



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

VARIABILIDAD EN EL TAMAÑO DE SEMILLAS DE
STENOCEREUS ZOPILOTENSIS (CACTACEAE)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

MARIO CARRILLO ARAUJO



**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. TERESA MARGARITA TERRAZAS SALGADO
(2011)**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

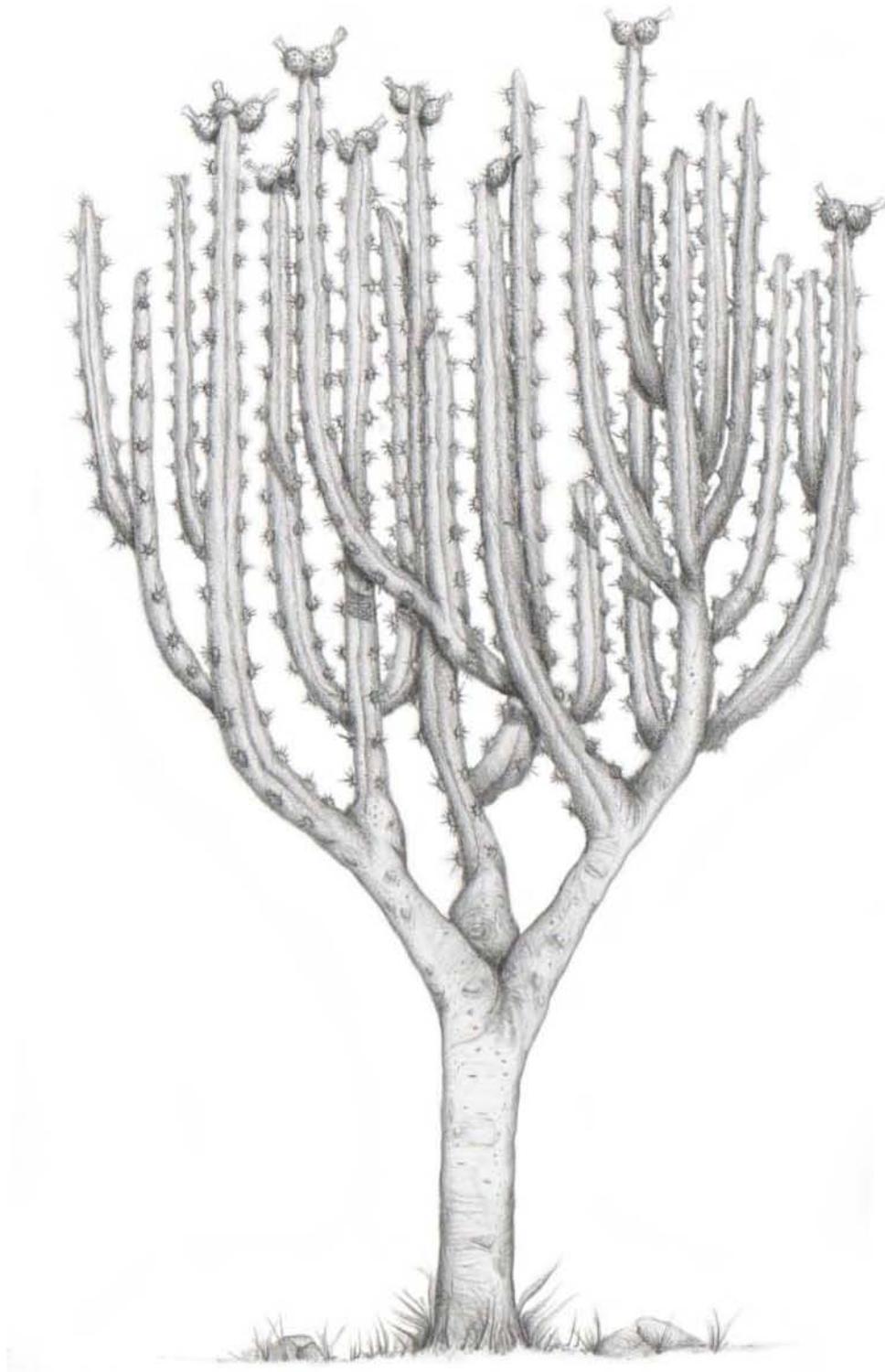
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de datos del Jurado

1. Datos del alumno
Carrillo
Araujo
Mario
56 81 67 24
Universidad Nacional Autónoma México
Facultad de Ciencias
Biología
09808074-0
2. Datos del Tutor
Dra.
Margarita Teresa
Terrazas
Salgado
3. Datos del Sinodal 1
Dra.
Léia
Akcerlrad
Lemer
4. Datos del Sinodal 2
Dr.
Salvador
Arias
Montes
5. Datos del Sinodal 3
Dra.
Guillermina
Munguía
Sánchez
6. Datos del Sinodal 4
Biól.
Gabriel
Olalde
Parra
7. Datos del trabajo escrito
Variabilidad en el tamaño de semillas de *Stenocereus zopilotensis* (Cactaceae)
60p
2011



*A Reyna Araujo Ramírez
y Christian Unterspann*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia a mis hermanos a quienes quiero mucho: Antonio, Gabriela (también por ayudarme en el campo) a Raimundo, Pablo, Alejandro, un agradecimiento especial a mi padre y a mis sobrinos a Mauricio, Laura, Karen, Luis, Pablo Valeria, Tona, Gael, Lorena, Arantza, Raymundo, Ashley y Alejandro, por formar parte de mi vida.

A mis compañeros del CCH-SUR a quienes recuerdo con gran cariño y bueno a muchos ya no veo pero están en mi pensamiento, a los pollos (Isabel, Ardarel, Abril, Ulises, Nicolás, Sergio, Paco, Hugo, Jonathan, Rafael) con quienes compartí muchas aventuras y quienes estarán siempre en mi pensamiento. También en el CCH dentro del CEZ a Marguie, Verónica, Bris, Elisa, Fabiolas, Paris, Iván, Arisbeth, Raquel y Maribel, Lizbeth, Españolote y todos los que me faltan; un agradecimiento especial a Meztli Tunalli a quien llevo siempre como mi mujer alada.

Dentro del grupo del Maguey agradezco a Raúl, Alejandro, José Luis, Othón, Claudia, Oscar, Luis, Jina, Erick, Hiwi, Jaime y Andrés Ocampo Palacios a quienes aprecio mucho.

A mis compañeros de trabajo en el DIF, a Liliana Ventura por supuesto, a quien le agradezco su ayuda con mi mapa a Benjamín Moreno por ser un gran amigo a la Sra. Alejandra por apoyarme, a mi jefa Adriana Landín, también a mis compañeros en el Acuario Aragón Uri, Paco y Hugo.

A mis compañeros en Ciencias y del Universum a Edgar por ayudarme con mis análisis gracias amigo, a Jessica Huelgas por tu gran apoyo a Ángel a mis Chuletas (Geli y Christina) a Liliana y Marisol por hacerme reír a Christian aunque desaparezca, a Miguel por tus ocurrencias y chistes a Berenice por escucharme siempre y en todo momento, Nohemí, Nahiely a Jaime, Ricardo y Esther, Juan Carlos y a todas las personas que ahora no recuerdo pero que saben que las quiero.

Agradezco también a mis maestros a Rosaura Mayen, quién es una gran persona, y una excelente profesora, a Osiris con quien compartí un gran taller, al Dr. Salvador por darme animo a Dra. Guille por sus consejos y por supuesto a la Dra. Teresa por aguantarme en este tiempo.

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	10
ANTECEDENTES	15
LAS SEMILLAS.....	15
LAS SEMILLAS EN CACTÁCEAS.....	17
LA TRIBU PACHYCEREEAE.....	21
LA SUBTRIBU STENOCEREINAE.....	22
VARIABILIDAD DEL GÉNERO <i>STENOCEREUS</i>	23
<i>STENOCEREUS ZOPILOTENSIS</i>	25
OBJETIVO	28
OBJETIVOS PARTICULARES.....	28
MATERIAL Y MÉTODO	29
TRABAJO DE CAMPO.....	30
MARCAJE DE LOS INDIVIDUOS.....	31
TRABAJO EN EL LABORATORIO.....	31
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	33
RESULTADOS	33
CARACTERES CUALITATIVOS DE LAS SEMILLAS.....	34
CARACTERES CUANTITATIVOS DE LAS SEMILLAS.....	35
LOS FRUTOS.....	36

LAS RAMAS.....	38
LOS ÁRBOLES.....	39
DISCUSIÓN.....	42
VARIACIÓN.....	43
ÁRBOLES.....	43
RAMAS.....	45
FRUTOS.....	44
COMPARACIÓN CON OTRAS ESPECIES DE STENOCEREUS.....	46
COMPARACIÓN CON OTRAS CACTÁCEAS.....	48
MORFOMETRÍA.....	48
MORFOLOGÍA DE LA TESTA.....	49
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52

CUADRO	ÍNDICE DE CUADROS	PÁGINA
1	Valores de la tendencia central y de la dispersión de las semillas de <i>Stenocereus zopilotensis</i> .	31
2	Valores de la media y una desviación estándar para cuatro caracteres de las semillas en los frutos de los individuos de <i>Stenocereus zopilotensis</i>	33
3	Valores de la media, una desviación estándar y los mínimos y máximos para cuatro caracteres de la semillas en ramas de cinco individuos de <i>S. zopilotensis</i>	35
4	Valores de la media y una desviación estándar para cuatro caracteres de la semillas en individuos de <i>S. zopilotensis</i>	36
5	Coefficientes de correlación entre largo, ancho, radio y RHM de las semillas para <i>Stenocereus zopilotensis</i>	37
6	Análisis de devianza de las semillas para los niveles de fruto, rama e individuo de <i>Stenocereus zopilotensis</i>	38
FIGURA	ÍNDICE DE FIGURAS	
1	<i>Stenocereus zopilotensis</i> en Guerrero. A. individuo con bolsas de organza. B; ápice de una rama. C; botones florales. ; D flor que no fue fertilizada. E y F; frutos en desarrollo.	23
2	Mapa de la República Mexicana donde se muestra el estado de Guerrero, el municipio de Tepecuacuilco y la zona de muestreo de <i>Stenocereus zopilotensis</i>	26
3	Fotografía de porta objetos con semillas adheridas para su observación en el microscopio estereoscópico de dos diferentes individuos	28
4	Partes y medidas de <i>Stenocereus zopilotensis</i> , a) largo; b) ancho; c) RHM; d) área de toda la semilla	29
5	Histogramas, cajas y bigotes para: A. Largo, B. Ancho, C. Región Hilo Micropilar D. Área de la semilla de <i>Stenocereus zopilotensis</i>	32

VARIABILIDAD EN EL TAMAÑO DE LAS SEMILLAS DE *STENOCEREUS ZOPILOTENSIS* (CACTACEAE)

RESUMEN

El tamaño de la semilla es un carácter que se ha observado, está en constante variación en todas las plantas. Dentro de las angiospermas esta variación se encuentra alrededor de los 11.05 órdenes de magnitud, varios estudios han propuesto diversas causas para explicar esta variación, la cual se ha reportado dentro de la misma especie, así como también, a nivel de inflorescencias, frutos, ramas o la posición en la que se encuentran en el individuo. En este trabajo se describió, analizó y comparó la variación morfométrica en la semilla de *Stenocereus zopilotensis* Arreola-Nava y Terrazas; a nivel de rama, del fruto y del individuo. Los resultados mostraron que todos los niveles aportan variación al tamaño de la semilla. Sin embargo, el nivel que aportó más a la variabilidad del tamaño de la semilla fue el individuo, seguido del fruto y de la rama. Pero no todas las variables se comportaron de la misma forma ya que, en la variable largo de la región hilo micropilar, el segundo nivel que aportó más después del individuo, fue la rama. Las semillas de *Stenocereus zopilotensis* presentaron una media de largo de 2.80 mm, ancho de 2.08 mm, RHM de 1.71 mm, y el área fue de 9.33 mm². El tamaño de la semilla comparado con otros miembros de Cactoideae está considerado como semillas grandes y junto con *S. beneckeii* y *S. fricii* son las semillas más grandes del género *Stenocereus*.

ABSTRACT

Seed' size is a character that has shown constant variation in all plants. In angiosperms, this variation is about 11.05 orders of magnitude and some studies have proposed several causes to explain this. These had been reported at level of species as well as at level of the inflorescence, fruit, branch and the position in that it is found in an individual. This work describes, analyzes and compares the morphometrical variation in the *Stenocereus zopilotensis* Arreola-Nava and Terrazas' seed at branch, fruit and individual levels. The results show that all level provides variation to the size of the seed. However, the level that gives more seed size variability was the individual, followed by the fruit and the branch ones; but not all the variables presented the same behavior, since the variable large of hillum micropylar region was the second after the individual at the branch level. *Stenocereus zopilotensis*' seed presents a mean of 2.80 mm length, 2.08 mm width, 1.71 mm in the hillum micropylar region, and 9.33 mm² area. Seed size of *Stenocereus zopilotensis* compared with other members of Cactoideae is considered a big seed. Together with *S. benekei* and *S. fricci*, *Stenocereus zopilotensis*' seed is the biggest of the genus *Stenocereus*.

INTRODUCCIÓN

Las semillas son el resultado del proceso de reproducción, por consiguiente son el óvulo fecundado y maduro que contiene al esporofito embrionario; además presentan sustancias de reserva y están cubiertas por una testa (Espinosa-Osorio y Engleman, 1998). La semilla procede del desarrollo del óvulo y el origen de sus distintas partes puede remontarse hasta las distintas partes y tejidos del óvulo de la flor (Besnier, 1989). Las semillas, por otra parte, permiten la preservación de las especies, su multiplicación, dispersión y variación, así como nuevas colonizaciones.

La variación en las plantas se debe principalmente a su respuesta plástica hacia el ambiente, como a la acción de la selección natural que moldea poblaciones localmente adaptadas, tomando como base el acervo de variación genética contenida en las especies (Heslop-Harrison, 1964). La variabilidad es la responsable de la capacidad que tiene una especie para sobrevivir, dispersarse y ampliar su distribución. Los factores ambientales tienden a influir más sensiblemente sobre los caracteres vegetativos que sobre los reproductivos. (Jones, 1988).

