



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Caracterización morfológica de la semilla y germinación

De Mammillaria densispina (J.M Coult.)

Orcutt (Cactaceae)”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

NOMBRE DEL ALUMNO:

LIZETH SERNA NAVARRETE

TUTOR

DRA. TERESA MARGARITA TERRAZAS
SALGADO

2007



Facultad de Ciencias
UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE CIENCIAS

División de Estudios Profesionales



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e .

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

“Caracterización morfológica de la semilla y germinación de Mammillaria densispina (J.M. Coult.) Orcutt (Cactaceae)”

realizado por **Serna Navarrete Lizeth**, con número de cuenta **098244520** quien opta por titularse en la opción de **Tesis** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario	M. en C.	Rosenda Margarita Ponce Salazar	<i>R. Margarita Ponce Salazar.</i>
Propietario	Dr.	Angel Salvador Arias Montes	<i>Angel Salvador Arias Montes</i>
Tutor(a) Propietario	Dra.	Teresa Margarita Terrazas Salgado	<i>Teresa Margarita Terrazas Salgado</i>
Suplente	M. en C.	Armando Gómez Campos	<i>Armando Gómez Campos</i>
Suplente	Biól.	Gabriel Olalde Parra	<i>Gabriel Olalde Parra</i>

Atentamente
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Univeritaria, D. F., a 1o. de junio del 2007
COORDINADOR DE LA UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA

Zenón Cano Santana
DR. ZENÓN CANO SANTANA

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGÍA

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

Dedicatoria:

Agradezco a mis padres por el apoyo brindado a lo largo de mi vida tanto en los momentos de felicidad y tristeza. Por darme las herramientas necesarias para librar los tropiezos del sendero de la vida, luchar para alcanzar mis metas y sueños.

A mi hermano por ser el compañero de la infancia hasta nuestra vida adulta.

A mi oso que en noches de desveló siempre estuvo a mi lado.

Agradecimientos:

Agradezco a la Doctora Teresa Terrazas por su guía, comprensión, paciencia, asesoramiento en la elaboración y redacción de esta tesis.

A Gabriel Olalde por introducirme en el maravilloso mundo de las cactáceas, brindarme su amistad, orientación y apoyo.

A mis sinodales por el tiempo brindado para mejorar mi trabajo.

Al Ingeniero Benjamín Aburto Sánchez por la donación de las semillas de Mammillaria densispina.

Al Jardín Botánico I-B UNAM por los bellos momentos de tranquilidad, reflexión, conocimiento y nuevos amigos que conocí al realizar el servicio social y la tesis.

A mis amigos que me otorgaron su sincera compañía, amistad, momentos de felicidad, parrandas (borracheras) y las prácticas de campo inolvidables, en especial a Ale, Cínthya, Virí, Síomara, Nieves, Samantha, Blas, Raúl, Marina, Magal, Ásael, Jack, Tío, Nax, Hilda, Cris, a los compañeros del laboratorio de Cactología y a todos aquellos que aun cuando no los mencione fueron importantes en mi estancia en la facultad de Ciencias de la UNAM.

ÍNDICE

Índice de cuadros	i
Índice de figuras	ii
Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	4
Antecedentes	5
La semilla	5
Semillas en cactáceas	6
Proceso de la germinación	9
Factores que intervienen en la germinación	11
Respuesta germinativa	17
Índices para estudiar la germinación	19
La especie en estudio	19
Material y Métodos	21
Recolecta de frutos y selección de semillas	21
Morfología de la semilla	21
Germinación	22
Análisis Estadísticos	23
Resultados	24
Semillas por fruto	24
Peso de las semillas	24
Tamaño de las semillas	26
Morfología de las semillas	27
Germinación	29
Discusión	40
Número de semilla por fruto	40
Peso de la semilla	40
Tamaño de la semilla	41
Morfología de la semilla	42
Germinación	43
Conclusiones	46
Literatura citada	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Categoría de semillas de <i>Mammillaria densispina</i>	21
2	Media y desviación estándar del número de semillas por individuo	24
3	Peso de 10 semillas por fruto de 14 individuos	25
4	Comparación de medias del peso de semillas por individuo	25
5	Valores de F de los atributos del tamaño de la semilla	26
6	Tamaño de las semillas	26
7	Valores de F y probabilidad del análisis de varianza para el total de Germinación por categoría de semilla	29
8	Valores de la media y desviación estándar por fecha de siembra	30
9	Valores de χ^2 de las curvas de germinación por fecha de siembra	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Diagrama que muestra la sección de una semilla	7
2	Tipos de ornamentación de la testa	8
3	Curva de germinación sigmoide	17
4	Curva de germinación con igual porcentaje de germinación	18
5	Micromorfología de las semillas de <i>M. densispina</i> (amorfa y normal)	27
6	Micromorfología de las semillas de <i>M. densispina</i> (pequeña y grande)	28
7	Porcentaje total de germinación de las diferentes fechas de siembra	30
8	Porcentaje total de germinación de Mayo	31
9	Porcentaje total de germinación de Julio-Mayo	32
10	Porcentaje total de germinación de Junio	33
11	Curvas de germinación de Mayo	34
12	Curvas de germinación de Julio-Mayo	35
13	Porcentaje total de germinación de Julio-Junio	36
14	Curva de germinación de las diferentes fechas de siembra	36
15	Curvas de germinación de Junio	38
16	Curvas de germinación de Julio-Junio	39

