interiores oblongos a lanceolados, de borde entero, blancos a blanco-amarillento, de hasta 1 cm de largo y de 0.5 cm de ancho; estambres inclusos, numerosos, de 6.8-15.3 mm de largo; estilo blanco, alrededor de 3 cm de largo y 1.5 mm de ancho; lóbulos del estigma 8(+11), blanco-amarillentos, de 5 mm; cámara nectarial semicerrada por la curvatura de los estambres del verticilo inferior, 1.2 cm de largo y 6 mm de ancho (**Figura 1C**). Fruto ovoide, dehiscente en la madurez, 1.5-2.9 cm de diámetro, verde amarillento a anaranjado, aréolas con pocas espinas setosas, alrededor de 7 mm de largo, blanco-amarillentas a amarillas, aréolas caducas en la madurez, pulpa dulce roja, verde o blanca (**Figura 1D**); semillas 1.5-2.2 mm de largo y 0.9-1.5 mm de ancho 5. (Arreola, 2006).

Hábitat: Esta especie crece sobre suelos basálticos, se le encuentra en matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio y matorral espinoso; en altitudes entre 760 a 2600 m

Distribución: Se encuentra distribuida en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Veracruz y Zacatecas. Es un elemento importante en las comunidades donde se presenta ya que determina, en gran medida, la fisonomía del paisaje. Además es un elemento importante en la dinámica de las interacciones bióticas de estas comunidades (Jiménez y Figueroa, 2004; Arreola, 2006).

Fenología: Florece durante el mes de marzo a junio.

Fructifica en mayo y julio, son fuente de alimento para los murciélagos y las aves quienes juegan también, un papel importante en la dispersión de las semillas (Jiménez y Figueroa, 2004). Por su parte, Torres, (2003) menciona que *Stenocereus dumortieri* es autocompatible y su sistema de polinización es generalista ya que tiene como polinizadores efectivos tanto visitantes diurnos como nocturnos.

Morfología de la semilla

Son pocos los estudios acerca de la morfología de la semilla de esta especie. Bravo-Hollis (1978) señaló que es una semilla de 1.5 mm de color negro. Por su parte, Gibson (1991), señaló que la cutícula de la testa tiene estriaciones conspicuas bajas y gruesas. Recientemente Arroyo-Consultchi *et al.* (2006), con el propósito de buscar caracteres que apoyen a reconocer los grupos taxonómicos dentro del género realizaron un análisis fenético con caracteres morfológicos de la semilla para las 22 especies de *Stenocereus*, incluyendo *S. dumortieri*. Estos autores encontraron que varios caracteres presentan variación y pueden ser importantes para reconocer tendencias evolutivas dentro del género. Encontraron que en la mayoría de las especies, la semilla presenta un tamaño medio (1.80 x 1.13 mm), incluyendo a *S. dumortieri*. Las semillas son de color negro incluyendo *S. dumortieri* con la

excepción de *S. eichelamii* que presenta un color café oscuro. La quilla generalmente se encuentra en la parte dorsal en la mayoría de las especies, como en el caso de *S. dumortieri*, aunque en algunas puede variar y extenderse hasta la región apical o incluso ventral. El lustre en la mayoría de las especies incluida *S. dumortieri* es mate, aunque este carácter varió de semimate a brillante. De los tres tipos de escultura multicelular que reconocieron las más constantes fueron rugosa y ruminada, siendo esta última forma la identificada para *S. dumortieri*. El relieve de la pared anticlinal es acanalado en la mayoría de las especies incluyendo a *S. dumortieri*, aunque este carácter varió desde elevado hasta canal profundo. El microrelieve es estriado en el mayor número de especies, como en el caso *S. dumortieri*, aunque la variante lisa se presenta en un mínimo de especies. El tipo de estriación y posición varía en todas las especies, pero el más común es ligeramente granular, cubriendo toda la pared periclinal, mientras que la presencia de estriación cuticular gruesa cubriendo toda la pared, fue lo menos común como en *S. dumortieri*, mientras que la estriación fina fue el más inusual.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Estudiar la variación de la morfología de la semilla en *Stenocereus dumortieri*, para delimitar la estabilidad de sus caracteres dentro de la especie.

Objetivos particulares:

- Describir los caracteres micromorfológicos de la semilla en *Stenocereus dumortieri*.
- Evaluar la variación métrica para ocho caracteres de la semilla.
- Registrar los atributos cualitativos y métricos que sean estables como caracteres taxonómicos.

MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de gabinete

Se efectuó una revisión bibliográfica sobre la sistemática del género *Stenocereus* y en particular para *S. dumortieri*. Con base en esta revisión se obtuvo la información sobre la historia taxonómica, distribución de la especie y sus características diagnósticas; asimismo se revisaron los trabajos sobre la morfología de las semillas de la familia Cactaceae, así como de otras familias de plantas, que sustentan sus resultados aplicando análisis estadísticos.

Las muestras de semillas de *Stenocereus dumortieri* se obtuvieron de frutos maduros procedentes de 12 localidades indicadas en la (Figura 2) el (Cuadro 1), cuyos ejemplares de herbario están depositados en CHAPA. Las semillas se mantuvieron en solución de glicerina-alcohol-agua (GAA), las maduras se removieron dejándolas remojar durante cinco minutos en un vaso de precipitado con agua destilada y tres gotas de detergente biológico (TWEEN), se enjuagaron con agua corriente quitando todo el mucílago posible, se colocaron sobre papel secante y posteriormente se almacenaron en sobres rotulados.

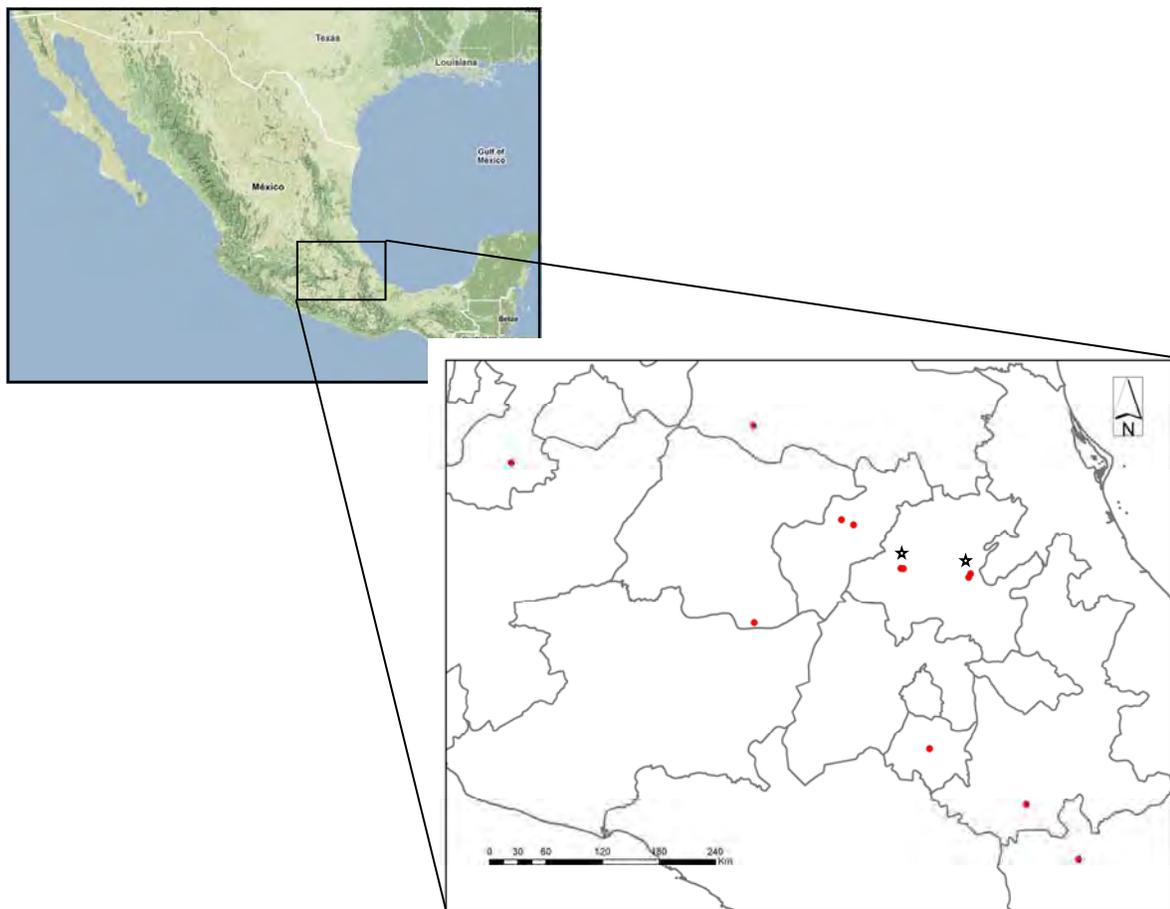


Figura 2. Ubicación geográfica de las localidades de colecta de *Stenocereus dumortieri*. Las estrellas señalan sitios de dos colectas, que debido al espacio en que se reproduce el mapa se sobreponen.

Cuadro 1. Ubicación y características de las localidades de obtención de semillas de *Stenocereus dumortieri*. El ordenamiento es de acuerdo a su distribución latitudinal. En todos los casos el colector es I. Aguilar.