El tamaño y el peso de las semillas en angiospermas puede variar sobre una amplitud de los 11.5 órdenes de magnitud (Moles *et al.*, 2005). Se han registrado valores extremos registrados para el peso de las semillas de orquídeas como *Goodyera repens* (0.000002 g) y al otro extremo por la palmera cocotera *Lodoicea maldivica* (27000 g) (Harper *et al.*, 1970). Algunos autores han agrupado a las plantas de acuerdo a las características de sus semillas. Por ejemplo, el griego Theophrastus distinguió entre dicotiledóneas y monocotiledóneas de acuerdo a las características de las semillas y las hojas; Corner (1976) sugiere que el tamaño en semillas de dicotiledóneas varía de 0.01 mm hasta cerca de 100 mm; además señala que el tamaño de las semillas primitivas para los árboles con flores puede encontrarse entre los 5-10 mm, incluso llegar hasta los 15 mm. Con base en su teoría del “Durio” sugiere dos categorías de semillas; las megaspermas, que se encuentran en especies de las familias Annonaceae, Bombacaceae, Burseraceae, Connaraceae, Dipterocarpaceae, Ebenaceae, Fagaceae, Guttiferae, Lauraceae, Lecythidaceae, Myristicaceae, Palmae y Sapotaceae, y la categoría de las microspermas, en la cual agrupa a Asclepiadaceae, Asteraceae, Ericaceae, Hypericaceae, Melastomaceae, Silicaceae y Urticaceae (Corner 1949). Stuppy (2001) menciona que Vaupel en 1923 considero que las semillas son suficientes para dividir a la familia Cactaceae en dos

subfamilias: Malacospermae (incluyendo Cereoideae y Pereskioideae) y Sclerospermae (Opuntioideae), por la forma de las semillas, distinguiéndose las segundas por su tamaño y dureza.

Dentro de algunas familias sin embargo, existe una gran variación en el tamaño y forma de las semillas; esto es evidente en leguminosas (Harper *et al.*, 1970). Aunque no se sabe con exactitud cuáles son los factores que más contribuyen a explicar la variación en la evolución del tamaño de las semillas, se han propuesto diversas causas que explican esta variación. Sin embargo éstas pueden agruparse en dos tipos: (1) Los factores extrínsecos a las especies como son las condiciones ambientales a las que está expuesta la especie y que se han relacionado más con la variación interespecífica y (2) los factores intrínsecos en la especie, limitados por la reproducción y la historia de vida de las especies (Venable, 1992; Westoby *et al.*, 1996; Alonso-Blanco *et al.*, 1999; Moles *et al.*, 2005b).

El tamaño de la semilla exhibe un patrón global reduciéndose por 2 ó 3 órdenes de magnitud entre el ecuador y los 60° de latitud (Moles y Westoby, 2003). Para entender este patrón se han planteado varias explicaciones; por ejemplo, Salisbury (1942) menciona la teoría de que plantas que se encuentran en los trópicos presentan semillas más grandes debido a que éstas tienen que competir por la luz, por largos periodos de tiempo; es por esta razón, que él argumenta que estas semillas presentan un mayor tamaño. Por otro lado, Bawa (1980) propone que en las plantas dioicas de los trópicos, que son más comunes como árboles y arbustos están asociadas con la producción de semillas más grandes en estas formas de vida y comunidades ya que muchas de estas plantas tienen que ofrecer una “compensación” para su dispersión. Muy similar a esta idea Wilson *et al.* (1990) y Lord (1994) sugieren que el tamaño de la semilla está relacionado con el síndrome de dispersión

que éstas presentan; proponen que plantas que son dispersadas por vertebrados son más grandes, que aquellas que son dispersadas por factores como el viento.

Otra de las teorías para explicar el tamaño de la semilla sugiere que plantas, que en su historia de vida presentan desarrollos largos, presentan semillas más grandes que especies que presentan desarrollos y estados juveniles cortos (Eriksson y Ehrlén, 1991; Mole y Westoby, 2003).

Sin embargo, las divergencias en el tamaño de las semillas al parecer han sido constantes a través del tiempo, ya que no se han encontrado grandes cambios que contribuyan a la radiación del tamaño de las semillas (Harper *et al.*, 1970; Moles *et al.*, 2005a). Moles *et al.* (2005b) señalan que en trabajos acerca de la filogenia y una extensa comparación de datos (12,987 especies de plantas) se ha encontrado que el más importante cambio en el tamaño de las semillas fue la divergencia entre gimnospermas y angiospermas y dentro de estas últimas en las familias Celastraceae y Parnassiaceae. Esta variación también se asocia más con la forma de crecimiento que con divergencias como podrían ser los síndromes de dispersión o la biogeografía de las plantas (Moles *et al.*, 2005b). Aun así estas teorías no son mutuamente excluyentes y pueden contribuir de manera conjunta a la evolución en la talla de la semilla, como se encontró en el trabajo de Moles *et al.* (2007) quienes observaron que hay una relación más fuerte entre el gradiente latitudinal y la masa de las semillas en árboles con desarrollos juveniles largos, que en formas de vida arbustiva o herbácea, planteando que el tamaño de la planta, junto con el tamaño de la semilla son el resultado de una serie de variables en la historia de vida.

Por otra parte, en una planta el número de semillas producido es determinado por cuántos nutrientes asimiló en su periodo post-reproductivo y seguido por cuántos de estos recursos están destinados para la producción de semillas; además de cuánto va a invertir el

individuo en cada semilla (Harper *et al.*, 1970). Muchos autores han encontrado una gran variabilidad en el tamaño de las semillas dentro de diferentes niveles y han tratado de dar diferentes explicaciones a esta variación.

Desde una perspectiva ecológica se ha tratado de explicar que las plantas, de acuerdo a la estrategia que utilizan para su éxito, pueden conducirse por dos tipos de estrategias; por un lado existen las plantas dentro de la estrategia 'r' que están adecuadas a ser plantas pioneras, por tanto su éxito en la colonización es muy alto, producen muchas semillas y el costo en reservas es muy bajo; por otro lado están las plantas de estrategia 'K' que presentan un bajo esfuerzo reproductivo, por lo regular son plantas de sucesión secundaria y el costo en reservas es muy alto (MacArthur y Wilson, 1967). Así también, se ha encontrado en muchos trabajos una correlación negativa entre el número de semillas por fruto y el tamaño de las semillas, como también una relación entre la pulpa del fruto y el tamaño de las semillas. Así, la selección natural "confiere" estrategias reproductivas a cada especie, estos son un grupo de rasgos necesarios para la supervivencia de la planta y el flujo de estos genes a las próximas generaciones, donde éstos aportan una solución sobre una serie de eventos por los que pasa la planta, como son el tamaño en el cual la reproducción podría comenzar, la subsecuente frecuencia y regularidad de la reproducción, el aumento de recursos necesarios para cada ocasión, y el tamaño y número de semillas producidos (Fenner y Thompson, 2005).

Y aunque en la familia Cactaceae han sido estudiados algunos aspectos sobre la biología reproductiva, aún no está claro qué factor contribuye más al tamaño de las semillas; por ejemplo el fruto, la rama, la planta o la especie.

El género *Stenocereus* se caracteriza porque sus especies son comúnmente candelabriformes y algunas de ellas están sujetas a diferentes grados de manejo agro-

silvícola (Casas *et al.*, 1999). Se ha evaluado la contribución de la micro-morfología de la semilla y su tamaño para apoyar el reconocimiento de sus especies (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2006). Recientemente se demostró que para *S. dumortieri* algunos aspectos de la micro-morfología y del tamaño pueden ser variables dentro de esta especie con amplia distribución geográfica (Hernández-Morales, 2009). Por lo que evaluar la variación del tamaño de la semilla en la especie *S. zopilotensis*, recientemente descrita en este género y cuya distribución está restringida a la Cuenca del Balsas en el estado de Guerrero, contribuirá al conocimiento de la variación de la semilla de *Stenocereus* y de la propia especie, así como su comparación con otros grupos dentro de la familia.

ANTECEDENTES

LAS SEMILLAS

Las semillas presentan formas y tamaños diversos; la superficie de la cubierta puede ser lisa o esculpida (Benson, 1959); en unas los tegumentos se alargan para formar una ala papirácea o translúcida (Niembro, 1989); otras están cubiertas por pelos aislados o agregados a manera de una masa algodonosa; pueden tener un simple peinado de pelos en uno o ambos extremos o bien una excrecencia carnosa (arilo) del funículo o de la placenta. En algunas especies acuáticas el arilo envuelve al embrión como una bolsa (Benson, 1959). La cubierta de la semilla tiene dos puntos bien marcados: el hilo, una cicatriz que marca el punto donde la semilla se sujetaba al funículo, y el micrópilo, por donde ocurre el flujo de líquidos dentro de la semilla. Estas estructuras pueden estar claramente separadas, o juntas formando un complejo.

Se han realizado trabajos acerca de la variabilidad de formas de las semillas dentro de diferentes grupos de plantas (Winn y Werner, 1987, Stromberg y Patten, 1990; Stuppy, 2001; Arias y Terrazas, 2004; Fenner y Thompson, 2005) pero, aunque es reconocido que

el tamaño es importante dentro de los componentes para la adecuación de las plantas, aún hay controversia sobre todo en los factores evolutivos que afectan la variación interespecífica (Kang y Primack, 1999). Se ha tratado de entender cómo características del fruto en las plantas influyen en el tamaño de la semilla (Venable y Rees, 2009). Algunos trabajos nos muestran un esquema de cómo la variabilidad de las semillas de grupos monofiléticos, como es el caso de las leguminosas, se refleja más con muestras amplias, además de que esta variación se explica a través de la selección y la filogenia de las familias (Kang y Primack, 1999).

El establecimiento de escalas de variación dentro de las especies han tenido controversia porque se han propuesto varios modelos que tratan de explicar la variación más en el peso de las semillas o el efecto que causa dicha variación. Es sabido que el peso en las semillas no sólo está relacionado con el tamaño (largo, ancho y espesor), sino también con la cantidad y tipo de constituyentes que almacenan (Vargas *et al.*, 2003), por esta razón se ha utilizado más el peso de las semillas, que las dimensiones. Sin embargo, las dimensiones lineares de la semilla nos ayudan a comprender los diferentes grupos taxonómicos.

Vargas *et al.* (2003) realizaron un estudio de 38 poblaciones de *Phaseolus lunatus* descubriendo un alto nivel de variación en los caracteres de frutos y semillas, tanto en regiones, como en poblaciones y aún entre semillas de una misma población, en una área de distribución relativamente pequeña de aproximadamente 2,100 km². Esto podría indicar que aún cuando el peso de las semillas está determinado genéticamente, las diferencias en disponibilidad de recursos del medio ambiente o durante la ontogenia de la planta tiene un efecto importante sobre el tamaño de las semillas.

De esta forma, la variación en las semillas puede ser interespecífica (Harper *et al.*, 1970; Westoby *et al.*, 1992; Moles *et al.*, 2005a; Vamosi *et al.*, 2008; Queenborough *et al.*, 2009) e intraespecífica (Winn y Werner, 1987; Stromberg y Patten, 1990). Dentro de este tipo de variación encontramos variación interpoblacional (Janzen, 1977; Michaels *et al.*, 1988; Sakai y Sakai, 1995; Vaughton y Ramsey, 1998), o dentro de plantas individuales (Thomson, 1984; Wolf *et al.*, 1986; Winn, 1991; Obeso, 1993; Vaughton y Ramsey, 1998), o más particularmente dentro de infrutescencias (Wolf *et al.*, 1986), o dentro de frutos individuales (Staton, 1984; Stöcklin y Favre, 1994; Méndez, 1997; Fenner y Thompson, 2005). Otros autores reportan una variación de las semillas de acuerdo a la posición de la semilla con respecto a la planta o al tipo de infrutescencia (Cavers y Harper, 1966; Datta *et al.*, 1970). También esta variación se ha registrado de acuerdo a la posición del fruto (Schaal, 1980; Kang y Primack, 1999).

SEMILLAS EN LAS CACTÁCEAS

Las semillas de las cactáceas se definen como pequeñas (0.45-11.00 mm), comprimidas o globosas, reniformes, discoides, elípticas, obovadas, ovadas, angulosas, desnudas o ariladas, hilo basal o lateral, grande o pequeño, generalmente circular; arilo funicular; cubierta seminal ósea, crustácea, lisa, reticulada, foveolada, punteada, muricada, rugosa, verrucosa; perispermo abundante, central o presente en el lado curvo de la semilla, farináceo, blanquecino, con granos de almidón en racimos; endospermo nuclear, ausente o más o menos persistente como una capa delgada; embrión recto, curvo, circular o periférico con el hipocótilo bien desarrollado, provisto de dos cotiledones reducidos o vestigiales, carnosos o foliáceos, radícula gruesa e inferior (Niembro, 1989).

Barthlott y Hunt (2000) establecen términos para las estructuras en las semillas de las cactáceas, así como también muestran una categorización para el tamaño de las semillas para la subfamilia Cactoideae:

I.	Extremadamente grande	4.0-4.8 mm
II.	Muy grande	3.0-3.9 mm
III.	Grande	2.0-2.9 mm
IV.	Tamaño-medio (promedio)	1.2-1.9 mm
V.	Pequeñas	0.9-1.1 mm
VI.	Muy pequeñas	0.3-0.8 mm

Buxbaum (1953) realizó grandes aportaciones a la taxonomía de cactáceas con base en las características morfológicas de las semillas y es uno de los primeros en utilizar los caracteres de la semilla en sus propuestas de clasificación. Posteriormente Barthlott y Hunt (2000) realizan una obra para Cactoideae utilizando la morfología de la testa y su microestructura.

Dentro de las características de las cactáceas están el desarrollo de un óvulo campilótropo, donde el micrópilo está cercano a la chalaza y el hilo. Otra característica es la nucela diploide, la cual no se absorbe como en otros grupos de angiospermas, pero crece para formar el perispermo, que sólo está ausente en los géneros más derivados. Cabe mencionar que estas características también están presentes en otras Caryophyllales. Por ejemplo, la semilla de *Pereskia sacharosa* difiere de la semilla de *Phytolacca*, porque el área micropilar terminal es menos curvada hacia el hilo y por consiguiente no presenta una forma de riñón, sino de pera; la semilla también presenta una testa negra y posee un estrofiolo pequeño. Si el duro integumento exterior es removido de la semilla de *P. sacarosa*, ésta se parecería a *Phytolacca octandra*. La similitud es tanta que las dos semillas

no podrían ser distinguidas, excepto porque *P. sacharosa* es ligeramente más grande, además de que las primeras etapas de la germinación son similares; sin embargo, aunque las semillas de estos grupos se parezcan, las cactáceas se han relacionado más con Anacampseroteae y con otras Portulacaceae tomando como base secuencias de cinco regiones de ADN, incluyendo el fitocromo, mitocondria y cloroplasto (Edwards *et al.*, 2005). Sin embargo, aun no se han realizado trabajos morfo-comparativos en semillas de estos grupos.