Resumen

En el presente trabajo se estudió la morfología de la testa de las semillas de *Mammillaria densispina* y su respuesta germinativa en diferentes fechas de cosecha y de siembra. Se cuantificó el número de semillas por fruto de catorce individuos, se pesaron grupos de 10 semillas y se calculó el peso individual. El número de semillas por fruto fluctuó de 72 hasta 152. El individuo 3 tuvo las semillas de menor peso (1.92 mg) mientras que el individuo 12 presentó las semillas más pesadas de (2.73 mg). Además se estudió la micromorfología de las semillas. Las semillas fueron preparadas con técnicas convencionales para el microscopio electrónico de barrido y se analizó su tamaño, color, y características de la testa. El análisis de varianza indicó diferencias significativas para los caracteres largo, ancho de la semilla y el largo y ancho de la región hilo micropilar. El largo de las semillas de la categoría grande es superior con un promedio 0.974 mm, pero entre las amorfas y pequeñas no existen diferencias con valores de 0.842 mm y 0.831 mm respectivamente. Para el ancho la categoría de las semillas grandes es superior en su media al resto. A su vez las pequeñas y amorfas son iguales entre sí con valores 0.595 mm y 0.622 mm. Para el largo y el ancho de región hilo micropilar los valores menores los presentaron las categorías pequeña y amorfa respectivamente. Los porcentajes de germinación fueron altos (75 a 95%) excepto para las semillas cosechadas y sembradas en Mayo, ya que éstas presentaron un porcentaje significativamente menor al resto, algunas de las categorías no germinaron por ejemplo el individuo 4, las grandes y amorfas, en el individuo 5 las normales y por último el individuo 7 las normales. El mes con mejor respuesta germinativa fue el de Junio debido a que las condiciones de cosecha fueron las más óptimas. El análisis estadístico con la prueba de Wilcoxon mostró diferencias significativas para la germinación entre todas las fechas. Se detectaron diferencias estadísticamente significativas en las curvas de germinación para la categoría de las grandes y en las diferentes fechas de siembra. Lo anterior indica que las semillas de *M. densispina* por fecha de siembra responden diferencialmente dependiendo de la fecha de cosecha de los frutos de la planta madre y la caracterización micromorfológica realizada en las semillas aportó nueva información de interés taxonómico.

Introducción

La república Mexicana posee una flora megadiversa, y cerca del 55 % se distribuye exclusivamente en las zonas áridas y semiáridas. Rzedowzki (1991) menciona que las regiones desérticas funcionan como islas ecológicas que son de gran importancia ya que éstas cuentan con condiciones climáticas drásticas por lo que se genera especies no comunes. Estas condiciones actúan como un mecanismo efectivo de aislamiento ecológico, que da lugar a un alto grado de endemismo en estas áreas.

La familia de las cactáceas está constituida aproximadamente por 2000 especies, es endémica de América y se distribuye desde el norte de Canadá hasta la Patagonia en Argentina y desde el nivel de mar hasta los 5100 m de altitud en Perú (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995). México es un importante centro de cactáceas endémicas donde se ha registrado un alto índice a nivel genérico (73 %) y específico (78 %) (Hernández y Godínez-Álvarez, 1994).