	LOCALIDAD	MUNICIPIO	ESTADO	LATITUD(N)	LONGITUD(O)	ALTITUD(m)	TIPO DE VEGETACION
1	Carretera S.L.P. A Oro. Km 162 cerca de la desviación a ojo caliente	Santa María del Río	San Luis Potosí	21°52'07"	100°45'26"	1803	Matorral Crasicuaule
2	Cañada del arroyo Tlazole, San Miguel Atotonilco	Apozol	Zacatecas	21°31'03"	103°04'03"	1392	Bosque tropical caducifolio
3	Carretera 120 Higuierillas -Tolima Km. 76	Tolimán	Querétaro	20°58'00"	99°55'00"	2000	Matorral Crasicuaule
4	Carretera 120 Higuierillas -Tolimán Km. 73	Tolimán	Querétaro	20°55'08"	99°48'02"	1675	Matorral Crasicuaule
5	Carretera Ixmiquilpan_Zimapan Km. 95. Puente Tasquillo	Tasquillo	Hidalgo	20°30'05"	99°20'57"	1635	Matorral Crasicuaule
6	Santiago Ixtlahuaca	Tasquillo	Hidalgo	20°30'02"	99°19'30"	2000	Matorral Crasicuaule
7	Carretera 105 Pachuca, Metzquititlan Km. 55.6	Metzquititlán	Hidalgo	20°26'59"	98°41'03"	1638	Matorral xerófilo con crausicaule
8	Carretera 105 Pachuca, Metzquititlan Km. 54	Metzquititlán	Hidalgo	20°25'02"	98°42'02"	1890	Matorral Crasicuaule
9	Carretera Acambaro Zinapecuaro Km. 7	Acámbaro	Guanajuato	19°59'02"	100°44'56"	1940	Matorral de galería
10	Carretera 95 libre Cuernavaca-Taxco. Jardines Xochitepec	Xochitepec	Morelos	18°46'08"	99°04'35"	1083	Bosque tropical caducifolio
11	Carretera Izúcar de Matamoros-Acatlán Km. 137	Acatlán de Osorio	Puebla	18°14'01"	98°41'08"	1422	Bosque tropical caducifolio
12	Carretera Huajapan-Oaxaca adelante del Km. 26	Santiago Tejupan	Oaxaca	17°43'07"	97°39'05"	2091	Bosque tropical modificado

Caracteres

Para evaluar la variación intraespecífica se analizaron y midieron 100 semillas de cada localidad. Se colocaron en un portaobjeto con diurex doble cara. Para después observarlas en el microscopio estereoscópico (OLYMPUS LG-PS2). Utilizando el programa IMAGEN PRO PLUS VERSION 6.1 MEDIA CYBERNETICS se tomaron ocho medidas, las que se señalan en la (Figura 3) y se enumeran en el (Cuadro 2). Las mediciones se vaciaron en Excel para posteriormente ser analizadas con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1989)

Para completar el análisis de la morfología de la semilla se utilizó un microscopio electrónico de barrido (MEB). Las semillas fueron lavadas, colocadas en un vaso de precipitado de 100 ml con agua destilada y cinco gotas de detergente biológico (TWEEN), todo esto se colocó en un termoagitador Stierre durante una hora a una velocidad de 1000 rpm y una temperatura de 33°C. Posteriormente las semillas se lavaron con agua destilada utilizando ultrasonido, se secaron y fueron montadas en porta-muestras y cubiertas con un baño de oro (300-400Å de espesor). Las observaciones se llevaron a cabo en un Microscopio Hitachi modelo 2460N. Las microfotografías fueron tomadas con una cámara pentax Z10 con una película Ilford PanF 50 y Kodak T-Max 100 del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. La descripción de la forma y superficie de las semillas de *Stenocereus dumortieri*, utilizadas en este trabajo es de acuerdo a la terminología de Barthlott y Hunt (2000).

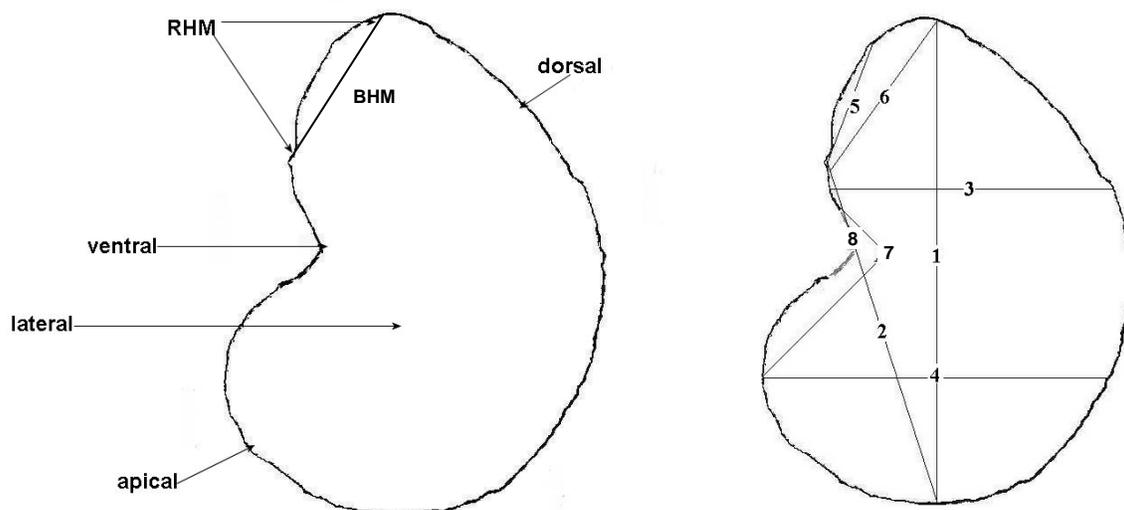


Figura 3. Diagrama de la semilla de *Stenocereus dumortieri*. **A)** Regiones topográficas de la semilla. **B)** Trazos de las mediciones observadas: 1. Largo máximo; 2. Largo de la base a RHM; 3. Ancho menor; 4. Ancho mayor; 5. Largo de la Región Hilo-Micropilar (RHM); 6. Largo de la Base Hilo-Micropilar (BHM); 7. Ángulo del cuerpo; 8. Ángulo de la curvatura.

Cuadro 2. Lista de caracteres cualitativos y métricos evaluados en la semilla de *Stenocereus dumortieri*

CARACTERES CUALITATIVOS	CARACTERES MÉTRICOS
GENERALES	1. Largo máximo
1. Simetría	2. Largo de la base a la RHM
2. Color	3. Ancho menor
3. Lustre	4. Ancho mayor
4. Escultura multicelular	5. Largo de la RHM
5. Periferia	6. Largo del BHM
6. Zona donde finaliza la quilla	7. Ángulo del cuerpo
7. Borde de la testa	8. Ángulo de la curvatura
ESTRUCTURA PRIMARIA (escultura de la testa)	
8. Forma de la célula en la región lateral	
LIMITE ANTICLINAL DE LAS CÉLULAS	
9. Curvatura de las paredes anticlinales	
10. Relieve del borde (pared anticlinal)	
11. Intersticios	
ESTRUCTURA DE LA PARED PERICLINAL	
12. Relieve	
13. Microrelieve	
REGIÓN HILO-MICROPILAR (RHM)	
14. Orientación	
15. Posición relativa al borde	
16. Configuración del hilo y micropilo	
17. Forma del complejo Hilo-Micropilar (HM)	

Análisis estadístico

Se obtuvieron los valores de la estadística descriptiva básica (media, error estándar, valor máximo y valor mínimo) para cada uno de los ocho caracteres morfométricos, así como para conocer la distribución (normal o sesgada) de cada carácter a través del procedimiento univariado. Para cumplir con los objetivos de este estudio se aplicó un análisis canónico discriminante (CANDIS). El cual es un modelo estadístico que permite diferenciar grupos, por medio de combinaciones lineales de cada conjunto de variables cuantitativas o caracteres, diferencias entre los grupos y maximizar la correlación entre ellos (Cuadras, 1996; Hair, *et al.* 1999; Johnson 2000). El CANDIS tiene como requerimiento la consideración de tres o más grupos para poder realizar la discriminación y obtener el valor característico de las variables canónicas. Este análisis se aplicó para identificar la contribución relativa de cada carácter a la separación de las doce localidades de *S. dumortieri*. La función discriminante utiliza la combinación de los valores de las variables predictoras para clasificar un individuo en uno de los grupos de la variable de criterio.

Se obtuvieron los valores de la estadística descriptiva básica (media, error estándar, valor máximo y valor mínimo) para cada uno de los caracteres. Para cumplir con los supuestos de estos análisis, se verificó la existencia de normalidad de los caracteres a través de la prueba de normalidad y la homogeneidad de las varianzas. Los valores de los ángulos se transforman en radianes y todos los valores de distancia se transformaron a logaritmos para homologar el manejo de los datos en los análisis.

Se realizó una prueba de comparación de medias aplicando la prueba de Turkey ($P < 0.05$), con la finalidad de conocer entre pares de localidades si existen diferencias significativas, así como las diferencias significativas entre cada localidad. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete SAS versión 6.04 (SAS Institute, 1998). Para calcular el porcentaje del área que ocupan las estriaciones en las paredes periclinales se utilizó el programa IMAGE J.1.41°.

RESULTADOS

Descripción morfológica de la semilla

La semilla de *Stenocereus dumortieri* es asimétrica de forma ovoide a ampliamente ovoide (**Figura 4**), la semilla es de tamaño mediano fluctuando en la media de 1.60 mm a 1.94 mm entre las localidades. (**Cuadro 3**). El color de la testa es negra mate. La escultura multicelular es ruminada, la quilla está presente y varía en extensión incluyendo región dorsal, las regiones dorsal y apical y casi llega a la región ventral; la quilla varía de muy tenue a muy notoria; las células son gradualmente más pequeñas hacia el hilo, tienen formas isodiamétricas pentagonales y hexagonales. El relieve de la pared anticlinal es con acanalado, evidente en todas las regiones, recto, intersticios ausentes o con hoyos diminutos y escasos en todas las regiones. El relieve de la pared periclinal es convexo, las convexidades tienen forma de domos bajos, en todas las regiones. El microrelieve presenta estriaciones muy gruesas de manera irregular en las paredes periclinales, porque el área que ocupan las estriaciones no se observa de igual manera en todas las semillas por ello pueden cubrir desde un 90%, hasta un 30% de la estriaciones cubriendo las paredes. El largo de la región hilo-micropilar (RHM) varía entre 0.24 ± 0.05 mm a 0.43 ± 0.09 mm (**Cuadro 5**) se encuentra en posición basal, es de tipo cerradura, el hilo y micrópilo forman un conjunto pero se encuentran separados por tejido esclerificado.