A nivel de subfamilias dentro de la familia Cactaceae hay características en las semillas que diferencian a los grupos y que resuelven problemas más específicos. Por ejemplo, en Pereskioideae, la subfamilia considerada como más “primitiva” por los caracteres que presenta el grupo, areólas con producción de hojas, el tipo de crecimiento, la fotosíntesis C3, presencia de inflorescencias y ovarios súperos e ínferos; además de que son plantas leñosas más que suculentas. Por estas razones se piensa que es uno de los grupos más basales en la familia (Griffith, 2004). La semilla de este grupo también presenta caracteres basales en su desarrollo; presenta un funículo grande hacia el óvulo, lo que causa que la semilla presente una región del hilo micropilar amplia, la presencia de un perispermo alrededor del óvulo, la testa de color negro y en forma de pera; sin embargo, dentro del género se encuentran también formas circulares como en *Pereskia aculeata*.

Las semillas de la subfamilia Opuntioideae, son claramente diferentes de otras subfamilias por un número de arreglos únicos como son el endurecimiento del funículo, el cual envuelve al óvulo y cuando la semilla madura comienza a ponerse duro y esclerenquimatoso, la forma de la semilla irregular debido a que los tejidos del funículo no se desarrollan bien. Además, los integumentos también forman una testa de color café a

negro, que es parecida a la de otras cactáceas y el embrión es grande con un perispermo amplio (Stuppy, 2001).

La subfamilia Mahuinioideae es un grupo muy restringido que sólo se presenta en los Andes y la Patagonia (Chile y Argentina) a 49° 20' S a una altitud de 2,600 m. Es un grupo poco estudiado. Presenta convencionalmente semillas grandes, lisas, lustrosas y de color negro, parecidas a las semillas de *Pereskia*, las semillas miden aproximadamente 4 mm de largo (Taylor, 2005).

La subfamilia Cactoideae es la más diversa dentro de Cactaceae. Es la más extensa por el número de especies que la integran y diversificada por presentar una amplia gama de formas de crecimiento, lo que les ha permitido incursionar en diversos ambientes naturales, por ejemplo, sus formas de crecimiento varían entre arborescentes, arbustivas, rastreras, globosas, o epífitas. Pueden presentar areólas con pelos, espinas o por el contrario pueden estar completamente desnudas; su perianto puede presentar colores que van desde el blanco hasta el púrpura; los frutos pueden ser carnosos o secos, globosos hasta oblongos pequeños o alargados (Anderson, 2001). Las semillas reflejan también esa diversificación presentando formas, estructuras y tamaños muy diversos (Barthlott y Hunt, 2000).

En una familia como las cactáceas, donde hay grandes variaciones en la forma de las semillas, tamaño, color y estructuras de la testa, estos caracteres apoyan la sistemática de las subfamilias, géneros o tribus. Por ejemplo, como lo reportado para las especies *Astrophytum myriastigma* que crece en América del Norte y *Matucana oreodoxa* que crece en América del Sur. Ambas presentan semillas con formas similares (semillas con forma de sombrero), sin embargo presentan diferentes microestructuras en las semillas como diferentes tamaños, 2.4 mm de largo por 1.8 mm de ancho para la primera especie; y 1.9 mm de largo por 1.2 mm de ancho para la segunda especie, con estas características se

reconoce que se trata de una convergencia en la forma de la semilla que se ha atribuido al síndrome de dispersión por hormigas, que estas semillas presentan (Barthlott y Hunt, 2000). O como lo ha reportado Loza-Cornejo *et al.* (2008) dentro de seis especies de la tribu Pachycereeae encontrando que estas seis especies se pueden diferenciar por características de la semilla, sin embargo las semillas presentan una respuesta germinativa relativamente similar en condiciones de laboratorio.

LA TRIBU PACHYCEREEAE

En el caso particular de las especies de la tribu Pachycereeae, las semillas son negras y brillantes. Estos caracteres son plesiomórficos para esta tribu (Terrazas y Loza-Cornejo, 2002). La posición del hilo, del rafe y de las estriaciones de la testa, parecen ser caracteres valiosos, que deben ser estudiadas en todos los miembros de la tribu, como son los estudios realizados para el género *Pachycereus* donde valores como la longitud y el ancho de la semilla, la RHM (región del hilo-micropilar) y el ángulo, han hecho grandes contribuciones para distinguir entre grupos de especies usando los cuatro caracteres antes mencionados junto con la estructura de las semillas (Arias y Terrazas, 2004). Las semillas del género *Neobuxbaumia* presentan diferencias que permiten reconocer dos grandes grupos dentro del género y separarlas de las características de las semillas de *Carnegieae* (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2007). Otro ejemplo, dentro de esta tribu, pueden ser los conflictos que había entre las especies *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *Neobuxbaumia multiareolata*, donde también el tamaño de las semillas, junto con otros caracteres como son: la forma de la semilla, la cantidad de tricomas, la longitud de la flor y del tubo, son importantes para diferenciar estas dos especies (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2010).

LA SUBTRIBU *STENOCEREINAE*

El género *Stenocereus* es el más diverso de los diez géneros de la tribu Pachycereeae, por el número de especies y de más amplia distribución (Barthlott y Hunt, 1993). *Stenocereus* tiene 24 especies nativas de México, las Antillas, Venezuela, Colombia y los Estados Unidos (Hunt, 1999). Aunque actualmente solamente se reconocen 23 especies ya que *S. aragonii* y *S. eichlamii* según Arias y Terrazas (2009) pertenecen al género *Marshallocereus*. Arreola-Nava (2006) reconoce a *S. dumortieri* dentro del género *Stenocereus* de acuerdo a las estructuras de la flor y de la semilla en esta especie.

Este género es muy conocido en México ya que sus frutos son comestibles, con sabor y colores muy particulares y variables. A los frutos se les denomina en términos coloquiales “*pitayas*” y a los árboles se les llama “*pitayos*”. En México, las especies de este género se presentan en diez provincias florísticas (Serranías Meridionales, Planicie Costera del Norte, Baja California, Depresión del Balsas, Costa del Golfo de México y Península de Yucatán Valle de Tehuacan-Cuicatlán, Costa Pacifica), en Centro América (incluyendo Guatemala, Costa Rica y Honduras), en las Antillas y en la parte norte de Sudamérica (Arreola-Nava, 2006).

Este género fue nombrado *Stenocereus* por Riccobono en 1909 (Hunt y Taylor, 1990), nombre que viene del latín y que significa cirio o vela delgada. Son plantas arborescentes o arbustivas, erectas o decumbentes, los tallos con costillas; aréolas espinosas: aréolas florales discretas, flores infundibuliformes o campanuladas, usualmente nocturnas; pericarpelo con aréolas numerosas y espinas por lo general pequeñas; tubo receptacular llamativo o no, con escamas decurrentes; frutos globosos a ovoides, carnosos, con espinas caducas; las semillas grandes, negras, lisas, foveoladas o verrucosas, RHM hundida y embrión curvo (Arreola-Nava, 2000, 2006).

VARIABILIDAD DEL GÉNERO *STENOCEREUS*

Stenocereus ha llamado la atención de diversos investigadores para registrar su diversidad a varios niveles. Por ejemplo, Clark-Tapia y Molina-Freaner (2003) estudiaron la estructura génica y los patrones geográficos en *S. gummosus* y encontraron un gran polimorfismo en esta especie que es auto-incompatible. Clark-Tapia *et al.* (2005) midieron la variabilidad por medio de RAPID'S, de cuatro poblaciones de *Stenocereus eruca*, que es una especie con una reproducción clonal muy alta y encontraron muy poca variabilidad genica.

Otro trabajo fue el realizado por Casas *et al.* (1999) sobre la variación morfológica para 19 poblaciones de *Stenocereus stellatus* y su relación con el proceso de domesticación, encontrando que la domesticación de la especie nos lleva a seleccionar ciertas características tanto en el fruto, como en el tamaño de las semillas, donde las semillas más grandes se encontraron en las poblaciones domesticadas.

En *Stenocereus pruinosus* se reconocieron 30 variantes en la clasificación intraespecífica tradicional, tomando como base para diferenciarlas: color, tamaño y forma del fruto y de las espinas, sabor del fruto y fenología, así como tamaño y cantidad de semillas; dentro de *S. stellatus* se reconocieron nueve variantes y para diferenciarlas se tomaron el sabor del fruto y la fenología. Se relaciona estas variantes con la presión de selección que ejercen las poblaciones humanas dentro de estas especies comerciales (Luna-Morales *et al.*, 2001)

Uno de los trabajos más completos para caracterizar la micromorfología de la semilla en el género es el de Arroyo-Cosultchi *et al.* (2006). Estos autores encontraron que las semillas de las especies de *Stenocereus* comparten las siguientes características: la asimetría y el color negro de la testa, la quilla, el borde de la testa ligeramente expandido

alrededor del hilo, las células alargadas con la pared anticlinal recta, el relieve del borde de la pared anticlinal acanalado, los intersticios, la orientación de la RHM oblicua, la posición relativa al borde marcado y la configuración del hilo y micrópilo cercano, pero separado por una banda esclerificada. Separan al género también en dos grupos; el primero conformado por cinco especies (grupo A), *Stenocereus alamosensis*, *S. aragonii*, *S. beneckei*, *S. eichlamii* y *S. kerberi*, las cuales presentan las semillas más grandes, valores altos en el largo y área de la RHM, son lisas y podrían considerarse como aberrantes en el género *Stenocereus*, concluyendo que *S. aragonii* y *S. eichlamii*, que se pensaba eran las especies del género con las semillas más grandes, no pertenecen al género *Stenocereus* esto apoyado con lo que deducen también Arias *et al.* (2003). El segundo grupo que proponen, con base en la similitud morfológica de las semillas, está constituido por 19 especies, que presentan semillas opacas, con escultura multicelular rugosa o ruminada y las microestriaciones tienen diferentes grados de desarrollo. Este grupo está subdividido en dos subgrupos. El subgrupo b1 está conformado por *Stenocereus chacalapensis*, *S. eruca*, *S. gummosus*, *S. stellatus*, *S. treleasei* y *S. zopilotensis*, *S. peruvianus*, *S. pruinosus*, *S. laevigatus*, *S. queretaroensis* y *S. griseus*. Este subgrupo se relaciona por su escultura multicelular rugosa. El subgrupo b2 está conformado por *S. chrysocarpus*, *S. standleyi*, *S. dumortieri*, *S. fricii*, *S. martinezii*, *S. quevedonis*, *S. montanus* y *S. thurberi*. Las semillas de *Stenocereus* tienen un promedio de largo que varía de 1.71 mm en *S. thurberi* (Arrollo-Cosultchi, 2004) hasta 3.2 mm en *S. beneckei* y para esta última especie también se han registrado las semillas con mayor peso (Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

Otro de los trabajos sobre la variabilidad de la semilla del género es el realizado por Hernández-Morales (2009) quien presenta la variación morfológica de las semillas en *Stenocereus dumortieri* encontrando que hay una variación del largo a la RHM y el largo

máximo de las semillas, en gradiente latitudinal; donde las semillas más grandes se localizan hacia el sur y las más pequeña hacia el norte, También concluye que los caracteres cualitativos como la forma de la semilla, color, lustre, estructura 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 son caracteres que varían de forma continua y pueden seguir utilizándose para diagnosticar y describir especies.

STENOCEREUS ZOPILOTENSIS

Arreola-Nava y Terrazas (2004) mencionan que *S. zopilotensis* es muy parecida a *S. quevedonis*, *S. fricii* y *S. pruinosus* y que crece simpátricamente con la última especie. Pero se distingue porque no tiene tricomas glandulares en las areólas como *S. quevedonis* y tiene un mayor número de costillas que *S. fricii* y que *S. pruinosus* (Arreola-Nava y Terrazas, 2004).

Dentro de la fenología floral y por consiguiente dentro de la fenología del fruto, dentro del área donde se presenta *S. zopilotensis*, es la única que presenta flores, ya que no se traslapa en periodo de floración con otras cactáceas (Arreola-Nava y Terrazas, 2004). Arroyo-Cosultchi *et al.* (2006) señalan que la semilla de *S. zopilotensis* tiene una quilla sobre la parte dorsal, apical y ventral y se consideró un carácter autapomórfico de la especie; sin embargo, un trabajo reciente mostró que *S. dumortieri* también presenta una quilla que se desarrolla desde la parte ventral a la parte apical (Hernández-Morales, 2009).

Como parte de un estudio de monográfico de *Stenocereus*, Arreola y Terrazas (2003) hicieron una colecta de campo de las especies Mexicanas. La segunda autora encontró una especie en el estado de guerrero que no podía ser identificada con ninguna clave, se encontró solo una nota escrita por Sánchez-Mejorada (6 Febrero de 1972) que sugería que

se trataba de una nueva especie, así que las autoras le dieron seguimiento a la descripción de la nueva especie:

Stenocereus zopilotensis Arreola-Nava y Terrazas, Brittonia 56: 96. 2005.

Tipo: MEXICO. Guerrero: municipio de Zumpango del Río, Coñón del Zopilote carretera Federal 95 Iguala- Chilpancingo dentro del Bosque Tropical Caducifolio.

Los árboles de 4-5 metros de altura; tronco bien definido de 40-45 cm de alto y de 19-20 cm de diámetro, las ramas son principalmente de primer orden; erectas y paralelas 6-11 cm diámetro; de color verde pálido; 7-8 (9) costillas, ligeramente tuberculadas, con una constricción sobre el lado superior de las aréolas y unas constricciones horizontales entre las aréolas. Las aréolas son ovaladas a circulares; con tricomas no glandulares con 7-9 espinas radiales, aciculares, robustas, rígidas, blancas cuando ya están maduras; las espinas apicales de 2-5 mm de largo, la espina central de 1-3 cm, subuladas, alargadas sobre la base, robustas, rígidas, las dos espinas apicales más cortas que las otras. Las flores sólo se producen en el ápice de las ramas una por aréola; son nocturnas, infundibuliformes 6.5-7 x 4-5 cm en anthesis; numerosos estambres, filamentos de color blanco; anteras baxifijas de color blanco-amarillento, con 6-7 lóbulos estigmáticos, amarillos-blanquizcos. El fruto es ovoide a globular, 5-6 cm de diámetro; con espinas cetáceas, amarillentas, deciduas cuando el fruto es maduro (Arreola-Nava y Terrazas., 2004).