Las cactáceas son uno de los grupos más amenazados del reino vegetal, muchas de las especies se han visto afectadas por las presiones del desarrollo tecnológico principalmente, debido al cambio del uso del suelo por actividades agrícolas y pecuarias, destrucción del hábitat y la colecta ilícita de plantas silvestres para su venta como plantas de ornato en los mercados nacionales e internacionales; también las bajas tasas de crecimiento de las cactáceas y los ciclos de vida muy largos se suman a las causas biológicas y ecológicas que afectan a casi todas las especies de plantas suculentas (Hernández y Godínez-Álvarez, 1994); en consecuencia, la familia completa está incluida en el Apéndice I y II de la Convención sobre el Tráfico Internacional de Especies Silvestres de Flora y Fauna (CITES).

Culturalmente las especies de esta familia han jugado un papel muy importante en distintos grupos étnicos del país ya que éstas han sido empleadas como alimento, materiales para la construcción de viviendas, plantas de ornato y medicinal. Otro uso es el mágico-religioso, algunas especies fueron consideradas como plantas sagradas y, en ocasiones, catalogadas en la categoría de dioses (Bravo-Hollis, 1978).

Una de las primeras necesidades es generar conocimiento de las especies y de los sistemas que se requieren conservar, así como de información básica e indispensable,

en la que se incluyan aspectos de su biología y ecología (Hernández y Godínez-Álvarez, 1994; Contreras, 2000).

En la familia Cactaceae, el género *Mammillaria* es uno de los más representativos en México, ya que por lo menos 150 de sus especies son endémicas del país (página en red: www.conabio.gob.mx, 2003). Las especies del género *Mammillaria*, reciben este nombre debido a que sus tubérculos o podarios tienen forma de mamilas, en la axila de los podarios crecen tricomas y cerdas generalmente, en la parte superior están incrustadas las espinas que se diferencian en centrales y radiales; carecen totalmente de hojas; las raíces son fibrosas o tuberosas, estas últimas para almacenar agua. Generalmente las especies de este género se desarrollan de manera aislada, no forman ramificaciones y son terrestres o rupícolas (Benson, 1982). Las flores nacen en la axila de los tubérculos, son pequeñas, de color variado, muy llamativas y atractivas; el fruto es cilíndrico o cónico, sin areólas persistentes, la semilla es de uno o dos milímetros de largo, piriforme, ovoide o elipsoide (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Por último es importante remarcar que debido a la riqueza de especies de cactáceas en México y sus altos índices de endemismos, y las presiones antropogénicas a las que están sujetas es importante generar información básica de un número alto de especies, como son las características de sus semillas y su respuesta germinativa.

Los estudios de germinación en especies de cactáceas son esenciales para entender las primeras fases de su ciclo de vida, la dinámica y la estructura poblacional en sus áreas de distribución natural; mientras que los estudios de morfología aportan una descripción detallada que permite descubrir caracteres que tienen valor en la sistemática de la familia. Por ello los objetivos de esta investigación son:

Objetivo general

- Estudiar la respuesta germinativa de *Mammillaria densispina* con base en la morfología y el tamaño de su semilla, así como en la fecha de cosecha y de siembra.

Objetivos Particulares

- Cuantificar el número de semillas por fruto y el peso húmedo de semilla de *Mammillaria densispina*.
- Cuantificar el tamaño y describir la forma y la micromorfología de la testa en semillas de *Mammillaria densispina*.
- Evaluar la respuesta germinativa de la semilla de *Mammillaria densispina* por cosecha y por fecha de siembra después de uno o dos meses de almacenamiento.

Antecedentes

La semilla

En el ciclo de vida de cualquier especie de planta una de las etapas críticas es la que transcurre en forma de semilla. Esta estructura es el producto de la reproducción sexual mediante la fecundación del óvulo con el gameto masculino en las plantas superiores y una estructura de reposo para los procesos metabólicos que están suspendidos, debido a la ausencia de agua principalmente (Bidwell, 1990). La fase final de la maduración del fruto, generalmente se caracteriza por una deshidratación parcial y por la aparición de sustancias inhibitoras de la multiplicación celular y del metabolismo, como el ácido abscísico, que ejercen efecto en la semilla, acelerando el proceso de aparición de quiescencia y latencia, de tal modo que la semilla alcanza la maduración y resistencia que le permite la dispersión al medio externo (Pijl, Van Der 1969).