Variación en caracteres cualitativos

De los 17 caracteres cualitativos analizados, 13 fueron constantes en las semillas de las 12 localidades. La testa es color negro, mate, la escultura multicelular es ruminada, la periferia aquillada y el borde de la testa es ligeramente expandido alrededor del hilo. De los caracteres que conforman el límite anticlinal de las células, la pared anticlinal es recta y los pequeños intersticios o la ausencia de estos, fueron constantes entre las localidades. De los dos caracteres de la estructura de la pared periclinal observados, el relieve fue constantemente convexo con domos bajos. La región hilo micropilar (RHM) es constante ya que en todas las localidades es oblicuo, el contorno es obtuso, la forma de este complejo es de tipo agujero de cerradura y el hilo y micrópilo forman un conjunto separado por una banda esclerificada.

Los caracteres cualitativos que variaron fueron: La forma de la semilla varía de ovoide a ampliamente ovoide; la prolongación de la quilla sobre la periferia es variable, se extiende solo en la parte dorsal, se prolonga hasta la región apical y llega hasta los límites con la región ventral (**Figura 4**). En la estructura primaria la forma de las células en la región lateral varían de isodiamétricas a alargadas. En las isodiamétricas se observan células (pentagonales), (hexagonales) y (heptagonales) (**Figura 5**). Entre las alargadas, las células hexagonales son constantes en la localidad de Oaxaca, mientras que en las demás localidades varían de tetragonales a heptagonales (**Figura 5**). El microrelieve fue irregular y se reconocieron seis patrones: 1) estriaciones finas limitadas al campo anticlinal de la pared, 2) estriaciones gruesas en todos los campos de la pared, 3) estriaciones gruesas solo sobre el

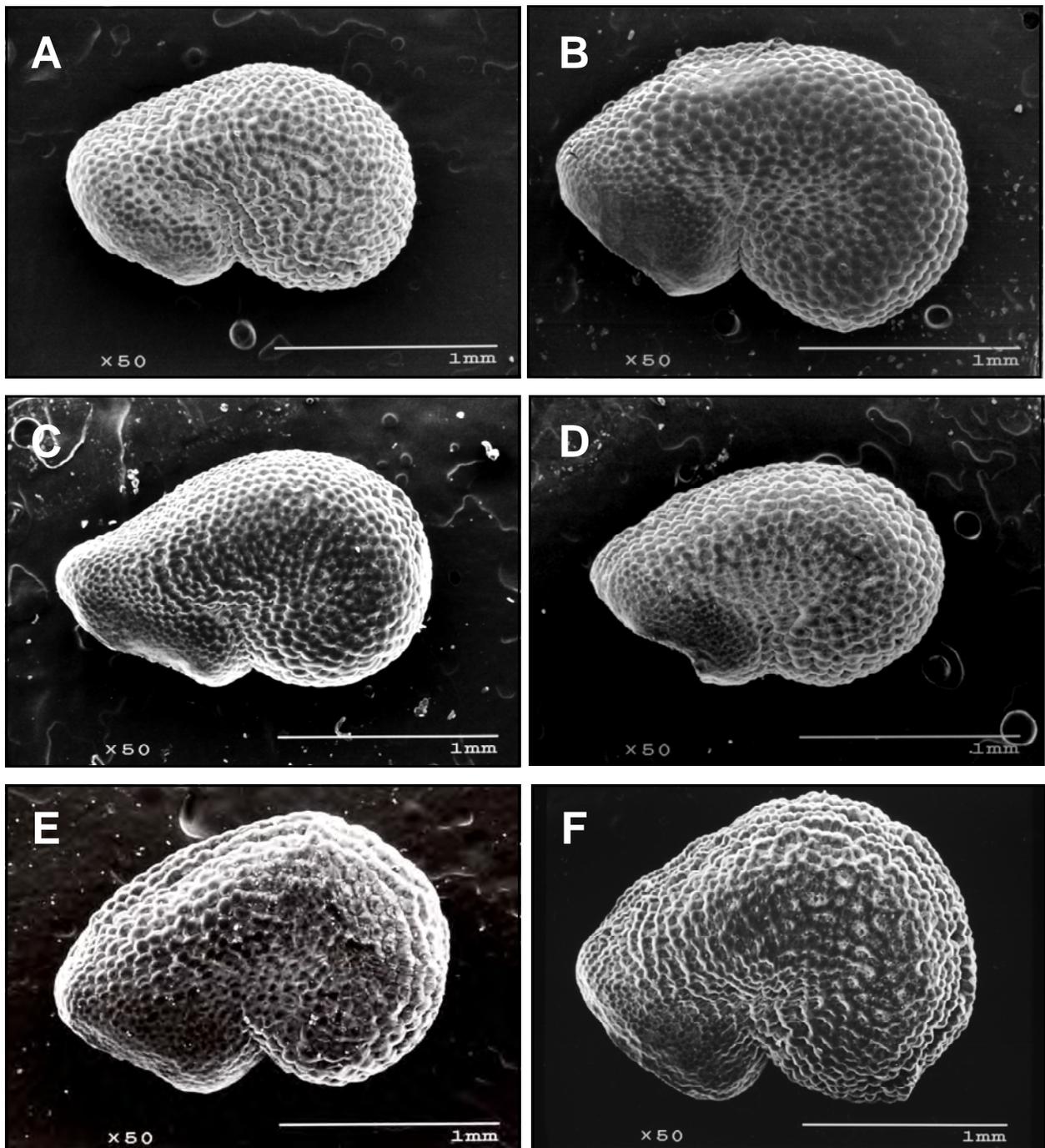


Figura. 4. Microfotografías mostrando variación en la forma de la semilla de *Stenocereus dumortieri* de ovoide a ampliamente ovoide. Extensión de la quilla en la semilla de *Stenocereus dumortieri*. **A** y **B** Quilla presente en la región dorsal. **C** y **D** Quilla presente hasta la región dorsal-apical. **E** y **F** Quilla extendiéndose hasta la región ventral.

Cuadro 3. Media y error estándar del carácter largo máximo y largo de la base para la semilla de *Stenocereus dumortieri*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$).

Localidad	Largo Máximo (mm)	Largo de la base (mm)
Zacatecas	1.60 ± 0.12 ^c	1.29 ± 0.08 ^c
San Luis Potosí	1.75 ± 0.10 ^b	1.40 ± 0.07 ^b
Guanajuato	1.71 ± 0.10 ^b	1.25 ± 0.09 ^c
Hidalgo A	1.71 ± 0.13 ^b	1.32 ± 0.12 ^c
Hidalgo B	1.63 ± 0.18 ^c	1.30 ± 0.15 ^c
Hidalgo C	1.78 ± 0.17 ^b	1.42 ± 0.14 ^b
Hidalgo D	1.93 ± 0.14 ^a	1.47 ± 0.12 ^b
Morelos	1.89 ± 0.13 ^a	1.53 ± 0.13 ^a
Querétaro A	1.60 ± 0.13 ^c	1.24 ± 0.10 ^c
Querétaro B	1.77 ± 0.15 ^b	1.40 ± 0.15 ^b
Puebla	1.90 ± 0.10 ^a	1.58 ± 0.08 ^a
Oaxaca	1.94 ± 0.14 ^a	1.54 ± 0.11 ^a

Cuadro 4. Media y error estándar del carácter ancho menor y ancho mayor para la semilla de *Stenocereus dumortieri*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$).

Localidad	Ancho menor (mm)	Ancho mayor (mm)
Zacatecas	0.96 ± 0.07 ^b	1.08 ± 0.07 ^c
San Luis Potosí	0.91 ± 0.60 ^b	1.15 ± 0.08 ^b
Guanajuato	0.97 ± 0.06 ^b	1.14 ± 0.07 ^b
Hidalgo A	0.98 ± 0.72 ^b	1.18 ± 0.10 ^b
Hidalgo B	0.93 ± 0.08 ^b	1.10 ± 0.14 ^c
Hidalgo C	1.00 ± 0.12 ^a	1.21 ± 0.13 ^a
Hidalgo D	1.11 ± 0.10 ^a	1.23 ± 0.11 ^a
Morelos	1.09 ± 0.08 ^a	1.29 ± 0.13 ^a
Querétaro A	0.95 ± 0.06 ^b	1.07 ± 0.10 ^c
Querétaro B	1.04 ± 0.08 ^a	1.16 ± 0.10 ^b
Puebla	1.12 ± 0.08 ^a	1.34 ± 0.08 ^a
Oaxaca	1.08 ± 0.06 ^a	1.18 ± 0.09 ^b