Las semillas se describen con un tamaño aproximado de 2.6-3.1 x 1.9-2.6 mm, lenticulares a ovoides, negras sin brillo; la testa presenta células isodiamétricas sobre su superficie y con la pared periclinal cóncava (Arreola-Nava y Terrazas, 2004).



Figura. 1. *Stenocereus zopilotensis* en Guerrero. A. Individuo con bolsas de organza. B; ápice de una rama. C; Botones florales. ; D flor que no fue fertilizada. E y F; Frutos en desarrollo.

Mientras que Arrollo-Consultchi (2004), las describe como semillas asimétricas y ampliamente ovoides, largas, $2.85 \pm 0.02 \times 2.10 \pm 0.02$ mm, ángulo entre largo de la semilla y punto máximo de expansión de la región ventral de 38-59°; testa negra, sin lustre, rugosa; quilla sobre la región dorsal, apical y ventral; borde ligeramente expandido alrededor del hilo; con la presencia de células más pequeñas hacia la región del hilo; relieve de la pared ventral acanalado, evidente en todas las regiones, recto, intersticios con hoyos diminutos, evidentes en las regiones laterales y periféricas; relieve convexo en la pared periclinal, convexidades en forma de domos, la RHM de 2.31 ± 0.03 mm². RHM tipo ovalado. A pesar de que ya se tiene la descripción morfométrica de la semilla de *S. zopilotensis*, se desconoce cual de sus caracteres es más conservado y como es la variación interespecífica, esto es a nivel árbol, rama y fruto.

OBJETIVO

* Describir, analizar y comparar la variabilidad morfométrica de las semillas de *Stenocereus zopilotensis*.

Objetivos Particulares

* Describir la variación morfométrica de la semillas de *Stenocereus zopilotensis* a través de cuatro atributos largo, ancho, largo de la región hilo micropilar y área.

* Analizar y comparar la variabilidad morfométrica de las semillas de *Stenocereus zopilotensis* en cuatro niveles: semilla, fruto, rama, planta.

* Comparar la variabilidad de la semilla de *Stenocereus zopilotensis* con la variabilidad registrada para otras especies de *Stenocereus* y otras cactáceas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La especie *Stenocereus zopilotensis* se distribuye en el estado de Guerrero (Fig. 1), crece en parches en el Cañón del Zopilote a lo largo de la carretera Iguala-Chilpancingo, desde el poblado de Xalitla, municipio de Tepecuacuilco de Trujano (Tepecuacuilco “donde habitan las serpientes”) hasta cruzar el río Mezcala, en el municipio de Eduardo Neri. El relieve es accidentado, sobre todo en la parte Este y Oeste de la sierra madre del sur. Los suelos predominantes son litosoles y, en menor medida, fluviales. La litología está constituida por tres formaciones: Morelos, Mezcala y Balsas. Esta cactácea comparte su hábitat con *Peniocereus zopilotensis* (J. Meyrán) Buxb., *Neobuxbaumia mezcalaensis* (Bravo) Backeb, *Cyrtocarpa procera* H.B.K., *Pachycereus weberi* (J. M. Coulter) Backeb., *Stenocereus beneckeii* (Ehrenberg) Buxbaum y *S. pruinosus* (Otto ex Pfeiff.) Buxb.

El tipo de vegetación predominante en el municipio es el bosque tropical caducifolio, su carácter distintivo es la pérdida total de las hojas o de los elementos que las conforman durante la temporada de secas; sin embargo la fisonomía y la composición florística son heterogéneas y depende mucho de la exposición, tipo de suelo y altitud en la que se desarrollan, aunque casi siempre dominan las especies del género *Bursera*. En el estrato arbóreo los elementos alcanzan alturas entre los 5 y 8 m. En la época de secas persisten plantas con consistencia crasa que las hace conspicuas como: *Beaucarnea hiriartiae* L. Hern, *Coryphantha elephantidens* subsp *bumamma* (C. Ehrenb) Dicht & A.Lüthy, *Mammillaria guerreronis* (Bravo) Boed, *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb, *Pachycereus weberi* (J.M.Coulter) Backeb, *Stenocereus beneckeii* (C. Ehrenb.) Buxb, *Opuntia depressa* Britton & Rose, *Echeveria secunda* Booth ex Lindl, *Thompsonella xochipalensis* Gual, *Agave angustifolia* Haw, *Agave cupreata* Trel. & A. Berger y *Yucca*

elephantipes (= *Yucca guatemalensis* Backer), las cuales son las únicas que se conservan verdes (UNIBIO: Colecciones Biológicas, 2008)



Fig. 2. Mapa de la República Mexicana donde se muestra el estado de Guerrero, el municipio de Tepecuacuilco y la zona de muestreo de *S. zopilotes*.

TRABAJO DE CAMPO

La planeación del estudio en campo, se realizó con base en dos estudios anteriores de la especie. El primero es la descripción de la especie que realizaron Arreola-Nava y Terrazas (2004) y el segundo estudio fue realizado por Arroyo-Cosultchi *et al.* (2006), quienes analizaron el valor taxonómico de las semillas del género *Stenocereus*.

Se realizaron salidas al estado de Guerrero para determinar la zona más adecuada para el estudio. Se encontró una población de *Stenocereus zopilotensis* cercana al pueblo de Xalitla, en el municipio de Tepecuacuilco de Trujano. Una vez ubicado, en esta población se realizó un muestreo por transectos, donde se seleccionaron 11 árboles de *S. zopilotensis* para registrar su floración y posteriormente su fructificación. Para un mejor seguimiento se realizó un calendario a partir del 21 de Mayo del 2006, fecha en que se detectaron los primeros primordios florales (Anexo 1).

MARCAJE DE LOS INDIVIDUOS

Los 11 individuos seleccionados se marcaron con plumón indeleble, se numeraron; además, se marcaron las ramas con letras y posteriormente se registró la altura de cada una de las ramas, altura de cada individuo y del diámetro del fuste a una altura de 1.30 m del suelo. Las mediciones se tomaron con regla y cinta métrica. En caso de que hubiera un primordio floral se grababa y se medía su tamaño con un vernier para observar el seguimiento del desarrollo de la flor. Posteriormente, se colocó una cintilla, con una mica con la fecha de esta primera medición para identificar las flores. Una vez que las flores fueron polinizadas y fecundadas y los frutos comenzaron a crecer, se les colocó una bolsa de organza española para protegerlos de sus consumidores. Cuando los frutos alcanzaron la madurez (color rojo) se colectaron.

TRABAJO DE LABORATORIO

Una vez en el Instituto de Biología, de la UNAM, para obtener las semillas primero se cortó el fruto y se sacaron todas las semillas para lavarlas y quitarles la pulpa del fruto, se enjuagaron con agua destilada, con la ayuda de un colador de plástico que evitara el flujo de las semillas; posteriormente se colocaron en papel bond, para que se secaran y se lavaron de nuevo para quitar el exceso de pulpa. Cuando ya las semillas estuvieron libres de

residuos y secas, se fijaron a un portaobjetos con una cinta adhesiva de doble cara. Todas las semillas se colocaron en una misma posición para su mayor diferenciación (Fig. 2). Las mediciones de las características en las semillas se realizaron con un analizador de imágenes (Imagen-Pro-Plus versión 6.1, Media Cybernetics, 2006) adaptado a un microscopio estereoscópico Olympus SZ-CTV.

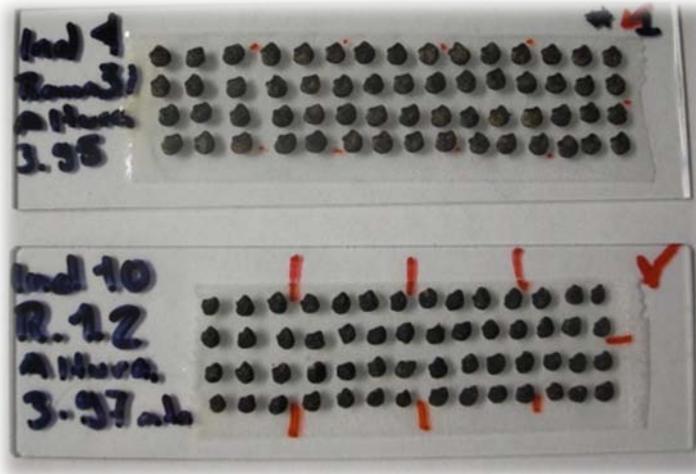


Fig.3 Porta objetos con semillas adheridas para su observación en el microscopio estereoscópico.

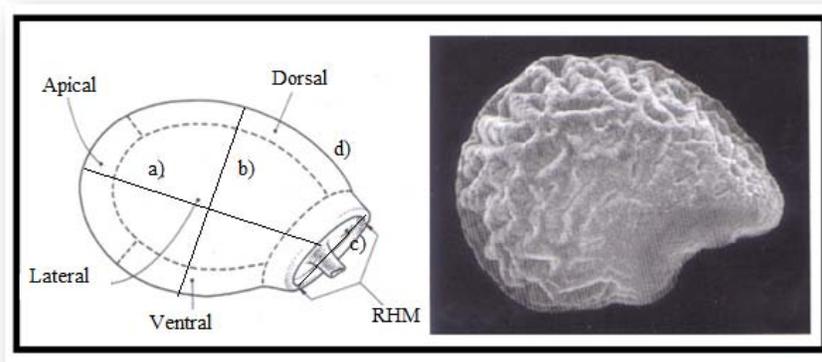


Fig.4. Parte y medidas de *S. zopilotensis*, a) largo; b) ancho; c) RHM; d) área de toda la semilla. (Tomado y modificado de Arrollo-Cosultchi *et al.*, 2006; Barthlott y Hunt, 2000).

Las variables cuantificadas fueron cuatro (Fig. 3): largo, ancho, largo de RHM y área de la semilla. Se seleccionaron estas variables con base en el trabajo de Arrollo-Cosultchi *et al.* (2006). Se midieron de 97 a 388 semillas por fruto; y de 3 a 7 frutos por individuo. Las mediciones se concentraron en una hoja de cálculo de Excel, para su posterior análisis.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para cada una de las cuatro variables se obtuvieron las medidas de tendencia central (media, moda, mediana) y de dispersión; la varianza para todas las semillas, en los siguientes niveles: árboles, ramas y frutos.

Con la finalidad de conocer, si las variables tenían una distribución normal se realizó la prueba estadística de Shapiro-Wilk y de Kolmogórov-Smirnov. También se realizó un análisis de correlación entre las variables de la semilla, y un análisis de varianza anidado para evaluar diferencias significativas entre los caracteres de la semilla y el árbol, la rama y el fruto. Los análisis de tendencia central, dispersión, gráficas y los análisis de correlación, se realizaron con SAS/STAT (SAS Institute, 2008) y el análisis de varianza anidado (Análisis de devianza) se realizó con el programa R (Ihaka y Gentleman, 1996).

RESULTADOS

De los once árboles en los que se efectuó el seguimiento floral hasta fruto, sólo cinco llegaron a la etapa de frutos maduros, debido a que hubo cuantiosas flores abortadas posiblemente antes de la polinización, como de flores recién polinizadas. De los frutos que continuaron el proceso de maduración, se realizó su seguimiento, hasta obtener frutos maduros y posteriormente el análisis de las semillas.

Se llevó a cabo un seguimiento en doce ramas, con un total de 22 frutos. El número de semillas por fruto varió de 97 a 388, cabe hacer notar que, el fruto 11a2 del individuo 11,

fue consumido parcialmente por un ave carpintero. Se realizó la medición de un total de 5,081 semillas.

Características de los árboles que llegaron a producir frutos con semillas:

Árbol A: Altura de 4.18 m y un diámetro en el fuste de 73 cm, siete órdenes de ramificación y un promedio de 25 ramas, en el cual se colectaron cuatro frutos, este árbol presenta muchas ramas muertas, al parecer por pudrición.

Árbol B: Altura de 4.60 m y un diámetro en el fuste de 73 cm, seis órdenes de ramificación y un promedio de 24 ramas, del cual se colectaron cinco frutos. Este árbol crece al lado de una *Acacia* sp. y también presenta muchas ramas muertas.

Árbol C: Altura de 4.80 m y diámetro de fuste de 83 cm, siete órdenes de ramificación y 16 ramas, del cual se colectaron tres frutos. Este árbol es el más expuesto al sol y también presenta algunas ramas muertas.

Árbol D: Altura de 6.20 m y un diámetro en el fuste de 68 cm, seis órdenes de ramificación y 30 ramas, en este individuo se colectaron siete frutos. Este árbol también crece debajo de una *Acacia* sp., no presentaba muchas ramas muertas. Sus frutos fueron de los más grandes.

Árbol E: altura de 7.35 m y un diámetro en el fuste de 116 cm, siete órdenes de ramificación y 41 ramas. Es el árbol más grande y frondoso y en éste se colectaron tres frutos.

Caracteres cualitativos de las semillas

Al observar las semillas en el microscopio estereoscópico, éstas presentaron las siguientes características: en general se observa un color negro opaco, la forma de la semilla es asimétrica tipo oval, con el hilo y el micrópilo juntos, formando la RHM, esta región presenta una forma ovada, con una zona esclerificada que separa el hilo del

micrópilo. Se observa también una superficie con estriaciones y el borde de la RHM es grueso, aun que no sea tan evidente, se observa la quilla que rodea a la semilla desde la parte apical, recorriendo la parte dorsal hasta llegar a la parte ventral.

Caracteres cuantitativos de las semillas

Los valores de la tendencia central y dispersión de las semillas de *Stenocereus zopilotensis* se sintetizan en el cuadro 1. Los valores de la media son iguales al valor de la moda y mediana para ancho y área total, mientras que es menor para el largo (Cuadro 1).

CUADRO 1. Valores de la tendencia central y de la dispersión de las semillas de *S. zopilotensis*.