Asimismo la semilla es el producto de la fecundación, dispersión y origen de nuevos individuos, además de presentar combinaciones de características originales e irrepetibles que ayudaran a su crecimiento y germinación en el medio ambiente. En la naturaleza, las semillas son el alimento de algunas aves, insectos y mamíferos. Además, presentan una gran diversidad en cuanto a su morfología y fisiología, generando muchas diferencias entre las especies, como: tamaño, forma, organización de tejidos, tipo de reserva, grado de deshidratación cuando éstas son liberadas del fruto, latencia y longevidad (Vázquez-Yañez, 1999).

El número producido de semillas y el tamaño de las semillas afectarán la capacidad de supervivencia y perpetuación de las especies. Las plantas que producen muchas semillas pequeñas se diseminan más ampliamente y tienen mayores oportunidades de encontrar un sitio favorable para germinar y crecer; sin embargo, su tamaño pequeño aporta poco al crecimiento de la nueva planta y ésta depende muy pronto de los recursos disponibles en su medio, por lo que su riesgo de morir es muy alto. Además tienen menor resistencia a los efectos de la defoliación por herbívoros y pueden ser aplastadas fácilmente por la hojarasca que cae al suelo. Aunque esto se compensa de alguna manera por el gran número, sólo una pequeña fracción sobrevive a todos esos accidentes.

Las semillas grandes se producen en menor número y frecuentemente se diseminan a distancias más cortas, pero cuentan con mayor cantidad de recursos para iniciar su crecimiento y establecimiento en lugares con escasez de recursos, por ejemplo en la sombra de los bosques, ya que producen plántulas más grandes y resistentes, con mayor superficie de raíces y de hojas (Vázquez-Yañez *et al.*, 1997).

Semillas en cactáceas

Las semillas de las cactáceas presentan variaciones en la forma, tamaño, estructura, color de la testa, características del embrión y de los tejidos almacenadores de sustancias nutritivas y el número de semillas producidas por fruto. Buxbaum (1955) y Flores Vindas (1973) consideran estos caracteres de gran importancia filogenética y taxonómica. Las semillas se caracterizan por tener una gran diversidad en su forma, la cual varía de circular a oval, elíptica, alargada o de forma irregular. Barthlott y Hunt, (2000) señalan que la forma de la semilla tiene importancia para distinguir especies y géneros. Por ejemplo, en algunas de las especies de *Mammillaria* las semillas son más largas que anchas y en *Coryphantha* es lo contrario.

El desarrollo que experimentan los óvulos después de la fecundación para transformarse en semillas, implica una serie de cambios estructurales, en cactáceas fueron estudiados por varios autores (Buxbaum, 1955; Maheshwari, 1955; Engleman, 1960; Flores Vindas, 1973). Flores (1976) y Flores y Engleman (1976) analizaron caracteres morfológicos y anatómicos de óvulos y semillas maduros de especies pertenecientes a las subfamilias Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae (tribus Echinocereae, Hylocereae, Rhipsalideae y Pachycereae). Taylor y Clark (1983) estudiaron la micromorfología de las semillas del género *Ferocactus* y Friedrich y Glaetzle (1983), la micromorfología del género *Echinopsis*. Hernández-García y García-Villanueva (1991) compararon la anatomía de óvulos y semillas de *Mammillaria rhodantha* y *Mammillaria compressa*. Bregman (1992) analizó la morfología externa e interna de las semillas de algunos géneros de la subtribu Borzicactinae. Barthlott y Hunt (2000) describen la micromorfología de las semillas de numerosas especies de la subfamilia Cactoideae. Nuñez-Mariel (2004) realizó un estudio embriológico comparativo de cinco especies de la tribu Pachycereae.

El embrión posee cotiledones grandes y curvos (Fig. 1) y el hipocótilo delgado en las cactáceas primitivas (*Pereskioideae* y *Opuntioideae*) y ligeramente más reducido en especies de la subfamilia Cactoideae. El endosperma es un tejido de almacenamiento que se forma en el saco embrionario al efectuarse la fecundación, y que es digerido por el embrión durante su desarrollo. Las semillas están cubiertas por la testa originada de los tegumentos de los rudimentos seminales. Cada tegumento consta de dos capas de células que aumentan en la región micropilar. El tegumento interno deja una pequeña abertura que es el micrópilo, el externo es más corto, no llega al micrópilo y sus células contienen abundantes taninos responsables de la dureza de la testa y de su color casi oscuro.