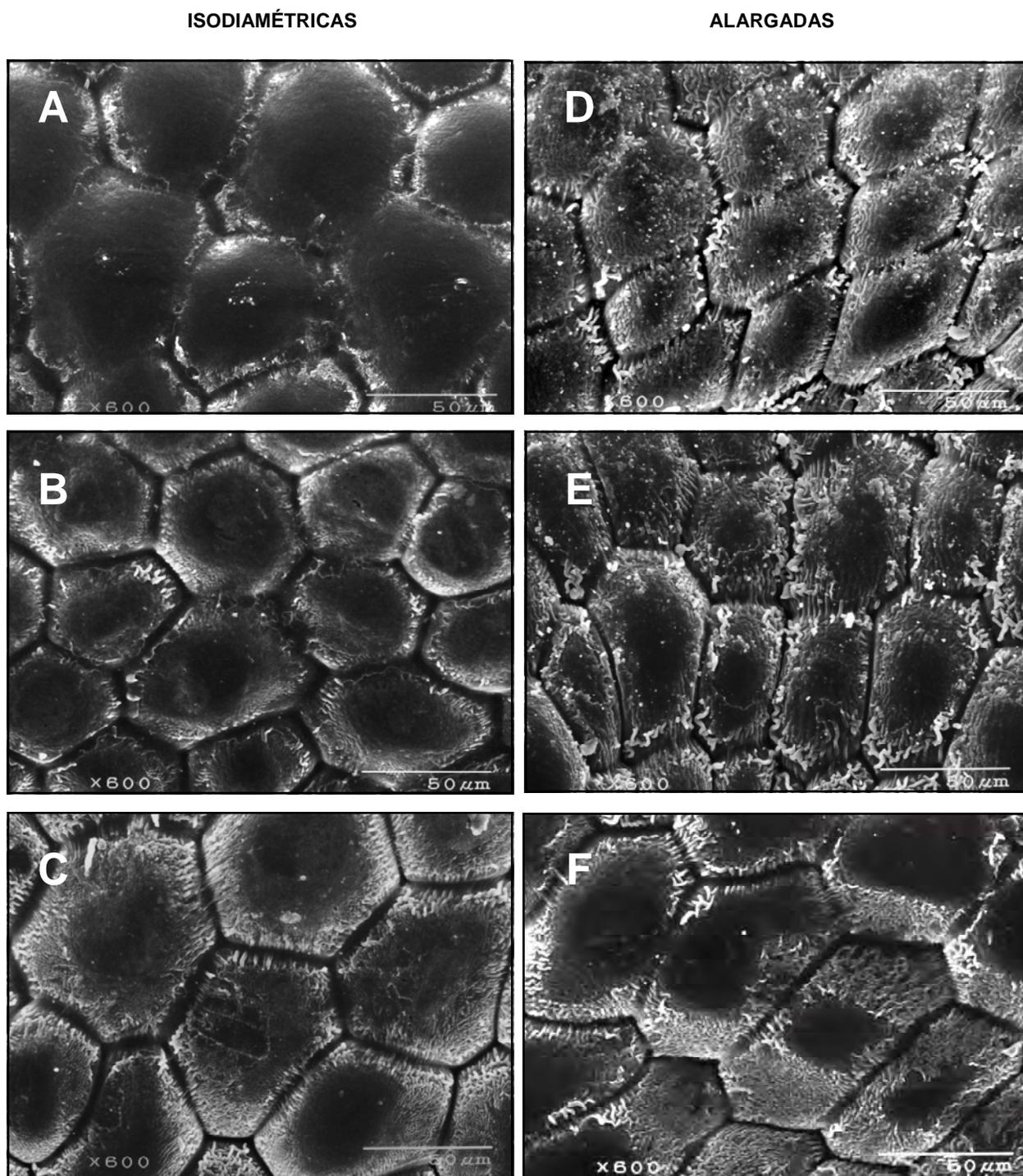


Figura 5. Microfotografías de la estructura primaria de la escultura de la semilla de *S. dumortieri* mostrando la forma de las células en la región lateral. Semillas con células isodiamétricas. **A:** pentagonal, **B:** hexagonal, **C:** heptagonal. Semillas con células alargadas. **D:** tetragonal, **E:** pentagonal, **F:** hexagonal.

campo anticlinal de la pared, 4) estriaciones muy gruesas en todos los campos la pared, 5) estriaciones muy gruesas sobre el campo anticlinal y 6) estriaciones muy gruesas y discontinuas en el campo anticlinal de la pared (**Figura 6**).

Variación en caracteres métricos

Largo máximo. El carácter largo máximo se estableció como el eje mayor que recorre a la semilla (**Figura 6B**). El carácter varió de 1.60 ± 0.12 mm en la localidad de Zacatecas hasta 1.94 ± 0.14 mm en Oaxaca. Tres grupos estadísticamente significativos ($p = 0.05$) se forman, uno de ellos lo representa las localidades al norte y centro del país conformadas por Hidalgo B, Zacatecas y Querétaro A. Un segundo grupo lo integran las localidades de Hidalgo C, Querétaro B, San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo A y el último lo forman las localidades que se encuentran en el centro y sur del país como son Oaxaca, Hidalgo D, Puebla y Morelos (**Cuadro 3**).

Largo de la base a RHM. Este carácter se definió como el eje que recorre la semilla desde la región apical hasta el inicio de la región hilo-micropilar (RHM); (**Figura 6B**). El largo varió de 1.24 ± 0.10 mm en la localidad de Querétaro A hasta 1.58 ± 0.08 mm en la localidad de Puebla. Se reconocen tres grupos estadísticamente diferentes ($p= 0.05$), uno de ellos está formado por las localidades de Hidalgo A, Hidalgo B, Zacatecas, Guanajuato y Querétaro A. Un segundo grupo lo formaron las localidades de Hidalgo D, Hidalgo C, San Luis Potosí y Querétaro B. El tercer grupo los conforman las localidades sureñas de Puebla, Morelos, y Oaxaca (**Cuadro 3**)

Ancho menor. Este carácter se definió como la dimensión a la altura de la región dorsal (**Figura 6 B**). Este carácter varió de 0.91 ± 0.06 mm en la localidad de San Luis Potosí hasta 1.12 ± 0.08 mm en la localidad de Puebla. Este carácter forma dos grupos estadísticamente diferentes ($p= 0.05$). El primero conformado por Puebla, Hidalgo D, Morelos, Oaxaca, Querétaro B e Hidalgo C, mientras que el segundo grupo está integrado por Hidalgo A, Guanajuato, Zacatecas, Querétaro A, Hidalgo B y San Luis Potosí. (**Cuadro 4**)

Ancho mayor. Este carácter se definió como la dimensión a la altura de la región dorsal (**Figura 6 B**). Este carácter varió de 1.07 ± 0.10 mm en la localidad de Querétaro A, hasta 1.34 ± 0.08 mm en la localidad de Puebla. Tres grupos estadísticamente diferentes se forman ($p = 0.05$). El primero lo forman las localidades de Hidalgo C, Puebla, Morelos e Hidalgo D. El segundo lo integran Oaxaca, Hidalgo, Querétaro B, San Luis Potosí y Guanajuato, mientras que el tercer grupo lo forman Hidalgo B, Zacatecas y Querétaro A (**Cuadro 4**).

Largo de la RHM. Este carácter se definió como la longitud de la región hilo-micropilar (**Figura 6 B**). El carácter varió desde 0.24 ± 0.05 mm en la localidad de Guanajuato hasta 0.43 ± 0.09 mm en la localidad de Hidalgo B. Se reconocen cuatro grupos estadísticamente diferentes ($p= 0.05$), el primer grupo formado por las localidades de Hidalgo B, Oaxaca e Hidalgo A; el segundo está conformado por Querétaro B, Hidalgo C y Morelos, el tercero lo integran Hidalgo D, Puebla, Querétaro A y San Luis Potosí y el ultimo por Guanajuato y Zacatecas. (**Cuadro 5**).

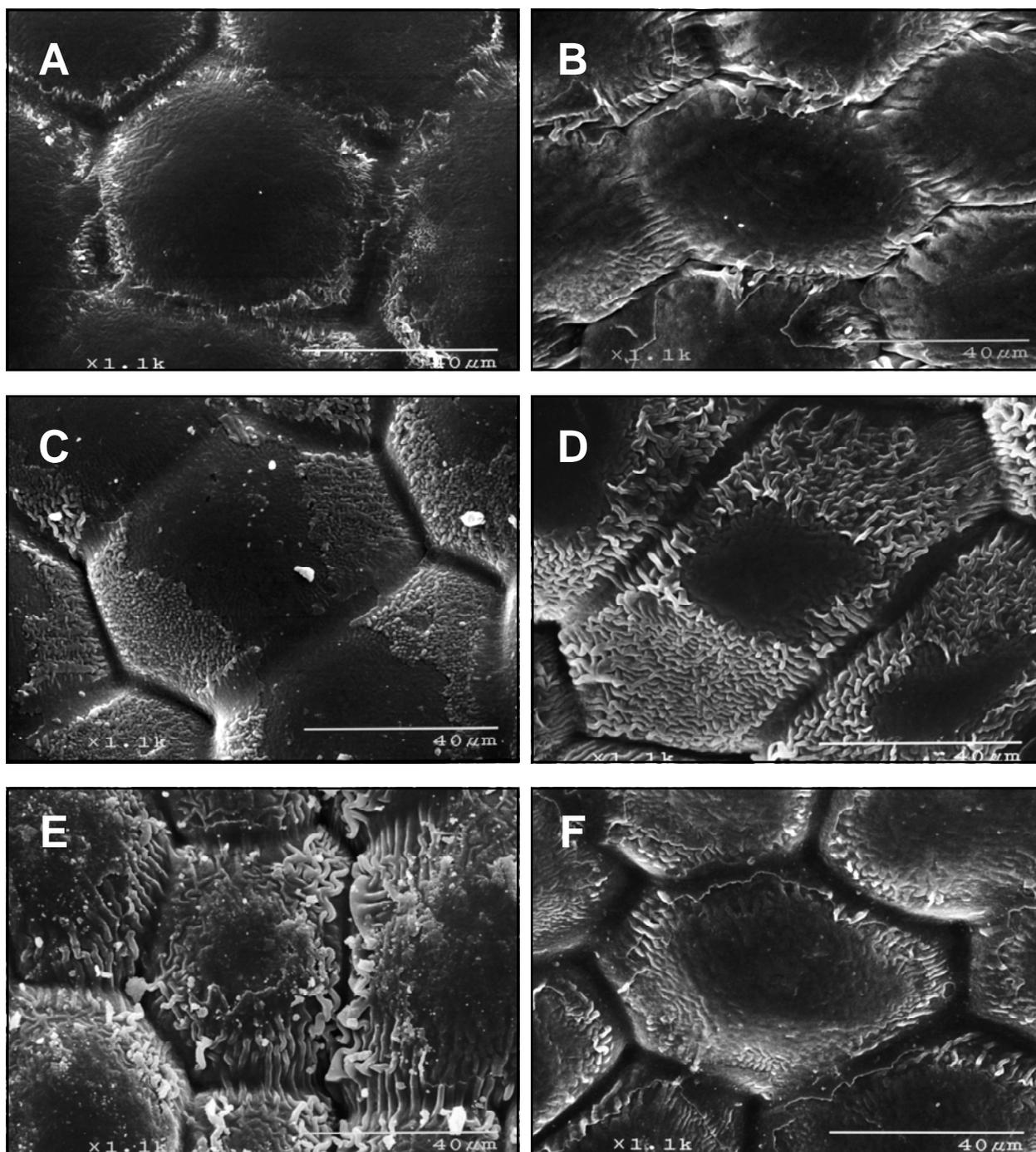


Figura 6. Microfotografías del microrelieve de la pared periclinal. **A:** estriaciones finas limitadas al campo anticlinal **B:** estriaciones gruesas solo sobre el campo anticlinal de la pared **C:** estriaciones muy gruesas sobre el campo anticlinal **D:** estriaciones gruesas en todos los campos de la pared **E:** estriaciones muy gruesas en todos los campos de la pared **F:** estriaciones muy gruesas y discontinuas en el campo anticlinal.