	Largo(mm)	Ancho(mm)	RHM(mm)	Área(mm²)
Media	2.80	2.08	1.17	9.33
Moda	2.84	2.08	1.23	8.86
Mediana	2.82	2.08	1.17	9.33
Desviación estándar	0.21	0.17	0.15	0.64
Varianza	4.40	2.96	2.22	41.59
Coefficiente de Variación	0.07	0.08	0.13	0.07
Amplitud	1.64	1.57	1.50	5.07

Podemos observar que los valores para las variables ancho y largo de RHM tienden a variar menos (Fig. 4) como lo reflejan su varianza y amplitud que tiene valores bajos (Cuadro 1): Por otro lado, los datos que parecen dispersarse más son el largo y el área total como lo muestra su varianza (Cuadro 1) y amplitud que son mayores que en las otras dos variables.

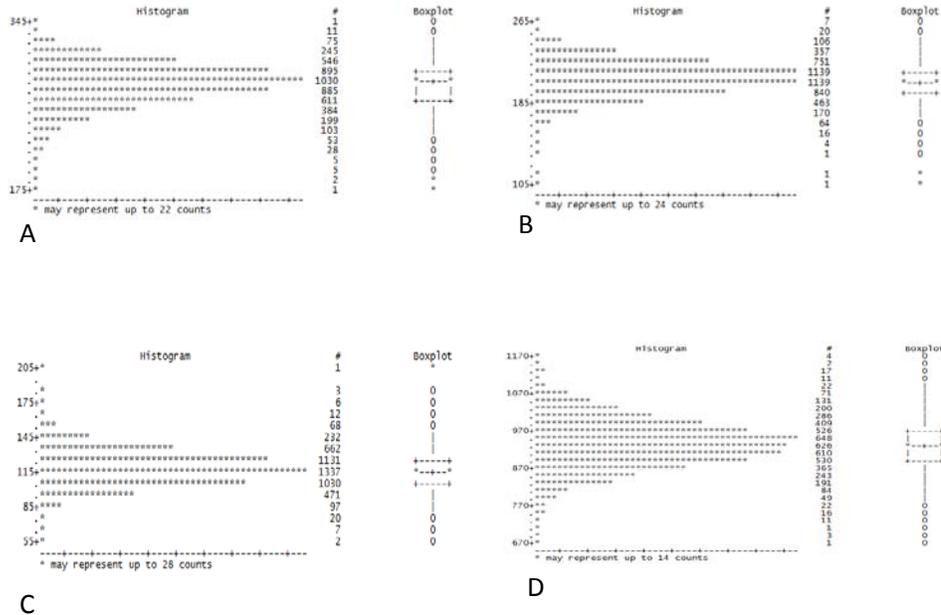


Figura 5. Histogramas, cajas y bigotes para: A. Largo, B. Ancho, C. Región Hilo Micropilar D. Área de la semilla de *Stenocereus zopilotensis*.

LOS FRUTOS.

A nivel de frutos, las semillas con la variable largo más grande se encontraron en el fruto **6b1** con un largo de 3.34 mm. Este fruto, en general, es el que presentó las semillas más grandes con una media de 3.03 mm, mientras que las semillas menos largas se encontraron en el fruto **11a2** con 2.14 mm de largo (Cuadro 2). La variabilidad de las semillas a nivel de los individuos se sintetiza en el cuadro 4. El análisis de varianza detectó diferencias significativas para las cuatro variables ($F = 66.94$ largo, $F = 53.74$ ancho, $F = 11.39$ RHM, $F = 64.51$ área, g.l. = 21, $N = 22$, $P < 0.0001$).

Cuadro 2. Valores de la media y una desviación estándar para cuatro caracteres de las semillas en los frutos de los individuos de *Stenocereus zopilotensis*.

Fruto	LARGO	ANCHO	RHM	ÁREA
3a1	2.77 ±0.17 2.29-3.40	1.99 ±0.14 1.64-2.48	1.18 ±0.11 0.89-1.60	9.72 ±0.57 8.20-11.34
3b1	2.89 ±0.18 2.34-3.22	2.00 ±0.17 1.09-2.37	1.06 ±0.14 0.61-2.08	9.83 ±0.70 7.99-12.71
3b2	2.91 ±0.17 2.28-3.25	1.98 ±0.14 1.62-2.27	1.08 ±0.12 0.74-1.49	9.54 ±0.66 7.43-11.69
4a1	2.72 ±0.19 2.13-3.16	2.22 ±0.13 1.77-2.60	1.04 ±0.11 0.72-1.58	9.31 ±0.44 7.56-10.22
4b1	2.72 ±0.18 2.02-3.24	2.22 ±0.12 1.81-2.56	1.06 ±0.10 0.82-1.48	9.31 ±0.42 7.90-11.28
4c1	2.84 ±0.16 2.44-3.14	2.29 ±0.12 1.88-2.52	1.11 ±0.09 0.89-1.34	9.81 ±0.50 8.10-11.44
4c2	2.89 ±0.13 2.48-3.13	2.33 ±0.11 2.00-2.66	1.08 ±0.10 0.86-1.41	9.71 ±0.38 8.40-10.65
4c3	2.81 ±0.14 2.15-3.21	2.12 ±0.13 1.60-2.50	1.09 ±0.13 0.58-1.67	9.30 ±0.38 7.71-10.65
6a1	2.97 ±0.16 2.46-3.31	2.15 ±0.15 1.74-2.66	1.29 ±0.11 0.98-1.64	9.89 ±0.48 8.69-11.09
6a2	2.93 ±0.15 2.24-3.26	2.14 ±0.13 1.80-2.49	1.24 ±0.10 0.83-1.44	9.83 ±0.41 8.38-10.85
6b1	3.03 ±0.14 2.45-3.34	2.17 ±0.12 1.78-2.56	1.30 ±0.11 0.95-1.70	10.03 ±0.48 7.97-11.32
10a1	2.64 ±0.22 1.76-3.08	2.00 ±0.17 1.42-2.42	1.27 ±0.16 0.87-1.86	8.94 ±0.61 6.62-10.63
10a2	2.64 ±0.17 2.10-3.06	1.99 ±0.15 1.54-2.64	1.20 ±0.11 0.84-1.53	8.87 ±0.52 7.27-10.41
10b1	2.89 ±0.18 2.44-3.24	2.08 ±0.12 1.68-2.38	1.18 ±0.12 0.88-1.48	9.62 ±0.49 8.25-10.67
10b2	2.74 ±0.17 2.26-3.13	2.07 ±0.15 1.16-2.52	1.24 ±0.17 0.88-2.76	9.22 ±0.50 7.75-11.45
10b3	2.46 ±0.20 1.88-2.94	1.89 ±0.16 1.48-2.27	1.19 ±0.17 0.88-1.72	8.26 ±0.47 7.02-9.57
10b4	2.81 ±0.17 2.42-3.24	2.15 ±0.14 1.74-2.49	1.29 ±0.14 0.84-1.73	9.21 ±0.49 7.56-10.22
10c1	2.66 ±0.18 1.82-3.16	2.02 ±0.12 1.66-2.38	1.24 ±0.12 0.81-1.68	8.81 ±0.40 7.60-10.03
11a1	2.92 ±0.12 2.21-3.15	2.04 ±0.10 1.76-2.31	1.23 ±0.10 0.95-1.48	9.22 ±0.37 6.97-10.30
11a2	2.53 ±0.16 2.14-2.88	1.98 ±0.14 1.54-2.28	1.20 ±0.12 0.97-1.52	8.78 ±0.39 7.26-9.75
11b1	2.91 ±0.17 2.22-3.24	2.05 ±0.15 1.48-2.42	1.21 ±0.13 0.93-1.88	9.31 ±0.51 6.87-10.46
11b2	2.75 ±0.13 2.34-3.06	1.90 ±0.12 1.34-2.24	1.10 ±0.12 0.75-1.55	8.75 ±0.39 7.39-9.76

En cuanto al error estándar para la variable largo, el fruto **11a1** tuvo el menor con 0.12 mm de largo mientras que el valor máximo lo presenta el fruto **10a1** con un valor de 0.22 mm (Cuadro 2).

Para la variable ancho de semilla, el fruto que presentó las semillas más anchas fue el **4c2** con una medida de 2.66 mm; en el mismo se obtuvo la media máxima con un valor

de 2.33 mm, mientras que el valor mínimo se observó en el fruto **3b1** con un valor de 1.09 mm. El valor medio más bajo se encontró en el fruto **10b3** con un valor de 1.89 mm de ancho; las semillas con un error estándar mínimo para la variable ancho, fueron las del fruto **11a1** con un valor de 0.10 y el más alto en los frutos **3b1** y **10a1** con un valor de 0.17 para ambos (Cuadro 2).

Para la RHM el valor máximo lo tuvo el fruto **11b1** con un valor de 1.88 mm, el valor medio máximo se encontró en el fruto **6b1** con un valor de 1.30 mm y el valor mínimo en el fruto **4c3** con un valor de 0.58 mm (Cuadro 2), mientras que la media más baja se registró en el fruto **4a1**, con un valor de 1.04 mm; Para los valores de error estándar para la RHM, el máximo lo presentaron los frutos **10b2** y el **10b3** con un valor de 0.17 mm mientras que el valor más bajo lo obtuvo el fruto **4c1** con un valor de 0.09 mm.

Para el área de la semilla, el valor máximo se observó en el fruto **3b1** con un valor de 12.71 mm², mientras que el valor de la media más alto se registró en el fruto **6b1** (Cuadro 2), el valor mínimo lo tuvo el fruto **10a1** con un valor de 6.62 mm² y el valor mínimo para la media se registró en el fruto **10b3** con un valor de 8.26 mm². El valor del error estándar para el área mínimo se registró en el fruto **11a1** con un valor de 0.37 mm² (Cuadro 2), mientras que el valor máximo lo obtuvo el fruto **3b1** con un valor de 0.70 mm².

LAS RAMAS.

Al analizar el tamaño de la semilla por rama se encontraron diferencias significativas para la RHM ($F = 8.49$, g.l. 11, $P < 0.0004$, $N = 12$), pero no para largo ($P > 0.28$), ancho ($P > 0.056$) ni área ($P > 0.11$). Los valores de la tendencia central y los resultados del análisis de comparación de medias se sintetizan en el cuadro 3. La rama **6b** presentó las semillas con una media máxima para largo con un valor de 3.34 mm, su media fue de 3.03 mm. Para esta rama se encontró también que el valor máximo para el área fue

de 10.03 mm². Cabe mencionar que éstas fueron las semillas más grandes con un error estándar pequeño (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de la media, una desviación estándar y los mínimos y máximos para cuatro caracteres de la semillas en ramas de cinco individuos de *Stenocereus zopilotensis*.

Ramas	LARGO	ANCHO	RHM	ÁREA
3a	2.77±0.17 ^a 2.29-3.40	1.99±0.14 ^a 1.64-2.48	1.18±0.11 ^{ab} 0.89-1.60	9.72±0.57 ^a 8.20-11.34
3b	2.90±0.17 ^a 2.28-3.25	1.99±0.15 ^a 1.09-2.37	1.07±0.13 ^a 0.61-2.08	9.66±0.69 ^a 7.43-12.71
4a	2.72±0.19 ^a 2.13-3.16	2.22±0.13 ^a 1.77-2.60	1.04±0.11 ^a 0.72-1.58	9.31±0.44 ^a 7.56-10.22
4b	2.72±0.18 ^a 2.02-3.24	2.22±0.12 ^a 1.81-2.56	1.06±0.10 ^a 0.82-1.48	9.31±0.42 ^a 7.90-11.28
4c	2.83±0.14 ^a 2.15-3.21	2.19±0.15 ^a 1.60-2.66	1.09±0.12 ^a 0.58-1.67	9.45±0.46 ^a 7.71-11.44
6a	2.95±0.16 ^a 2.24-3.31	2.14±0.14 ^a 1.74-2.66	1.26±0.11 ^b 0.83-1.64	9.86±0.45 ^a 8.38-11.09
6b	3.03±0.14 ^a 2.45-3.34	2.17±0.12 ^a 1.78-2.56	1.30±0.11 ^b 0.95-1.70	10.03±0.48 ^a 7.97-11.32
10 ^a	2.64±0.19 ^a 1.76-3.08	2.00±0.16 ^a 1.42-2.64	1.23±0.14 ^b 0.84-1.86	8.90±0.56 ^a 6.62-10.63
10b	2.73±0.23 ^a 1.88-3.24	2.06±0.17 ^a 1.16-2.52	1.23±0.16 ^b 0.84-2.76	9.13±0.65 ^a 7.02-11.45
10c	2.66±0.18 ^a 1.82-3.16	2.02±0.12 ^a 1.66-2.38	1.24±0.12 ^b 0.81-1.68	8.81±0.40 ^a 7.60-10.02
11a	2.82±0.22 ^a 2.14-3.15	2.03±0.16 ^a 1.54-2.31	1.22±0.11 ^b 0.95-1.52	9.11±0.42 ^a 6.97-10.30
11b	2.81±0.17 ^a 2.22-3.24	1.96±0.15 ^a 1.34-2.42	1.15±0.14 ^{ab} 0.75-1.88	8.97±0.52 ^a 6.87-10.46

LOS ÁRBOLES.

La variabilidad de las semillas a nivel de los árboles se sintetiza en el cuadro 4. El análisis de varianza detectó diferencias significativas para las cuatro variables ($F = 465.71$ largo, $F = 539.41$ ancho, $F = 469.27$ RHM, $F = 660.78$ área, $g.l. = 4$, $N = 5$, $P < 0.0001$).

Las semillas más largas se encontraron en el árbol C, con una media de 2.99 mm, mientras que los valores más grandes los presentó el árbol A, con un largo de 3.40 mm. Las

semillas más cortas son las que se registraron en el árbol D, siendo este árbol donde se encontró el menor valor 1.76 mm.

Cuadro 4. Valores de la media y una desviación estándar para cuatro caracteres de la semillas en individuos de *Stenocereus zopilotensis*.

ÁRBOL	LARGO	ANCHO	RHM	ÁREA
A3	2.86±0.18^{ab} 2.28-3.40	1.99±0.15^{ac} 1.09-2.48	1.11±0.13^a 0.61-2.08	9.68±0.66^{ac} 7.43-12.71
B4	2.79±0.17^{ab} 2.02-3.24	2.20±0.14^b 1.60-2.66	1.08±0.12^a 0.58-1.67	9.39±0.45^{abc} 7.56-11.44
C6	2.99±0.15^b 2.24-3.34	2.16±0.13^{bc} 1.74-2.66	1.28±0.11^b 0.83-1.70	9.95±0.47^a 7.97-11.32
D10	2.68±0.20^a 1.76-3.24	2.02±0.16^{ac} 1.16-2.64	1.23±0.14^{bc} 0.81-2.76	8.96±0.58^b 6.62-11.45
E11	2.82±0.18^{ab} 2.14-3.24	1.98±0.15^{ac} 1.34-2.42	1.17±0.13^{ac} 0.75-1.88	9.01±0.49^{bc} 6.87-10.46

Las semillas más anchas se registraron en el árbol B con un valor de 2.20 mm, mientras que el valor máximo lo presentaron los árboles B y C (Cuadro 4). Las semillas más angostas se encontraron en el árbol E con una media de 1.98 mm (Cuadro 4). Los valores máximos de la RHM de las semillas, los presentó el árbol C con una media de 1.28 mm; los valores más pequeños los presenta el árbol B (Cuadro 4).

En cuanto al área total de las semillas, el árbol que presentó los valores máximos fue el C con una media de 9.95 mm² y el valor máximo lo presentaron las semillas del árbol A con un área total de la semilla de 12.71 mm². Las semillas que presentaron el área total más pequeña fueron las del árbol D con una media de 8.96 mm².

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre largo, ancho, radio y RHM de las semillas para *Stenocereus zopilotensis*.

Árbol	Largo/Ancho	Largo/Área	Largo/RHM	Ancho/Área	Ancho/RHM	Área/RHM
A	0.226 <.0001	0.560 <.0001	0.162 <.0001	0.425 <.0001	0.138 <.0001	0.274 <.0001
B	0.015 0.5964	0.539 <.0001	0.254 <.0001	0.488 <.0001	0.017 0.5319	0.173 <.0001
C	0.046 0.2202	0.630 <.0001	0.369 <.0001	0.390 <.0001	0.091 0.0147	0.254 <.0001
D	0.275 <.0001	0.723 <.0001	0.294 <.0001	0.492 <.0001	0.222 <.0001	0.239 <.0001
E	0.255 <.0001	0.683 <.0001	0.351 <.0001	0.585 <.0001	0.209 <.0001	0.327 <.0001

El análisis de correlación por árbol mostró que hay asociaciones positivas y significativas (Cuadro 5), excepto entre largo/ancho de la semilla para los árboles B y C y ancho/RHM para los árboles B y C. Los coeficientes de asociación más altos se presentaron entre las variables largo vs área total de la semilla y ancho vs área total de la semilla.

En el análisis de devianza (anidado) mostró que todos los valores fueron significativos ($P < 0.0001$) dentro de los cuatro modelos (Cuadro 6). Los valores tuvieron efecto en el tamaño de la siguiente forma: el nivel de árbol fue el que contribuyó más en el tamaño de las semillas, seguido por el efecto de los frutos y posteriormente por el efecto de las ramas. Para la variable del RHM fueron de la siguiente forma, el que más contribuye también fue el árbol con un cociente de log-verosimilitud de 1,433.59, seguido por la rama con un cociente de log-verosimilitud de 210.67 y por último el fruto con un cociente de log-verosimilitud de 78.56 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de devianza de las semillas para los niveles de fruto, rama e individuo de *Stenocereus zopilotensis*.

Modelo		Devianza	G.L.	Coci. de log-verosimilitud	Valor- P
Efecto en el Largo	Fruto	-21868.85	4	569.83	<.0001
	Rama	-21766.05	4	364.23	<.0001
	Individuo	-22470.91	4	1773.97	<.0001
Completo		-21583.93	5		
Efecto en el Ancho	Fruto	-20839.02	4	455.88	<.0001
	Rama	-20662.17	4	102.17	<.0001
	Individuo	-21393.99	4	1565.82	<.0001
Completo		-20611.09	5		
Efecto en el RHM	Fruto	-20143.94	4	78.57	<.0001
	Rama	-20210.00	4	210.67	<.0001
	Individuo	-20821.46	4	1433.59	<.0001
Completo		-20104.66	5		
Efecto en el Área	Fruto	-27403.58	4	547.40	<.0001
	Rama	-27313.54	4	367.31	<.0001
	Individuo	-28244.90	4	2230.03	<.0001
Completo		-27129.88	5		

DISCUSIÓN

Las semillas de cactáceas dejan ver considerable variación en su forma, tamaño estructura de la testa y color (Barthlott y Hunt, 2000; Stuppy, 2001); a diferentes niveles de la clasificación como subfamilias (Stuppy, 2001), tribus (Barthlott y Hunt, 2000) o bien entre especies dentro de géneros (Meregalli *et al.*, 2000; Metzging y Thiede, 2001; Arias y Terrazas, 2004; Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2006, 2007). Así, la amplitud de variación del tamaño por sí solo, no nos puede ayudar a diferenciar taxa; sin embargo, en conjunto con otros caracteres, como son el tipo de relieve de la pared o el tipo de RHM apoyan la distinción entre géneros y especies, como lo presentan Arias y Terrazas (2004) dentro del género *Pachycereus*. La combinación de los dos tipos de caracteres les permitió reconocer que *Stenocereus aragonii* y *S. eichlamii* en realidad presentan mayor similitud con el género *Pachycereus*.

En este trabajo, las semillas de *Stenocereus zopilotensis* registraron las siguientes medidas: 2.80 mm de largo, 2.08 mm de ancho, 1.71 mm en la RHM, y 9.33 mm² de área; dentro de estos valores los que menos variaron fueron el largo, ancho y la región hilo micropilar, mientras que el valor más variable fue el área. En cuanto a los caracteres de largo, ancho y la RHM, comparados con los encontrados por Arrollo-Cosultchi *et al.* (2006) se observa que no difieren mucho a excepción de la RHM, por lo tanto éstos pueden ser útiles como soporte en la caracterización de la especie.

De acuerdo con la descripción de la semilla, encontramos una gran concordancia con lo registrado por Arrollo-Cosultchi *et al.* (2006), donde también se describe como la semilla de *S. zopilotensis* como de color negro opaco, con simetría oval, con una RHM en forma ovalada, con la quilla alrededor de la semilla desde la región apical hasta la ventral. Otra de las características que agrupan a ciertas especies de género *Stenocereus* es su escultura multicelular de tipo rugoso (Arrollo-Cosultchi *et al.*, 2006). La descripción aquí presentada para la especie es más completa que la presentada por Arreola-Nava y Terrazas (2004), quienes no mencionan la quilla.

VARIACIÓN

Árboles.- El análisis de devianza mostró que el nivel árbol (individuo) es el que más contribuyó a explicar la variación de las semillas en *Stenocereus zopilotensis*. El individuo que presentó las semillas más grandes fue el C, con una altura de 4.80 m, un diámetro de fuste de 83 cm y 16 ramas. No fue el individuo más alto, ni tampoco el que presentó mayor número de ramas, pero difiere de los demás por estar más expuesto a la radiación, porque no hay otros árboles a su alrededor. Por otro lado, el árbol con semillas más pequeñas, fue el árbol D que presentó una altura de 6.20 m, un diámetro de fuste de 68 cm y 30 ramas. Este árbol crecía debajo de una *Acacia* sp. (planta nodriza) y sus frutos fueron de los más

grandes, probablemente las micorrizas asociadas a sus raíces enriquecen el suelo con nitrógeno del aire favoreciendo a las cactáceas.

Los resultados sugieren que en *S. zopilotensis*, el tamaño de la semilla no está relacionado con el número de ramas o con el tamaño de los árboles, ya que muchas de las plantas más vigorosas presentaron semillas pequeñas y abortaron tanto flores como frutos. Y en árboles poco desarrollados se observaron frutos grandes con semillas grandes y como ya se mostró en el análisis de devianza, estos árboles fueron los que más contribuyeron a la variación de las semillas. En concordancia con lo que sugieren varios autores para otros grupos de dicotiledóneas (Thompson, 1984; Wolf *et al.*, 1986; Winn, 1991; Obeso, 1993; Méndez, 1997; Vaughton y Ramsey, 1998; Alonso *et al.*, 1999). Además se coincide con lo que proponen Moles *et al.* (2004) y Moles *et al.* (2005), quienes señalan que para entender la evolución del tamaño de la semilla, hay que considerar el ciclo de vida de la planta, ya que todos los niveles contribuyen a la variación del tamaño de la semilla. En los resultados de *S. zopilotensis* se observa que el tamaño de la planta no está directamente asociado con el tamaño de la semilla como también lo encuentran Venable y Rees (2009). No se conoce la etapa de crecimiento en la cual se encontraban los árboles de *S. zopilotensis*, para saber si existe una correlación entre el periodo de vida del árbol y el tamaño de la semilla. Lo que seguramente está ligado con el tamaño de la semilla son los factores genéticos maternos, ya que como se observó, los árboles son los que más contribuyen a esta variación y en el desarrollo de la semilla, la testa, como los tegumentos están relacionados directamente con la planta madre. Por otro lado, se ha observado en otras especies, que los factores genéticos maternos tienden a preservarse (Alonso *et al.*, 1999). Sin embargo, toda esta variación no sólo se debe a una causa en particular, ya que se ha observado que dentro de los mismos factores genéticos hay variación (Alonso *et al.*, 1999). ¿Qué es lo que más contribuye al

tamaño de la semilla en el árbol, la fecundidad, el efecto ladera, la forma de vida, la dispersión de la semilla, los nutrientes del suelo, el gradiente latitudinal, el nodrismo, la orientación del árbol hacia el magnetismo terrestre? Estas correlaciones deberán ser objeto de estudio.

Ramas.- En cuanto al nivel de rama, los resultados mostraron que éstas contribuyen en menor medida a explicar la variación de tamaño de las semillas. En otras especies sí hay un efecto en el tamaño de la semilla asociado a la abundancia de la ramificación (Wolf, *et al.*, 1986; Venable y Rees, 2009). El análisis de varianza en *S. zopilotensis* a nivel de rama sólo encontró diferencias para la RHM (Cuadro 3), que posiblemente está ligado en principio por la genética de la madre y por otro lado, por la vascularización de la planta hacia las semillas. Es interesante que a nivel de la RHM las ramas sean las que más influyen después del árbol en el tamaño de esta RHM.

Frutos.- El fruto también contribuye en la variación de la semilla, pero no tanto como contribuye el árbol (Cuadro 6). La variación en el tamaño de la semilla también es significativa entre algunos individuos de *S. zopilotensis* y esto concuerda con lo encontrado por Stöcklin y Favre (1994), Méndez (1997), Kang y Primack. (1999) y Guo Hui *et al.* (2010), quienes también han registrado variación en el tamaño de la semilla a nivel de fruto, además de variación a nivel de infrutescencia. Estos autores señalan que dependiendo de la posición, las semillas que se encuentran en el centro de la infrutescencia o del fruto, tienden a ser más grande, de las que se encuentran en la parte más distal del fruto. Y aunque muchos de los trabajos anteriores son realizados con frutos de tipo vaina, esto podría también explicar la variación en el tamaño de las semillas a nivel de fruto en *Stenocereus*. Para confirmarlo se tendrían que realizar cortes de manera longitudinal en el fruto y separar las semillas por posición. Sin embargo, la relación en el tamaño del fruto y

el tamaño de las semillas puede estar afectada también por la proporción de pulpa como encontró Méndez (1997), donde los frutos que tienen semillas más grandes presentan menor porcentaje de pulpa. Esta también podría ser una explicación a la variación del tamaño de la semilla en *S. zopilotensis*.

Como observamos, pueden ser muchas las causas que contribuyen a entender la variación en el tamaño de las semillas en las plantas, dentro del fruto o a nivel de rama y trabajar con un solo nivel de variación nos puede llevar a conclusiones erróneas o mal estructuradas. Sin embargo, es un hecho que el fruto aporta variación a las semillas en *S. zopilotensis*. Lo que sería más importante es ver cuánto aporta cada uno de estos factores al tamaño de la semilla, ya que no sería muy considerado tratar de explicar la evolución de la semilla de acuerdo a un carácter aislado, así como tampoco tratar de considerar el tamaño de la semilla como una consecuencia inherente de la evolución de la semilla.

Comparación con otras especies de *Stenocereus*

Las semillas de *Stenocereus* presentan en común: forma asimétrica, un color negro en la testa, presencia de una quilla, borde de la testa ligeramente expandido alrededor del hilo, células alargadas con la pared anticlinal recta, relieve del borde de la pared anticlinal acanalado, intersticios, orientación de la RHM oblicua, y posición relativa marcada hacia el borde con configuración del hilo y micrópilo cercana, pero separada por una banda esclerificada (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2006). De acuerdo a las características mencionadas, *S. zopilotensis* se puede incluir dentro del género *Stenocereus* y se puede diferenciar de las demás especies de este género por la presencia de la quilla que va desde la parte dorsal hasta la parte ventral. Este atributo es similar al registrado en algunas poblaciones de *S. dumortieri* (Hernandez-Morales, 2009), por lo que sería de suma importancia evaluar si otras poblaciones de especies con areólas claras también la comparten.

A nivel de rasgos morfométricos *S. zopilotensis* dentro del género *Stenocereus* exhibe semillas grandes (Anexo 2). Se encontró que las variables largo y ancho de la semilla de *S. zopilotensis* son muy parecidas a las encontradas por Arroyo-Cosultchi (2004). Sin embargo, las medidas para la RHM varían mucho con respecto de las reportadas por el mismo autor. Esta semilla se encuentra entre las de mayor talla junto con *S. fricii* que es una especie que comparte muchas características con *S. zopilotensis*, aunque es importante remarcar que *S. fricii* es una especie que presenta pocas ramificaciones; además, tiene menos costillas, presenta espinas radiales, las flores son más grandes y no muestra la constricción que presenta esta especie (Arreola-Nava y Terrazas, 2004).

La amplitud de variación de las semillas de *S. zopilotensis* sólo se traslapa con *S. fricii* y con *S. kerberi*, presentando parecido con la primera especie en el tamaño de las semillas; así como en el tipo de complejo hilo micropilar de forma oval, el lustre opaco, el relieve de la pared periclinal con domos bajos y sin cráteres. Sin embargo el tipo de escultura multicelular de *S. fricii* es ruminada y *S. zopilotensis* presenta una escultura rugosa. *Stenocereus zopilotensis* también difiere de otras especies de areólas claras en que esta especie presenta flores cortas (Arreola-Nava y Terrazas, 2004). Este carácter también lo presenta *S. stellatus* que es polinizada estrictamente por murciélagos (Valiente-Bunuet, 2002). En *Stenocereus zopilotensis* no sabemos cuál es el polinizador, sin embargo sabemos que las flores son también cortas como en *S. stellatus*, blancas con anthesis nocturna; lo cual, de acuerdo a la teoría de síndromes de polinización indica que pudieran ser polinizadas por esfíngidos o murciélagos. Las semillas de *S. stellatus* son pequeñas comparadas con las de *S. zopilotensis* (Anexo 2), por lo que sería interesante evaluar el número de semillas y la variación morfométrica de ambas especies con la finalidad de conocer su relación con la polinización especialista.