Cuadro 5. Media y error estándar del carácter largo de la RMH y largo del BHM para la semilla de *Stenocereus dumortieri*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$).

Localidad	Largo de la RHM (mm)	Largo de la BHM (mm)
Zacatecas	0.24 ± 0.06^d	0.71 ± 0.89^c
San Luis Potosí	0.27 ± 0.05^c	0.63 ± 0.08^c
Guanajuato	0.24 ± 0.05^d	0.75 ± 0.09^b
Hidalgo A	0.41 ± 0.08^a	0.67 ± 0.08^c
Hidalgo B	0.43 ± 0.09^a	0.66 ± 0.08^c
Hidalgo C	0.36 ± 0.10^b	0.68 ± 0.12^c
Hidalgo D	0.30 ± 0.07^c	0.85 ± 0.09^a
Morelos	0.33 ± 0.06^b	0.79 ± 0.08^b
Querétaro A	0.28 ± 0.08^c	0.68 ± 0.10^b
Querétaro B	0.38 ± 0.09^b	0.76 ± 0.10^b
Puebla	0.29 ± 0.07^c	0.79 ± 0.08^b
Oaxaca	0.42 ± 0.08^a	0.84 ± 0.08^a

Cuadro 6. Media y error estándar del ángulo del cuerpo y ángulo de la curvatura para la semilla de *Stenocereus dumortieri*. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa. (Tukey, $P < 0.05$).

Localidad	Ángulo del cuerpo (°)	Ángulo de la curvatura (°)
Zacatecas	331 ± 3.60^a	1.25 ± 14.6^{abc}
San Luis Potosí	337 ± 3.25^a	1.08 ± 9.93^{bc}
Guanajuato	334 ± 4.22^a	1.13 ± 11.1^{abc}
Hidalgo A	333 ± 4.52^a	1.42 ± 11.0^{ab}
Hidalgo B	332 ± 5.85^a	1.43 ± 20.9^{abc}
Hidalgo C	334 ± 6.05^a	1.29 ± 18.7^{abc}
Hidalgo D	333 ± 3.72^a	1.25 ± 17.9^{ab}
Morelos	334 ± 3.88^a	1.29 ± 16.1^{abc}
Querétaro A	334 ± 3.87^a	1.39 ± 20.2^{abc}
Querétaro B	335 ± 4.31^a	1.32 ± 15.3^{abc}
Puebla	333 ± 3.78^a	1.16 ± 13.4^{abc}
Oaxaca	333 ± 4.05^a	1.31 ± 13.0^{abc}

Largo del BHM. Este carácter se definió como la longitud del borde del hilo micropilar (**Figura 6 B**). El carácter varió de 0.63 ± 0.08 mm en la localidad de San Luis Potosí hasta 0.85 ± 0.09 mm en la localidad de Hidalgo D. Este carácter presenta tres grupos estadísticamente diferentes ($p= 0.05$), el primero lo forman las localidades de Oaxaca e Hidalgo D; el segundo lo conforman Querétaro B, Morelos, Puebla y Guanajuato y el tercero por lo integran Zacatecas, Querétaro A, Hidalgo C, Hidalgo A, Hidalgo B y San Luis Potosí (**Cuadro 5**).

Ángulo del cuerpo. Este carácter es el ángulo que se forma entre el punto de alargamiento de la región ventral y el borde de la región micropilar (RHM). El carácter varió de $331^\circ \pm 3.60^\circ$ en la localidad de Zacatecas hasta $337^\circ \pm 3.25^\circ$. Se formó un solo grupo, en el cual están las doce localidades (**Cuadro 6**).

Ángulo de la curvatura. Este carácter es el ángulo que presenta la curvatura de la región ventral de la semilla. El carácter varió de $1.08 \pm 9.93^\circ$ en la localidad de San Luis Potosí hasta $1.43 \pm 20.9^\circ$ en la localidad de Hidalgo B. Este carácter forma tres grupos estadísticamente diferentes ($p= 0.05$). El primero congrega las localidades de Hidalgo D, Hidalgo A, Hidalgo B, Querétaro A, Querétaro B, Oaxaca, Hidalgo C, Morelos, Zacatecas, Puebla y Guanajuato; el segundo grupo está conformado por todas las localidades anteriores junto con San Luis Potosí y el último grupo integrado por todas las localidades excepto por Hidalgo D y Hidalgo A. (**Cuadro 6**).

Análisis canónico discriminante

Los resultados del análisis canónico discriminante para el total de las semillas indican que tres funciones explican el 84% de la variación total. La primera función con un valor característico de 12.72 explicó el 61.47% de la variación, las variables de mayor peso fueron el ancho menor y el largo de la BMH de la semilla (**Cuadro 7**). La segunda función explicó el 14.55% de la variación residual, donde el ángulo de la curvatura y el ancho mayor de la semilla contribuyeron a explicar dicha variación. (**Cuadro 7**). La tercera función explicó el 8.6% de la variación restante, donde la variable ángulo del cuerpo presentó el mayor peso.

En la (**Figura 7**) se muestra la representación gráfica de las dos primeras funciones canónicas, donde se observa una separación de las localidades Hidalgo D (K), Puebla (H), Morelos (G), Guanajuato (E), Querétaro A (D) y Zacatecas (J), de las restantes seis localidades como se confirma por las distancias de Mahalanobis (**Cuadro 8**). Los individuos de las dos primeras localidades mostraron el valor más alto para el carácter ancho menor, mientras que las localidades Hidalgo A (A) e Hidalgo B (B) mostraron el valor menor. Las localidades Hidalgo B (B) y Oaxaca (I) presentaron el valor más alto para el carácter largo de la curvatura, mientras que las localidades Zacatecas (J) y Guanajuato (E) presentaron el mínimo valor. Los individuos correspondientes a las localidades Hidalgo A (A) e Hidalgo B (B) mostraron el mayor valor para el carácter ángulo de la curvatura, mientras que las localidades San Luis Potosí (F) y Guanajuato (E) corresponden a las de menor valor. Las localidades de Morelos (G) y Puebla (H) presentaron el valor más alto para el carácter ancho mayor, mientras que las localidades de Querétaro A (D), Zacatecas (J) e Hidalgo B (B) mostraron el valor menor.

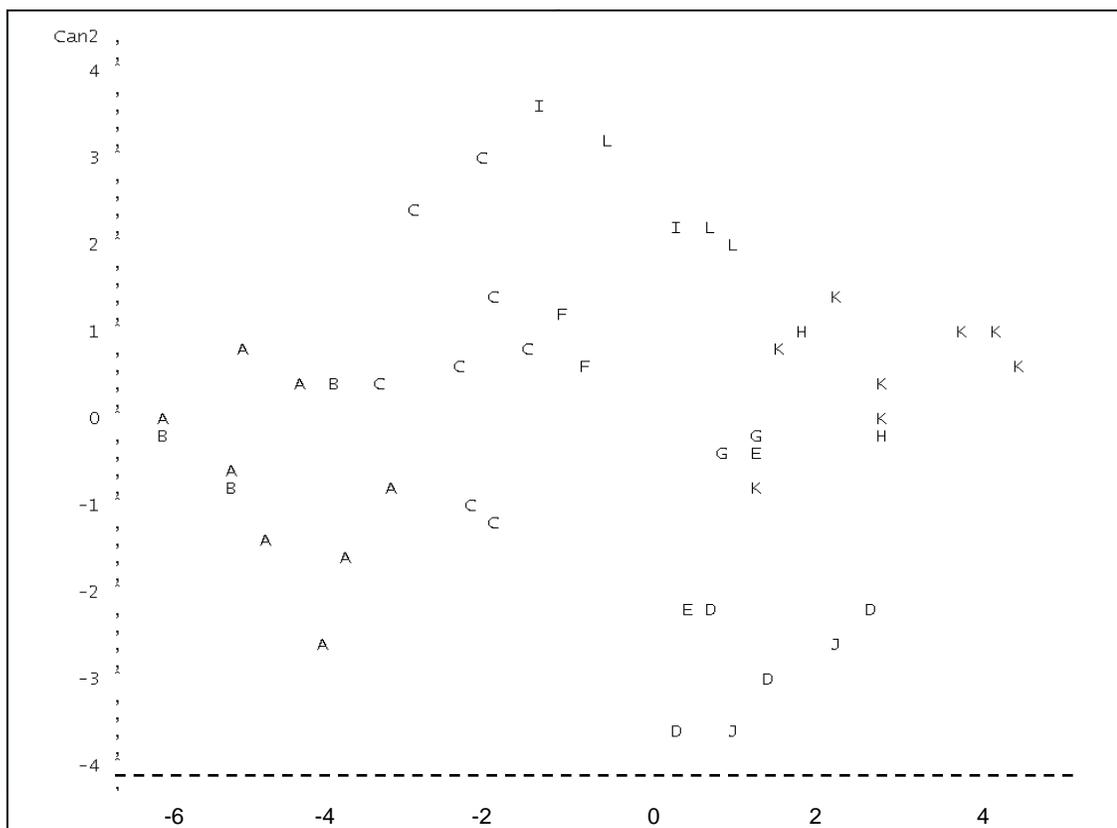


Figura 7 Representación gráfica de las funciones canónicas 1 y 2 a partir de un análisis discriminante canónico por carácter. Cada letra simboliza los promedios para cada localidad de *Stenocereus dumortieri*

Cuadro 7. Eigenvectores correspondientes al análisis canónico discriminante entre caracteres de la semilla de *Stenocereus dumortieri*, utilizados en este estudio. *carácter con alto peso.

Carácter	Función 1	Función 2	Función 3
Largo máximo	-1.66	0.44	0.88
Largo de la base	1.21	-0.21	0.09
Ancho menor	*2.74	3.26	-1.12
Ancho mayor	1.34	*-2.01	1.80
Largo de la RHM	1.21	-1.35	-0.89
Largo del BHM	*-2.32	2.34	-0.83
Ángulo del cuerpo	1.07	0.80	*-1.22
Ángulo de la curvatura	0.31	*-2.41	0.20

Cuadro 8. Distancias cuadradas de Mahalanobis de las localidades de *Stenocereus dumortieri*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A												
B	0.2381											
C	0.0023	0.0037										
D	<.0001	<.0001	<.0001									
E	<.0001	<.001	0.0034	0.0588								
F	0.0015	0.0029	0.4586	0.0025	0.0918							
G	<.0001	<.0001	0.0063	0.0237	0.0791	0.0365						
H	<.0001	<.0001	0.0003	0.0007	0.0367	0.0094	0.5210					
I	<.0001	0.0015	0.0125	0.0002	0.0030	0.0687	0.0225	0.0012				
J	<.0001	<.0001	0.0001	0.1419	0.1412	0.0088	0.0631	0.0256	0.0008			
K	<.0001	<.0001	<.0001	0.0004	0.0320	0.0011	0.1072	0.0288	0.0025	0.0040		
L	<.0001	<.0001	0.0007	0.0003	0.0104	0.0344	0.0055	0.0016	0.0360	0.0002	0.0005	

DISCUSIÓN

La morfología de la semilla para el género *Stenocereus* ha sido estudiada de manera general por Gibson (1991), Barthlott y Hunt (2000), y más recientemente por Arreola (2006) y Arroyo-Consultchi *et al.* (2006). Estos últimos realizaron un estudio sobre la variación morfológica de la semilla para las 22 especies de *Stenocereus*, incluyendo *S. dumortieri*.

En el presente estudio se corroboran varios caracteres descritos previamente, mientras que otros muestran mayor variación a lo descrito. Siguiendo la lista de caracteres del Cuadro 2, los caracteres designados como generales (simetría, color, lustre, escultura multicelular, periferia, quilla y borde de la testa), mostraron ser constantes en su mayoría con lo señalado por Arroyo-Consultchi *et al.* (2006) y Barthlott y Hunt (2000) para *Stenocereus dumortieri*. El color y el lustre fueron descritos como café y brillante, respectivamente, por Barthlott y Hunt (2000), pero en el presente trabajo se encontró que estos atributos fueron negro y mate, respectivamente, coincidiendo con lo reportado por Gibson (1991) y Arroyo-Consultchi *et al.* (2006). Por lo tanto es probable que la muestra utilizada por Barthlott y Hunt (2000) fue incorrectamente identificada. Mis observaciones indican que las semillas inmaduras tienen un color café a diferencia de las semillas maduras que son consistentemente de color negro. Está documentado que el color de la semilla en estado maduro puede ser negro o café; por ejemplo para 12 especies de *Pachycereus*, Arias y Terrazas, (2004) encontraron que sólo dos de ellas mostraron color negro (*P. pringlei* y *P. weberi*), mientras que en las restantes el color varió de café a café oscuro. En *Neobuxbaumia* también se ha reportado variación en el color de la semilla madura; Arroyo-Consultchi *et al.* (2007). encontraron que 5 especies de 9 especies presentaron color negro y mientras que las restantes presentaron color café oscuro. Por lo tanto, se sugiere que es conveniente verificar el color de la semilla en la madurez, a través de diferentes muestras. Cabe señalar que en géneros pertenecientes a otras familias (*Nymphaea*, *Tabebuia*, *Canavalia* y *Gallium*) el color es de gran relevancia como carácter diagnóstico para separar especies (Bonilla-Barbosa 2000; Ferrera y Cunha 2000; Mariño 2007 y Khalik 2008 respectivamente).

La presencia de una quilla y su extensión ha sido utilizada como carácter constante en el reconocimiento de especies, como fue reportado para *Neobuxbaumia* (Arroyo-Consultchi *et al.* 2007), *Pachycereus* (Arias y Terrazas, 2004), *Stenocereus* (Arroyo-Consultchi *et al.* 2006) y en general para la subfamilia Cactoideae (Barthlott y Hunt 2000). Sin embargo en la presente investigación, se encontró que extensión de la quilla es muy variable, ya que puede ubicarse sólo en la región dorsal, extenderse desde la región dorsal hasta la apical, o bien prolongarse hasta la región ventral. Por lo que debe revisarse en muestras múltiples antes de usar como un carácter para distinguir especies con rasgos seminales.

Respecto a la escultura de la testa, se revisó la forma celular en la región lateral. La mayoría de las células son isodiamétricas, corroborando lo descrito por Barthlott y Hunt (2000) Arroyo-Consultchi *et al.* (2006) y), aunque ocasionalmente se observan células alargadas. La forma varía de tetragonal a heptagonal. En otros géneros las células de la región lateral son poligonales y varían de isodiamétricas a alargadas, como lo reportado para *Neobuxbaumia* (Arroyo-Consultchi *et al.*, 2007) y *Pachycereus* (Arias y Terrazas, 2004). Por lo encontrado

en *S. dumortieri* y lo señalado para otros géneros, es evidente que la forma y número de caras varían, dentro de las especies y entre géneros por lo tanto es recomendable que se cuente con muestras múltiples a nivel poblacional y específico para una observación precisa.

Las paredes anticlinales son rectas y acanaladas coincidiendo con lo observado por Arroyo-Consultchi et al. (2006) y Barthlott y Hunt (2000). El relieve acanalado de las paredes anticlinales resulto constante para las 12 localidades de *S. dumortieri*. Para el género *Stenocereus* se ha descrito que el relieve es acanalado para todas las especies (Arroyo-Consultchi et al., 2006); sin embargo para otros géneros como en *Neobuxbaumia* se ha reportado la presencia de relieve acanalado y ligeramente elevado (Arroyo-Consultchi et al., 2007), mientras que en *Pachycereus* se ha reportado como acanalado, a nivel y no conspicuo (Arias y Terrazas, 2004). Por lo tanto, como el relieve de la pared anticlinal es un carácter constante para *S. dumortieri* y otras especies de *Stenocereus*, *Neobuxbaumia* y *Pachycereus*, se puede considerar como un buen carácter taxonómico a nivel genérico. Respecto a los intersticios, éstos son ocasionales, debido a que se observaron sólo en cinco de las 12 localidades; por consiguiente se sugiere revisar muestras múltiples y constatar su presencia como lo señalan Barthlott y Hunt (2000), o su ausencia como lo indican Arroyo-Consultchi et al. (2006).

Al revisar dos caracteres de la estructura de la pared periclinal, en este trabajo se observó que el relieve fue con convexo domos bajos, coincidiendo con lo reportado por Barthlott y Hunt (2000) y Arroyo-Consultchi et al. (2006). Por su parte, el microrelieve fue irregular para las 12 localidades, reconociendo seis patrones para la variación de este carácter: 1) estriaciones finas limitadas al campo anticlinal de la pared, 2) estriaciones gruesas en todos los campos de la pared, 3) estriaciones gruesas sólo sobre el campo anticlinal de la pared, 4) estriaciones muy gruesas en todos los campos la pared, 5) estriaciones muy gruesas sobre el campo anticlinal, y 6) estriaciones muy gruesas y discontinuas en el campo anticlinal de la pared. Arroyo-Consultchi et al. (2006) reportaron que el microrelieve en la pared periclinal es estriado sin hacer especificaciones, mientras que Barthlott y Hunt (2000) reportaron que las estriaciones sólo se presentan en el margen central de la pared periclinal para *S. dumortieri*. Debido a la variación aquí documentada, es necesario revisar con detalle y en muestras múltiples este carácter, cuando se requiera utilizarlo para el reconocimiento de especies. En otros géneros como en *Neobuxbaumia*, la estructura de la pared periclinal es lisa, excepto en *N. polylopha* y *N. squamulosa* quienes presentan estriaciones finas (Arroyo-Consultchi, et al. 2007).

Por último los cuatro caracteres en la región hilo micropilar (RHM) son constantes y coinciden con lo reportado por Arroyo-Consultchi et al. (2006) y Barthlott y Hunt (2000), aunque estos últimos autores señalaron que la forma del complejo HM es de forma oval en *S. dumortieri*, mientras que en este trabajo se observo que su forma es de cerradura, coincidiendo con lo descrito por Arroyo-Consultchi et al. (2006). Por lo tanto, debido a la poca variación encontrada para los caracteres orientación, posición relativa al borde, configuración del hilo y micrópilo y forma del complejo HM, estos caracteres taxonómicos se consideran potencialmente buenos.