Comparación con otras cactáceas

Morfometría.

Stenocereus zopilotensis al igual que otras especies de *Stenocereus* presenta tamaños muy parecidos a los registrados para *Neobuxbaumia* (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2007). En cuanto al género *Pachycereus*, sus semillas presentan tamaños extremadamente grandes para la subfamilia (Barthlott y Hunt, 2000). De acuerdo Barthlott y Hunt (2000) dentro de la subfamilia Cactoideae las semillas de *S. zopilotensis* se clasifican dentro de las semillas grandes, con extremos representados por *Lophocereus marginatus* con un tamaño promedio de 4.0 mm de largo por 2.6 mm de ancho y un peso de 7.67 mg, por el otro extremo con *Blossfeldia liliputana* con un tamaño de 0.45 mm de largo por 0.45 mm de ancho y peso de 0.037 mg, con una diferencia de 200 %.

Las otras subfamilias presentan semillas de muy grandes a extremadamente grandes, como es el caso de *Opuntia* cuyas semillas presentan una estructura única el “arilo”, derivada del funículo (Stuppy, 2001), por lo tanto esta estructura aumenta el tamaño y el peso en sus semillas. Por ejemplo, *O. floccosa* con un peso de 28.2 mg y una medida de 4.0 mm de largo, por 3.6 mm de ancho, mientras para *O. galapageia* el peso es de 26.5 mg y las medidas son de 4.7 mm de largo por 3.9 de ancho, y aun más en especies dentro del género *Pterocactus* que presenta especies con semillas de hasta 11.00 mm de diámetro y dentro de algunos géneros como son *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* y *Tunilla* encontramos especies con semillas de hasta 2.5 mm de diámetro.(Stuppy 2001). El desarrollo del “arilo” hace única a la subfamilia Opuntioideae no sólo dentro de las Caryophylliales si no, dentro de todas las angiospermas, ya que este se deriva del funículo (Buxbaum, 1953). Si se remueve el arilo las semilla son parecidas a *Pereskia aculeata*. Por otro lado, se concluye que el tamaño en las semillas tiende a disminuir en Cactoideae, ya que en las subfamilias

Mahuinioideae, Opuntioideae y Pereskioideae es mayor, pasando de grande a extremadamente grande.

Morfología de la testa.

En cuanto a la morfología de la testa se han realizado interesantes estudios de relevancia taxonómica que muestran que dentro de los géneros, hay una fuerte diferenciación y que han ayudado el mejor entendimiento de los grupos (Barthlott y Hunt, 2000; Metzging y Thiede, 2001; Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2006; Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2007). Para empezar, dentro de los grupos estudiados en la tribu Pachycereeae, todas las semillas presentan una quilla de la región dorsal y la región apical, otra de las características que tienen en común es el color, pasando de negro a café; también se ha encontrado que las semillas varían entre géneros en la forma que presentan la pared. Dentro de *Pachycereus*, las especies presentan semillas lisas y por lo mismo brillosas (Arias y Terrazas, 2004) en contraste, las semillas que encontramos en *Stenocereus* que son semillas que pueden presentar una estructura rugosa o ruminada de acuerdo a la presencia o ausencia de hoyos en los intersticios y por lo mismo, son semi-opacas a opacas (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2006).

Dentro de la subfamilia Cactoideae también encontramos estudios realizados con la testa del género *Frailea* donde se encuentra una escultura con una papila donde se pueden diferenciar especies, ya que presentan una ramificación dentro de las papilas que las permiten caracterizarlas (Metzging y Thiede, 2001). Así, también encontramos estudios realizados en la testa de *Gymnocalycium hossei* que han ayudado al mejor entendimiento dentro del grupo, ya que esta especie presenta una variabilidad muy grande. Otras subfamilias como es el caso de las Opuntioideae, donde la cubierta es formada por el endurecimiento del funículo es un caso especial dentro de la familia, diferenciando a este

grupo en particular y también el color en las semillas puede ser claro (Stuppy, 2001). Por otro lado, se encuentra las testas, muy parecidas de Pereskioideae y Maihuinoideae, que son negras, brillantes y lisas.

CONCLUSIONES.

Las semillas de *Stenocereus zopilotensis* presentaron las siguientes medidas: 2.80 mm de largo, 2.07 mm de ancho, 1.71 mm de RHM y 9.333mm² de área total. Dentro de estos valores, los que menos variaron fueron el largo, ancho y RHM. Las semillas presentaron una quilla desde la parte dorsal hasta la parte ventral, el color de la testa fue negro opaco, además de mostrar una forma asimétrica, tipo ovoide y en la RHM de forma ovoide, que las agrupa dentro de la categoría b1 que presentó Arrollo-Cosultchi (2004) para las semillas del género *Stenocereus*.

Las semillas de *Stenocereus zopilotensis* presentaron diferencias en las cuatro variables, (Largo, Ancho, RHM, y Área) y en cada nivel. Para las variables largo, ancho, área total el nivel que aportó más a esta variabilidad fue el nivel de árbol, seguido por el nivel del fruto y por último, el nivel de la rama. Sin embargo, para la RHM el comportamiento fue diferente: por un lado el nivel que aportó más variación fue el árbol, seguido por la rama y por el fruto. Esta última variable se observó muy constante por lo que se reafirma que esta variable métrica se puede utilizar como un carácter taxonómico que puede contribuir en la descripción de especies.

De acuerdo a la comparación dentro del género *Stenocereus*, *S. zopilotensis* presenta semillas muy grandes en comparación con sus congéneres, las especies que más se acercan al tamaño de esta especie son *S. fricci* y *S. kerberi* y de acuerdo a los tamaños presentados por Barthlott y Hunt (2000) para la subfamilia, las semillas de *S. zopilotensis* se encontrarían dentro de la categoría muy grande y dentro de toda la familia, estas semilla

presentaría un tamaño intermedio, ya que las semillas de Opuntioideae son las más grandes dentro de Cactaceae.

RECOMENDACIONES

En este estudio se utilizaron para resguardar los frutos bolsas de organza española, pero no fueron eficientes por algunos frutos fueron consumidos por aves. Por ello se recomienda utilizar bolsas de papel estraza, las cuales no permiten que las aves vean los frutos y además son resistentes al clima. Estandarizar las medidas por lo menos para la familia, por que la RHM no esta considerada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aarssen, L. W. (2005) Why don't bigger plants have proportionately bigger seed? *Oikos* 111: 1999-2006.
- Alonso-Blanco, C., Blankestijn H, Corries, Hanhart & Koornneef, M (1999) Natural allelic variation at seed size loci in relation to other life history traits of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biology* 47: 10-4717.
- Anderson E.F. (2001) *The Cactus Family*. Timber Press, Portland.
- Arias, S., Terrazas, T. & Cameron, K. (2003) Phylogenetic analysis of *Pachycereus* (Cactaceae, Pachycereae) based on chloroplast and nuclear DNA sequences. *Systematic Botany* 28: 547-557.
- Arias, S. & Terrazas T. (2004) Seed morphology and variation in the genus *Pachycereus* (Cactaceae). *Journal of Plant Research* 117: 277-289.
- Arreola-Nava, H. (2000) *Sistemática de las especies de Stenocereus (A. Berger) Riccob, con areólas morenas (Cactoideae: Cactaceae)*. Colegio de Posgraduados, Montecillo: Tesis de Maestría en Ciencias.
- Arreola-Nava, H. J. (2006) *Sistemática filogenético del género Stenocereus (Cactaceae)*. Colegio de Posgraduados, Montecillo: Tesis de Doctorado en Ciencias.
- Arreola-Nava, H. J. y Terrazas, T. (2004) *Stenocereus zopilotensis* Arreola-Nava and Terrazas (Cactaceae), a new species from México. *Brittonia* 56: 96-100.
- Arroyo-Cosultchi, G. (2004) *Morfología de las semillas de las especies del género Stenocereus (Pachycereae, Cactaceae)*. Los Reyes Iztacala, Edo. México: Tesis de Licenciatura.
- Arroyo-Cosultchi, G., Terrazas, T., Arias, S. & Arreola-Nava, H. J. (2006) The systematic significance of seed morphology in *Stenocereus* (Cactaceae). *Taxon* 55: 983-992.
- Arroyo-Cosultchi, G., Terrazas, T., Arias, S. & López-Mata, L (2007) Morfología de la semilla de *Neobuxbaumia* (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81: 17-25.
- Arroyo-Cosultchi, G., Terrazas, T., Arias, S. & Lopez-Mata, L. (2010) Delimitación de *Neobuxbaumia mezcalensis* y *N. multiaereolata* (Cactaceae) con base en análisis multivariado. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 86: 53-64.
- Ayala-Cordero, G., Terrazas, T., López-Mata, L. & 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* 29: 692-697.

- Barthlott, W. & Hunt D. (1993) Cactaceae. En K. Kubitzky, *The families and genera of vascular plants* (Vol. II). Springer-Verlag. Berlin
- Barthlott, W. & Hunt D. (2000) Seed diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae. *Succulent Plant Research* 5: 1-173.
- Bawa, K. (1980) Evolution of dioecy in flowering plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 15-19.
- Begon, M. (1985) A general theory of life-history variation. En R. A. Sibly, *Behavioural ecology. Ecological consequences of adaptive behaviour*. Blackwell Scientific Publications, London.
- Benson, L. (1959) *Plant classification*. D.C. Heath and Company, Lexington Massachusetts
- Besnier F. (1988) *Semillas Biología y Tecnología*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid
- Buxbaum, F. (1953) Morphology of cacti. Section II. Flowers. Abbey Garden Press, Pasadena, California
- Casas, A., Caballero, J., Valiente-Banuet, A., Soriano, J. A. & Dávila, P. (1999) Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central Mexico. *American Journal of Botany* 86: 534-542.
- Cavers, P. B. & Harper, J. L. (1966) Germination polymorphism in *Rumex crispus* and *Rumex obtusifolius*. *Journal of Ecology* 54: 367-382.
- Clark-Tapia, R., Alfonso-Coronado, C., Eguiarte, L. E. & Molina-Freaner, F. (2005) Clonal diversity and distribution in *Stenocereus eruca* (Cactaceae), a narrow endemic cactus of Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 92: 272-278.
- Clark-Tapia, R. & Molina-Freaner, F. (2003) The genetic structure of a columnar cactus with a disjunct distribution: *Stenocereus gummosus* in the Sonoran desert. *Heredity* 90: 443-450.
- Cody, M. (1966). A general theory of clutch size. *Evolution* 20: 174-184.
- Corner E.J.H. (1949) The durian theory or the origin of the modern tree. *Annals of Botany* 52: 367-414.
- Corner E.J.H. (1976) *The Seed of Dicotyledons*. Ed. Cambridge University, United States.
- Datta, S. C., Evenari, M. & Guterman, Y. (1970) The heteroblasty of *Aegilopsis ovata* L. *Israel Journal of Botany* 19: 463-483.

- Edwards, E. J., Nyffeler, R. & Donoghue M. J. (2005) Basal cactus phylogeny; implications of *Pereskia* (Cactaceae) paraphyly for the transition to the cactus life form. *American Journal of Botany* 92: 1177-1188.
- Eriksson, O. & Ehrlén, J. (1992) Seed and microsite limitation of recruitment in plant populations. *Oecología* 91: 360-364.
- Espinosa-Osorio, G. & E. M. Engleman. (1998). *Breve recopilación de anatomía de semillas*. Colegio de Posgraduados, Montecillos.
- Foster, S. (1986) On the adaptive value of large seeds for tropical moist forest trees: A review and synthesis. *Botanical Review* 52: 260-299.
- Fenner, M. & Thompson, K. (2005) *The Ecology of Seeds*. Cambridge, UK.
- Gibson, A. C. & Horak K. E. (1978) Systematic anatomy and phylogeny of Mexican B columnar cacti. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 65: 999-1057.
- Godínez-Álvarez H. & Valiente-Bunuet, A. (1998) Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cactus species: the role of soil and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *Journal of Arid Environments* 39: 21-31.
- Griffith, M. P. (2004) What did the first cactus look like? An attempt to reconcile the morphological and molecular evidence. *Taxon* 53: 493-499.
- Guo Hui, Mazer J. Susan & Guozhen Du (2010) Geographic variation in seed mass within and among nine species of *Pedicularis* (Orobanchaceae): effects of elevation, plant size and seed number per fruit. *Journal of ecology* 98: 1232-1242
- Harper, J. L., Lovell, P. H. & Moore, K. G. (1970) The shapes and sizes of seeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1: 327-356.
- Hernandez-Morales, Y. (2009) *Variación morfológica de las semillas en Stenocereus dumortieri*. México: Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Heslop-Harrison, J. (1964) Forty years of genecology. *Advances in Ecological Research* 2: 159-247.
- Hunt, D. R. & Taylor, N. P. (1990) The genera of Cactaceae: progress towards consensus. *Bradleya* 8: 85-107.
- Hunt, D. (1999) *CITES. Cactaceae Checklist. 2nd. edition*. Remous Limite., Milborne Port: Royal Botanic Gardens Kew.
- Ihaka, R. & Gentleman, R. (1996.) R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5: 299-314.