Estudios morfométricos de la semilla de *Stenocereus* y en particular de *S. dumortieri* ha sido realizados por Arroyo-Consultchi (2004) a nivel de especie y Aguilar (2004) a nivel de

localidades, respectivamente. Los resultados obtenidos en este trabajo corroboran los presentados por los autores antes señalados. Sin embargo el presente estudio permite reconocer con mayor detalle la amplitud de la variación para ocho caracteres. El largo máximo presentó variación en un gradiente latitudinal, en donde las semillas más largas se encontraron en las localidades sureñas estudiadas (1.94 ± 0.14 mm), las semillas de longitud intermedia se localizaron principalmente en la mayoría de las localidades ubicadas en la región central del área de distribución de la especie, y las más pequeñas se ubicaron en las localidades del norte. Considerando que la curvatura del embrión sigue al eje más largo de la semilla (Barthlott y Hunt, 2000), es probable que las semillas más largas contengan embriones más largos, en particular la región correspondiente al hipocótilo. Aunque no se cuenta con evidencias estrictas sobre longitudes de embriones para *S. dumortieri*, es probable que las semillas más largas contengan un hipocótilo más largo y por consiguiente puedan almacenar más nutrientes y agua. Es probable que la variación en la longitud de las semillas también esté relacionada con la dispersión y establecimiento. Harper (1977) propuso que la planta madre hace una distribución equitativa en los recursos de la progenie. Sugiere que la selección estabilizadora debería favorecer la constancia en el tamaño de la semilla dentro de la especie. Sin embargo esta investigación y otros estudios demuestran que el tamaño de las semillas puede variar dentro de las poblaciones y dentro de los individuos de una especie. Por ejemplo, Ayala-Cordero *et al.* (2004), al estudiar el tamaño y peso de semillas de *S. beneckeii*, concluyeron que la variación en el tamaño de la semilla juega un papel importante en la germinación y establecimiento de plántulas, ya que las semillas más pequeñas presentaron menor porcentaje de germinación respecto a las más grandes. Iglesias *et al.* (2005) señalaron que para la especie *Pinus hartwegii* es muy probable que las especies con semillas de mayor peso y tamaño tengan mayor oportunidad de sobrevivir las primeras fases de su ciclo de vida. Coincidiendo con lo anterior Bonfil (1998) observó que las plántulas provenientes de semillas grandes de *Quercus rugosa* y *Q. laurina* sobreviven en mayor proporción. Muñoz *et al.* (2001) compararon semillas de *Pronus occidentalis* observando que las plantas más vigorosas proceden de semillas grandes.

El largo de la base a la RHM, fue una medición complementaria a la anterior, donde se excluyó la RHM; en consecuencia su comportamiento fue similar al carácter anterior, mostrando que su variación está relacionada con la latitud (**Cuadro 3**). El ancho mayor y el menor no presentaron variación en un gradiente latitudinal (**Cuadro 4**), sin embargo las localidades de Morelos y Puebla mostraron consistentemente las mayores dimensiones para estos dos caracteres. Ambas localidades son parte de la región sur del área de distribución de la especie, mientras que otras localidades del centro y norte mostraron las menores dimensiones.

El ángulo del cuerpo se revela como un carácter con variación continua ya que las localidades se traslapan unas a otras. La variación de este carácter fue tan gradual que las localidades extremas geográficamente se traslapan, según los resultados de la prueba de Tukey; por lo tanto este carácter puede ser potencialmente útil para distinguir especies. Respecto al largo de la RHM, el ángulo de la curvatura y el largo del BHM, mostraron variación discontinua entre localidades, sin mostrar alguna relación latitudinal. Entre estos caracteres, el largo de la RHM ya ha sido utilizado para el reconocimiento de especies de

Pachycereus (Arias y Terrazas, 2004) y *Stenocereus* (Arroyo-Consultchi-Cosultchi *et al.*, 2006), pero a partir de los resultados aquí reportados, se considera que es necesario evaluar muestras múltiples para tener mayor evidencia de la amplitud de su variación.

CONCLUSIONES

En este trabajo se estudiaron caracteres micromorfológicos y métricos en la semilla de *Stenocereus dumortieri*, con el propósito de entender la variación de estos caracteres y su significado taxonómico.

Los resultados micromorfológicos fueron:

- 1) La periferia presenta una quilla que varía en su extensión, ya que puede ubicarse sólo en la región dorsal, extenderse desde la región dorsal hasta la apical, o bien prolongarse hasta la región ventral.
- 2) En la escultura de la testa, la forma de la célula en la región lateral mostró que la mayoría de las células son isodiamétricas, aunque ocasionalmente se observan células alargadas, con forma variable de tetragonal a heptagonal.
- 3) En la estructura de la pared periclinal, el relieve fue constante, pero el microrelieve fue irregular para las 12 localidades, reconociendo seis patrones para la variación de este carácter.

Los caracteres métricos mostraron que:

- 4) El largo máximo de la semilla presentó variación en un gradiente latitudinal, ya que las semillas más largas se encontraron en las localidades sureñas del área de distribución de la especie, las semillas de longitud intermedia se localizaron principalmente en localidades de la región central, mientras que las más pequeñas se ubicaron en las localidades norteñas. El largo de la base a la RHM, mostró un comportamiento similar al largo máximo. Considerando lo anterior es posible que los embriones más largos se localicen en la región sur de la distribución para esta especie.
- 5) El largo de la RHM, el ángulo de la curvatura y el largo del BHM mostraron variación discontinua entre localidades, mientras que el ángulo del cuerpo se revela como un carácter con variación continua ya que las localidades se traslapan unas a otras.

LOS caracteres cualitativos como la forma de la semilla, color, lustre, escultura multicelular, la curvatura de la pared anticlinal, relieve del borde de la pared anticlinal, el relieve de la pared periclinal, los cuatro caracteres de la región hilo-micropilar, así como el ángulo del cuerpo, mostraron variación continua para esta especie. Por lo tanto se trata de caracteres que se deben seguir utilizando en las diagnósis y/o descripción de las especies. Adicionalmente, se sugiere tomar muestras múltiples de las especies para tener una mayor información sobre la variación de la estructura de la semilla, y así poder determinar que caracteres son útiles o no, taxonómicamente.

LITERATURA CITADA

- Aguilar M. I.** 2004. Variación morfológica de *Stenocereus dumortieri* (Cactaceae) Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma .
- Akbari R. S. y Azizian D.** 2006. Seed morphology and seed coat sculpturing of *Epilobium* L. species (Onagraceae Juss) from Iran. Turkish Journal of Botany 30: 435-440.
- Anderson E. F.** 2001. The Cactus Family. Timber Press. Portland.
- Arias S.** 1993. Cactáceas: conservación y diversidad en México. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 44:109-115.
- Arias S.** 1998. La sistemática de cactáceas en México, breve recuento y perspectivas. Boletín de la Sociedad Botánica de México 63:153-165.
- Arias S. y Terrazas T.** 2004. Seed morphology and variation in the genus *Pachycereus* (Cactaceae). Journal of Plant Research 117: 277-289.
- Arias S., Guzmán U., Mandujano M.C., Soto M., Goluvov J.** 2005. Las especies de cactáceas en peligro de extinción I. Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001(México), la lista roja (UICN) y CITES. Cactáceas Suculentas Mexicanas 50:100-125.
- Arreola H. J.** 2006. Sistemática filogenética del género *Stenocereus* (Cactaceae). Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Arroyo-Consultchi G., Terrazas T., Arias S. y Arreola-Nava, H.** 2006. The systematic significance of seed morphology in *Stenocereus* (Cactaceae). Taxon 55: 983-992.
- Arroyo-Consultchi G., Terrazas T., Arias S. y López-Mata L.** 2007. Morfología de la semilla en *Neobuxbaumia* (Cactaceae). Boletín de la Sociedad Botánica de México 81:17-25.
- Ayala-Cordero G., Terrazas T., López-Mata L. y Trejo C.** 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. Interciencia 12:962-967.
- Backeberg C.** 1938. Zur Systematischen Uebersicht. Blätter für Kakteenforschung 6: s.n
- Barthlott W. y Voit G.** 1979. Mikromorphologie der Samenschale und Taxonomic der Cactaceae: Ein raster-elektronenmikroskopischer Überblick. Plant Systematic and Evolution 132: 205-229.
- Barthlott W. y Hunt D.** 1993. Cactaceae. 161-197. en Kubitzki, K. (Ed.) The Families and Genera of Vascular Plants. Springer-Verlag. Berlin, Alemania.

- Barthlott W. y Hunt D.** 2000. Seed diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae. *Succulents Plant Research* 5: 1-173.
- Begon M., Harper J. L. y Townsend C. R.** 1990. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3d ed. Blackwell Scientific, Oxford.
- Berger A.** 1905. A systematic revision of the genus *Cereus*. *Annual Report of the Missouri Botanical Garden* 16: 57-86.
- Bewley J.D.** 1997. Seed germination and dominance. *The plant cell* 9: 1055-1066.
- Bewley J.D. y Black M.** 1986. *Seed. Physiology of development and germination*. Plenum Press, New York.
- Bonfil S.C.** 1998. Dinámica poblacional y regeneración de *Quercus rugosa* implicaciones para la restauración de bosques de encinos. Tesis de Doctorado en Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México
- Bonilla-Barbosa J. A., Novelo O., Hornelas Y. y Márquez-Guzmán J.** 2000. Comparative seed morphology of Mexican *Nymphaea* species. *Aquatic Botany* 68:189-2004.
- Bravo-Hollis H.** 1978. *Las cactáceas de México. Vol. I.* Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Brisson J. R. y Peterson R. L.** 1976. A critical review of the use of scanning electron microscopy in the study of the seed coat. In: *Scanning Electron Microscopy, Part. VII. Proceeding of the workshop on Plant Science Application of the SEM*. Chicago: Research Institute. 477-495.
- Britton N. L. y Rose J. N.** 1909. The genus *Cereus* and its allies in North America. *Contributions from the United States National Herbarium* 12:413-437.
- Buxbaum F.** 1955. *Morphology of cacti. Section III. Fruits and seeds*. Abbey Garden Press. Pasadena.
- Buxbaum F.** 1958. The phylogenetic division of the subfamily Cereoideae, Cactaceae. *Madroño* 14:177-206.
- Buxbaum F.** 1961. Die Entwicklungslinien der Tribus Pachycereae—F. Buxb. *Botanische Studien* 12:1-107.
- Chamberland M.** 1997. Systematics of the *Echinocactus polycephalus* complex (Cactaceae). *Systematic Botany* 22: 303-313.
- Cuadras M. C.** 1996. *Métodos de análisis multivariante*. Editorial Universitaria de Barcelona, Barcelona.
- Donoso C., Premoli A., Gallo L. y Ipinza R.** 2004. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Ed. Universitaria. Santiago de Chile.