- Janzen, D. H. (1977) Variation in seed size within a crop of a Costa Rican *Mucuna andreana* (Leguminosae). *American Journal of Botany* 64: 347-349.
- Jones, S. J. (1988) *Sistemática Vegetal* (2° ed.). Mc Graw Hill, México.
- Kang, H. & Primack, R. B. (1999) Evolutionary change in seed size among some legume species: the effects of phylogeny. *Plant Systematics and Evolution* 219: 151-164.
- León de la Luz, J. L. & Domínguez-Cadena, R. (1991) Evaluación de la reproducción por semilla de la Pitalla agria (*Stenocereus gummosus*) en Baja California Sur. *Acta Botanica* 14: 75-87.
- Lord, J. M. (1994) Variation in *Festuca-novae-zelandiae* Cockayne germination behaviour with altitude of seed source. *New Zealand Journal of Botany* 32: 227-235.
- Loza-Cornejo, S., López-Mata, L. & Terrazas, T. (2008) Morphological seed traits and germination of six species of Pachycereae (Cactaceae). *Journal of Professional Association* 10: 71-84.
- Loza, S. C. (2004) *Características del desarrollo de plántulas de seis especies de Pachycereae (Cactoideae-Cactaceae)*. México, Montecillo: Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Posgraduados.
- Luna-Morales C., Aguirre R. R. & Peña-Valdivia C. (2001) Cultivares tradicionales Mixtecos de *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus* (Cactaceae). *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 72: 131-155.
- MacArthur, R. H. & Wilson, E. O. (1967) *The Theory of Island Biogeography*. University Press USA.
- Méndez, M. (1997) Sources of variation in seed in *Arum italicum*. *International Journal of Plant Sciences* 158: 298-305.
- Meregalli M., Gert, N., & Caramiello, R. (2000) Seed morphology in the *Gymnocalycium bossei*- group (Cactaceae): a useful tool for taxonomic studies". *Allionia* 37: 217-232.
- Metzing, D. & Thiede, J. (2001) Testa sculpture in the genus *Frailea* (Cactaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 137: 65-70.
- Michaels, H. J., Benner, B., Hartgerink, A. P., Lee, T. D., Rice, S., Wilson, M. F. & Bertin, R. E. (1988) Seed size variation: magnitude, distribution, and ecological correlates. *Evolutionary Ecology* 2: 157-166.

- Moles, A. T., Ackerly, D. D., Webb, C. O., Tweddle, J. C., Dickie, J. B., Smith, R., Leishman, M. R., Mayfield, M. M., Pitman, A., Wood J. T. & Westoby M. (2007) Global patterns in seed size. *Global Ecology and Biogeography* 16: 109-116
- Moles, A. T., Ackerly, D. D., Webb, C. O., Tweddle, J. C., Dickie, J. B. & Westoby, M. (2005a) A brief history of seed Size. *Science* 307: 576-580.
- Moles, A. T., Ackerly, D. D., Webb, C. O., Tweddle, J. C., Dickie, J. B., Pitman, A. J. & Westoby, M. (2005b) Factors that shape seed mass evolution. *Proceeding of the Natural Academy of Sciences of the United States of America* 307: 576-580.
- Moles, A. T., Falster, D. S., Leishman, M. R. & Westoby, M. (2004) Small seeded species produce more seeds per square metre of canopy per year, but not per individual per lifetime. *Journal of Ecology* 92: 384-396.
- Moles, A. T. y Westoby, M. (2003) Latitude, seed predation and seed mass. *Journal of Biogeography* 30: 105-128.
- Muños, B. C., Sánchez, J. A., Montejo, L. & Herrera-Peraza, R. (2001) Características morfológicas y fisiológicas de semillas de *Prunus occidentalis*: Comparación entre especies de diferentes estrategias sucesionales. *Ecotropicos* 14: 1-10.
- Niembro, R. A. (1989) *Semillas de Plantas Leñosas Morfología comparada*. Limusa México.
- Núñez-Farfán, J. & Eguiarte, L. E. (1999) *Evolución Biológica* (1 ed.). P. Magaña, Ed., Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Obeso, J. R. (1993) Seed mass variation in the perennial herb *Asphodelus albus*: source of variation and position effect. *Oecologia* 93: 571-575.
- Queenborough, S. A., Mazer, S. J., Vamosi, S. M., Garwood, N. C., Valencia, R. & Freckleton, R. P. (2009) Seed mass, abundance and breeding system among tropical forest species: do dioecious species exhibit compensatory reproduction or abundances? *Journal of Ecology* 97: 555-566.
- SAS Institute. (2008). *User's Guide, Release (9.2)*. SAS Institute Inc, USA.
- Sakai, S. y Sakai, A. (1995) Flower size-dependent variation in seed size: theory and test. *The American Naturalist* 145: 918-934.
- Salisbury, E. J. (1942). *The reproductive capacity of plants*. G. Bell and sons, London.
- Schaal, B. A. (1980) Reproductive capacity and seed size in *Lupinus texensis*. *American Journal of Botany* 67: 703-709.

- Staton, M. L. (1984) Seed variation in wild radish: effect of seed size on components of seedling and adult fitness. *Ecology* 65: 1105-1112.
- Stöcklin, J. & Favre, P. (1994) Effects of plant size and morphological constraints on variation in reproductive components in two related species of *Epilobium*. *Journal of Ecology* 82: 735-748.
- Stromberg, J. C. & Patten, D. T. (1990) Variation in seed size of a southwestern riparian tree, Arizona walnut (*Junglans major*). *American Midland Naturalist* 124: 269-277.
- Stuppy, W. (2001) Seed characters and the classification of the Opuntioideae. En Hunt, D. & Taylor, N. *Studies in the Opuntioideae (Cactaceae)*. Succulent Plant Research 6: 25-58.
- Taylor, N. P. (2005) *Maihuenia poeppigii*. *Curtis's Botanical magazine* 22: 105-109.
- Terrazas, T. & Loza-Cornejo, S. (2002) Phylogenetic relationships of Pachycereae: a cladistic analysis based on anatomical-morphological data. En T. H. Fleming y Valiente-Banuet (eds), *Columnar Cacti and their mutualists*. The University of Arizona Press, USA.
- Thompson, J. N. (1984) Variation among individual seed masses in *Lomatium grayi* (Umbellifera) under controlled condition: magnitude and partitioning of variance. *Ecology* 65: 722-728.
- Valiente-Banuet, A. (2002) Vulnerabilidad de sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 99-104.
- Vamosi, S. M., Mazer, S. J. & Cornejo, F. (2008) Breeding system and seed size in a Neotropical flora: testing evolutionary hypotheses. *Ecology* 89: 2461-2472.
- Vargas, E. M., Castro, E., Macaya, G. & Rocha, O. J. (2003) Variación del tamaño de frutos y semillas en 38 poblaciones silvestres de *Phaseolus lunatus* (Fabaceae) del valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 51: 707-724.
- Vaughton, G. & Ramsey, M. (1998) Sources and consequences of seed mass variation in *Banksia marginata* (protaceae). *Journal of Ecology* 86 563-573.
- Vazquez-Yañes, C. & Orozco-Segovia, A. (1987) Fisiología ecológica de semillas en la estación de biología tropical "Los Tuxtlas". *Revista Biología Tropical* 35: 85-96.
- Venable, D. L. (1992) Size-number trade-offs and the variation of seed size with plant resource status. *The American Naturalist* 140: 287-304.
- Venable, D. L. & Rees, M. (2009) The scaling of seed size. *Journal of Ecology* 97: 27-31.

- Westoby, M., Leishman, M. & Lord, J. (1996) Comparative ecology of seed size and dispersal. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London* 351: 1309-1318.
- Westoby, M., Jurado, E. & Leishman, M. (1992) Comparative evolutionary ecology of seed size. *Trends in Ecology and Evolution* 7: 368-372.
- Willson, A. M., Rice, B. L. & Westoby, M. (1990) Seed dispersal spectra: a comparison of temperate plant communities. *Journal of Vegetation Science* 1: 547-562.
- Winn, A. A. (1991) Proximate and ultimate source of within-individual variation in seed mass in *Prunella vulgaris* (Lamiaceae). *American Journal of Botany* 78: 838-844.
- Winn, A. & Werner, P. A. (1987) Regulation of seed yield within and among populations of *Prunella vulgaris*. *Ecology* 68: 1224-1233.
- Wolf, L. L., Hainsworth, F. R., Mercier, T. & Benjamin, R. (1986) Seed variation and pollinator uncertainty in *Ipomopsis aggregate* (Polemoniaceae). *Journal of Ecology* 74: 361-371.

WEB

Instituto de Biología. "***Thompsonella xochipalensis* Gual, S. Peralta & Pere** - **IBUNAM:MEXU:PVT828894**".

<<http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:MEXU:PVT828894>>

Instituto de Biología. "***Agave aff. angustifolia* Haw.** - **IBUNAM:MEXU:AGA1193581**".

UNIBIO: Colecciones Biológicas. 2008-10-22.

<<http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:MEXU:AGA1193581>>

ANEXO 1

**Calendario fenológico del desarrollo de
flores y frutos de *S. zopilotensis***

19 de Mayo de 2006

Se comenzó con una inspección en la zona de estudio solo se observaron algunos primordios; se eligen los individuos para el análisis.

26 de Mayo de 2006

Comienzan a brotar los primordios foliares la mayoría miden alrededor de 10 a 40 mm y algunos otros un poco más.

02 de Junio de 2006

Los primordios foliares crecen un poco más, ya tienen un tamaño de 3 cm y se establecen algunas marcas en algunos de ellos.

23 de Junio de 2006

Ya se pueden marcar las flores, muchas de ellas tienen un crecimiento muy rápido y tienen un tamaño de 4 a 7 cm y empiezan a convertirse en frutos.

01 de Julio de 2006

Para esta fecha las flores tienen un tamaño de 7 cm y ya se presentan muchos frutos pero también se presentan muchas aborsiones de flores que no llegaron a la etapa de fruto.

10 de Julio de 2006

Los frutos empiezan a desarrollarse la mayoría tiene un tamaño mediano y empiezan a aumentar su diámetro hay aun flores pequeñas y muy pocos primordios foliares.

17 de Julio de 2006

Los frutos están maduros se empieza con la colecta de los mismos la mayoría de estos muestran color rojo intenso, hay algunas flores todas casi en antesis y ya no hay primordios foliares.

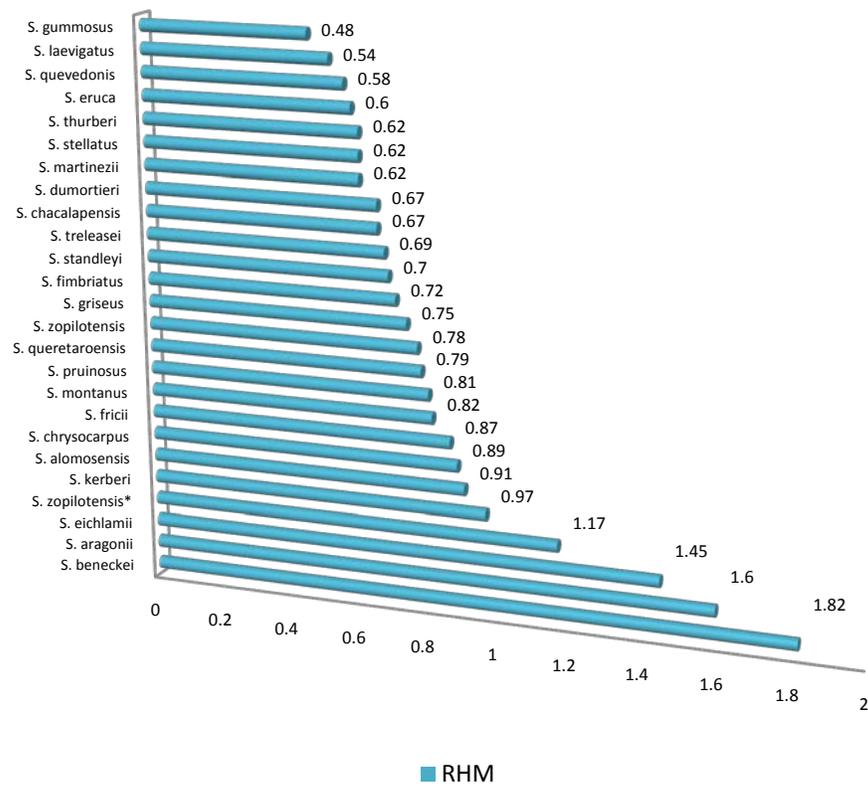
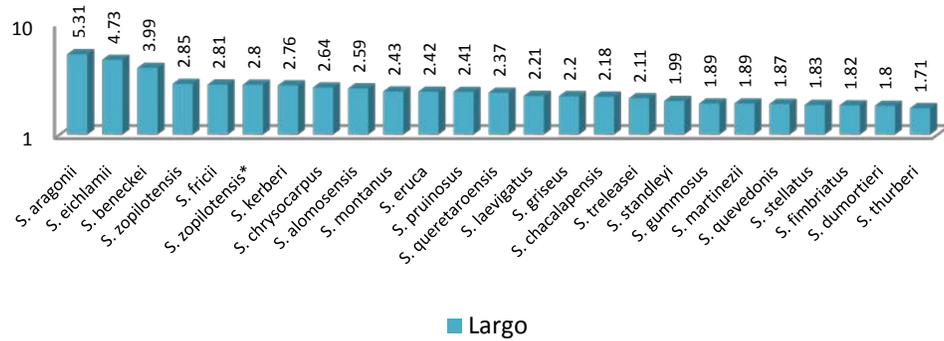
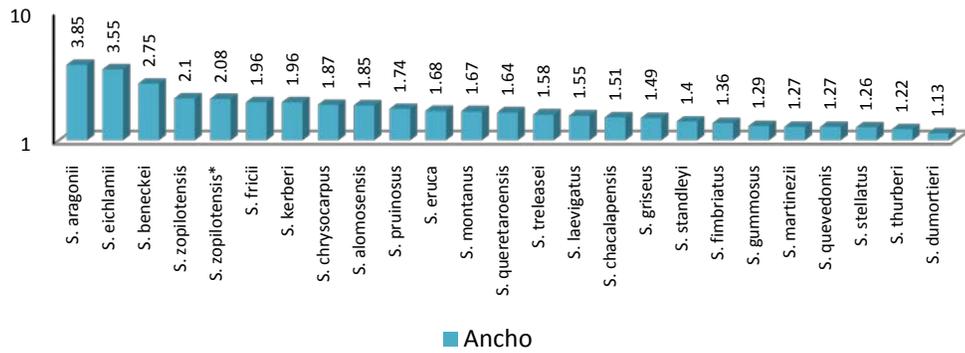
11 de Agosto de 2006

Se realiza la colecta de los últimos frutos que estuvieron embolsados todos muestran un color rojo intenso, muy pocos están amarillos y en los árboles hay muchos que ya están comidos por las aves se muestran pocas flores y pocos frutos que no estén picoteados.

18 de Agosto de 2006

Se termina el muestreo y solo hay puras cascarras vacías y alguno que otro fruto, ya no hay flores.

ANEXO 2



Valores de la media para largo, ancho y RHM de las semillas dentro del género *Stenocereus* (registrado y modificado de Arroyo-Cosultchi.G. 2004).