- Edwards A. F.** 1994. The fundamental theorem of natural selection. *Biological Review* 69: 443-474.
- Elizondo E. J., Valdes R. J, Arias S. y Hatch S. L.** 1994 Micromorfología de las semillas de algunas especies de la tribu Cacteeae (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 39: 59-67.
- El-Enain A. M., Loufty M. A. y Saeta A. A.** 2007. Seed surface characters and their systematics significance in the genus *Lathyrus* (Leguminosae, Papilionoideae, Vicieae) *InterScience* 118:269-285.
- Fagundez J. e Izco J.** 2004. Seed morphology of *Calluna Salib* (Ericaceae). *Acta Botanica Malacitana* 29: 215-220.
- Flores V. E.** 1973. Algo sobre la morfología y anatomía de semillas de cactaceae. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Flores E. M. y Engelmann E. M.** 1976. Apuntes sobre anatomía y morfología de cactáceas. 1 Desarrollo y estructura. *Revista de Biología Tropical* 24: 199-227.
- Ferreira R. A. y Cuhna M. C.** 2000. Aspectos morfológicos de sementes, plântulas e desenvolvimento da muda de craibeira (*Tabebuia cariaba* (Mart.) Bur.)- Bignoniaceae e pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.) Apocynaceae. *Revista Brasileira de Sementes* 22:134-143.
- Foster H. L.** 1991. Ecological implications of genetic variation in plant populations. En D.A. Falk y K. Holsinger (Eds). *Genetics and conservations of rare plants*. Oxford University Press, Inc. Nueva York.
- Gibson A. C. y Horak K. E.** 1978. Systematic anatomy and phylogeny of Mexican columnar cacti. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 65: 999-1057.
- Gibson A. C.** 1991. The Systematics and evolution of subtribe Stenocereinae. *Stenocereus dumortieri* versus *Isolatocereus dumortieri*. *Cactus and Succulent Journal (U.S.)* 63: 184-190.
- Godínez A. H. y Ortega B. P.** 2007 Mexican cactus diversity: environmental correlates and conservation priorities. *Boletín de la Sociedad de Botánica de México*. 81:81-87.
- Goettsch B. y Hernandez H.M.** 2006. Beta diversity and similary among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Enviroment* 65:513-528.
- Gunn C. R.** 1981. Seed of Leguminosae. In R. M. Polhill and P. H. Raven, eds. *Advances in legume systematics*. Kew, England, Royal Botanical Garden, p.913-923.
- Guzmán U., Arias S. y Dávila P.** 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México y CONABIO. México D.F.

- Hair F.J., Anderson E. R., Tatham L. R. y Black C. W.** 1999. Análisis multivariante. Prentice Hall, Madrid.
- Hartl D. y Clark A.** 1997. Principles of population genetics. Sinauer Associates Inc. Publishers Sunderland Massachusetts.
- Harper J. L.** 1977. The population biology of plants Academic Press London.
- Hernández H. M. y Bárcenas R. T.** 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert. I. Distribution patterns. Conservation Biology 9, 1176–1190.
- Hernández, H. M. Bárcenas, R. T.** 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert. II. Biogeography and Conservation. Conservation Biology 10, 1200–1209.
- Hernández H., Gómez-Hinostrosa C. y Bárcenas R.** 2001 Diversity, spatial arrangement, and endemic of Cactaceae in the Huizache area, a hot spot in the Chihuahuan Desert. Biodiversity and Conservation. 10: 1097-1112.
- Hernández H. Gómez-Hinostrosa C. y Goettsch B.** 2004. Check list of Chihuahuan Desert Cactaceas. Harvard Papers in Botany 9: 51-68.
- Hunt D. R.** 1992. CITES. Cactaceae Checklist. Royal Botanic Gardens Kew and International Organization for Succulent Plant Study. Whitstable Litho Ltd. Kent.
- Hunt D. R.** 1999. CITES. Cactaceae Checklist. 2da. ed. Royal Botanic Gardens Kew and International Organization for Succulent Plant Study, Milbourne Port.
- Iglesias L., Mora I. y Casas J. L.** 2005. Morfometría, viabilidad y variabilidad de las semillas de la población de *Pinus hartwegii* del Cofre de Perote. Veracruz, México. Cuadernos de Biodiversidad 19: 1-22.
- Jiménez S. C. y Figueroa J. L.** 2004 *Isolatocereus dumortieri* (Scheidw.) Backeb. Cactáceas y Suculentas. Mexicanas 49:3.
- Johnson D. E.** 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International. Thomson Editores, México, D.F.
- Juan R., Pastor J. y Fernandez J.** 1996. Estudio de frutos, semillas y morfología polínica de *Pedicularis sylvatica* L. subsp. *lusitanica* (Hoffmanns. & Link) Cout. (Scrophulariaceae). Anales del Jardín Botánico de Madrid 54: 312-318.
- Kattermann F.** 1994. SEM observations of seed in the genus *Eriosyce* Haseltonia 2: 47-60.
- Khalik K.A., El-Ghani M.A. Kordy A. E.** 2008. Fruit and seed morphology in *Galium* L. (Rubiaceae) and its importance for taxonomic identification. Acta Botanica Croatica 67: 1-20.
- Leuenberger B.** 1974. Test surface characters of Cactaceae. Preliminary results of a Scanning Electron Microscope studies. Cactus and Succulent Journal (U.S.) 46: 175-180.

- Mariño N., Escala M., Cerovich de Miranda M. y Ramis C.** 2007. Características morfológicas cualitativas y cuantitativas en semillas de algunas especies del género *Canavalia*. Revista de Facultad de Agronomía (Maracay) 33: 55-76
- Martínez-Avalos J. G. y Jurado E.** 2005. Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas, Mexico. Biodiversity and Conservation 14: 2483-2506.
- Media Cybernetics.** 1997. Image_Pro Plus Reference Guide for Windows. Media Cybernetics, Silver Spring.
- Meiseet A., Schulz D. y Lehmann H.** 2001. The ultrastructure and development of the light line in the Geraniaceae seed. Plant Biology 3: 351-356.
- Metzing D. y Thiede J.** 2001. Testa sculpture in the genus *Frailea* (Cactaceae) Botanical Journal of the Linnean Society 137: 65-70.
- Moro F., Pinto A., Dos Santos J. y Damiao F.** 2001. A scanning electron microscopy study of the seed and post-seminal Development in *Angelonia salicariifolie*. Bonpl. (Scrophulariaceae) Annals of Botany 88: 449-506.
- Muñoz A. F.** 1995. Morfología de las semillas de las especies del genero *Trifolium* de la Península Ibérica. Lazaroa 15: 131-144.
- Muñoz B.; Sánchez J.; Montejo I. y Herrera-Peraza, R.** 2001. Características morfológicas y fisiológicas de semillas de *Pronus occidentales*: comparación entre especies de diferentes estrategias sucesionales. Ecotropicos 14:1-10.
- Peralta E. I.** 1996. Valor taxonómico de los caracteres de la semilla en *Calandrina* sensu lato (Portulacaceae). Multequina 5: 91-110.
- Pérez-Cortéz S., Tillet S. y Escala M.** 2002. Estudio morfológico de la semilla de 51 especies del género *Passiflora*. Acta. Botánica Venezolana 25: 67-96.
- Ramírez L. y Egaña B.** 2003. Guía de conceptos de genética cuantitativa. Universidad Pública de Navarra. Navarra.
- SAS Institute.** 1989. SAS User's Guide. Statistics. SAS Institute Inc., Cary.
- Segarra J. G. y Mateu J.** 2001. Seed morphology of *Linaria* species from eastern Spain identification of species and taxonomic implication. Botanical Journal of the Linnean Society. 135: 375-389.
- Stebbins G. L.** 1950. Variation and evolution in plants. Columbia University Press. New Cork.
- Taylor N.P. and Gibson, A.C.** 1994. Proposal to conserve *Stenocereus* against *Rathbunia* (Cactaceae). Taxon 43: 129-131.

-
- Terrazas T. y Loza-Cornejo S.** 2001. Phylogenetic relationships of Pachycereeae: a cladistic analysis based on anatomical-morphological data. En: T.H. Fleming y A. Valiente-Banuet (eds.) Evolution, ecology and conservation of the columnar cacti and their mutualists. Arizona Univeristy Press.
- Terrazas T., Loza-Cornejo S. y Arreola-Nava H.** 2005. Anatomía caulinar de las especies del género *Stenocereus*. Acta Botánica Venezuelica 28: 331-336.
- Torres R.** 2003. Biología de la polinización de *Stenocereus dumortieri* (Cactaceae: Pachycereeae) en el valle de Tehuacan y limite sur del desierto Chihuahuense. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Turki Z., El-Shayeb F. y Shehata F.** 2008. Biosystematics studies of *Bassia muricata* complex. Acta Botanica Hungarica 50: 1-2
- Zeng C., Wang J. B., Liu A. y Ming X.** 2004. Seed coat microsculpturing changes during seed development in diploid and amphidiploid *Brassica* species. Annals of Botany 93: 555-566.