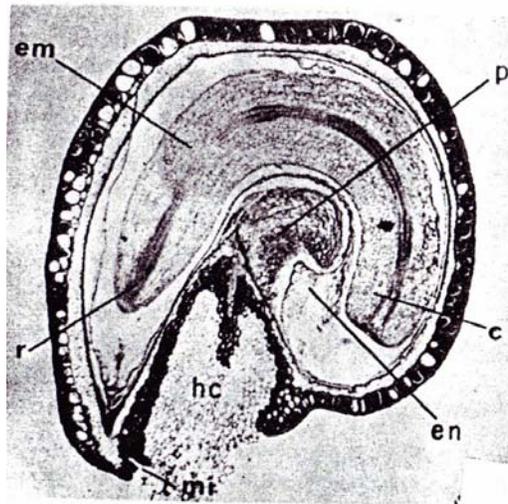


Figura 1. Diagrama de una sección de la semilla de cactácea (tomado de Bravo-Hollis, 1978 según Engleman, 1960). hc = hilo; mi = micrópilo; en = endosperma; p = perispermo; em = embrión; c = cotiledón.

La cubierta superficial (testa) de las semillas en las cactáceas está formada por el tegumento externo del óvulo. En *Opuntioideae* está cubierto por otra pared, un arilo, el cual forma una coraza dura alrededor de la semilla. En otros géneros también presentan un delgado arilo y la cubierta es rugosa (Leuenberger, 1974). La cubierta superficial es de importancia taxonómica ya que contribuye al diagnóstico de las especies y juega un papel importante para la germinación. La testa varía en color, resistencia y ornamentación (Fig. 2); sus colores más frecuentes son el castaño, café y negro en diversas tonalidades; por ejemplo, las superficies con ornamentaciones reticuladas, onduladas verrucosas, con gránulos de almidón como reserva como es el caso de *Aztekium ritterii* y *Mammillaria*

winteriae, presentan una rápida germinación (Maiti *et al.*, 1994). El caso de *Pereskia*, la testa es lisa, por lo general está provista de ornamentaciones que dependen de la conformación de las células de la capa externa, como el caso de engrosamientos, encogimientos, abombamientos o hundimientos que dan origen a las estructuras reticuladas, corrugadas, foveoladas o tuberculadas. La testa es foveolada en algunas especies de *Mammillaria*, corrugada en *Mammillaria tetrancistra*, reticulada en *Coryphantha* (Bravo-Hollis, 1978).

En cuanto al tipo de células de la testa, éstas pueden presentar algunas restricciones mecánicas que influyen en el crecimiento del embrión y en la absorción del agua, impidiendo la germinación de algunas especies, como por ejemplo en *Echinocactus horzonthalonius* y *Ferocactus peninsulæ*. Para esta última especie, Romero-Schmidt y colaboradores (1992) proponen que las semillas deben ser escarificadas, para poder adelgazar las paredes celulares de la cubierta y así facilitar la germinación.

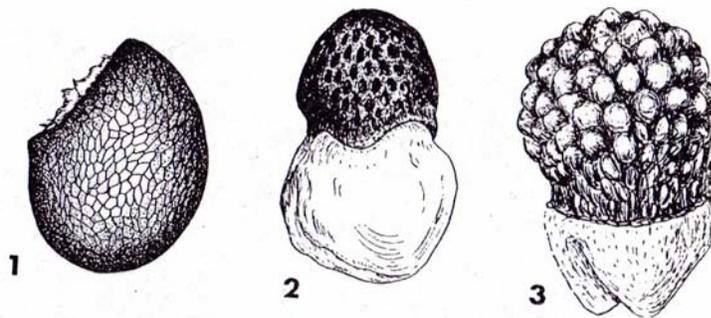


Figura 2. Diferentes tipos de ornamentación de la testa. 1) reticulada en *Coryphantha* sp.; 2) foveolada en *Mammillaria phellosperma*; 3) tuberculada en *Aztekium ritteri* (tomado de Bravo-Hollis, 1978 según Buxbaum, 1966).

Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yañez (2000) hacen una revisión bibliográfica sobre el número de semillas por fruto para la familia Cactaceae, e indican que pueden ser numerosas, en algunas ocasiones más de 1000 semillas por fruto o muy pocas de 1 a 5 semillas por fruto como en el género *Epithelantha* y *Pereskia aculeata* (Pedroni y Sánchez, 1997). Zimmer (1996) reporta para *Epiphyllum anguliger* que sus frutos contienen 1500 semillas. Del Castillo (1986) registra que algunos frutos de *Ferocactus hystrix* tienen arriba de 2200 semillas, mientras que en otros sólo hay 300 semillas por

fruto. Otero y Meyrán (1996) indican que hay de 40 a 100 semillas por fruto en *Echinocereus pulchellus*, León de la Luz y Domínguez-Cadena (1991) reportan de 52 a 500 de semillas por fruto para *Stenocereus gummosus*, para otras cactáceas columnares la variación fluctúa de 111 semillas por fruto en *Neobuxbaumia mezcalaensis* hasta 816 semillas por fruto en *Stenocereus queretaroensis* (Loza-Cornejo, 2004). Weiss *et al.* (1995) indican de 52 a 1566 semillas por fruto en *Selenicereus megalanthus*. Para *Mammillaria crucigera* y *M. magnimamma* se reportan 93 semillas por fruto (Contreras y Valverde, 2002).

En los últimos 20 años, el uso del microscopio electrónico de barrido (MEB) incremento al conocimiento de las estructuras morfológicas de muchas especies de plantas. Dicha información se ha aplicado en estudios anatómicos, morfológicos, paleontológicos y sistemáticos. Entre los estudios que destacan están el de Leuenberger (1974), quien indica que en la familia Cactaceae se presenta una gran variedad estructural a nivel de la testa y que los estudios realizados con el MEB son de gran interés en la taxonomía para este grupo. Bartholtt y Voit (1979) estudiaron la cubierta seminal de aproximadamente 900 especies y 120 géneros de Cactaceae, resaltando la estructura primaria y secundaria. En 1974 Robinson, lo utiliza para estudiar las glóquidas y espinas de *Opuntia*. Sánchez-Mejorada (1980) registra fotomicrofotografías para *Ferocactus lindsayii*. Por su parte, Elizondo *et al.* (1994) indican para la tribu Cacteeae en la micromorfología de la semilla permite reconocer grupos con base en el tamaño y posición del hilo, así como en la estructura de relieve fino de la pared celular. Estudios recientes en dos géneros de cactáceas columnares ha permitido confirmar que son algunas características de la testa de la semilla las que permiten distinguir grupos de especies (Arias y Terrazas, 2004; Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2006).

Proceso de la germinación

Para que se inicie el proceso de la germinación, la semilla tiene que estar expuesta a una serie de factores ambientales que activen el estado de latencia de la semilla y posteriormente emerja la radícula (Salisbury y Ross, 1992). Los factores ambientales que influyen son: temperatura, humedad y luz. También existen factores que implican la viabilidad y latencia de la semilla, la cual está determinada genéticamente, pero ésta puede ser modificada por condiciones ambientales (Bewley y Black, 1985).

Bradbeer, (1994) sugiere que los requerimientos de las semillas para su germinación dependerá de la especie y de la edad de la semilla.

La germinación es, el resultado de una serie de cambios metabólicos que se dan de forma escalonada, iniciando con la absorción del agua por parte de la semilla seca (imbibición), y termina cuando una parte de ésta (eje embrionario) se extiende y atraviesa (emergencia) las estructuras que la rodean (Ortolá, 2000). Este autor menciona que en este proceso se puede sintetizar en tres fases:

Fase 1. *Hidratación* (imbibición): empieza con la absorción de agua por los distintos tejidos que conforman la semilla.

Fase 2. *Germinación*: en la semilla ocurren transformaciones metabólicas que preparan el camino para la fase de crecimiento. Aquí se reduce la absorción de agua por la semilla.

Fase 3. *Crecimiento*: corresponde a la iniciación de cambios morfológicos visibles, por ejemplo: el alargamiento de la radícula. Fisiológicamente se caracteriza por un incremento constante de la absorción del agua y de la actividad respiratoria.

Tanto la actividad respiratoria como la absorción del agua por la semilla son crecientes en la primera fase, se estabilizan en la segunda y vuelven a aumentar en la última de las fases del proceso de la germinación. Para que se inicie el proceso de la germinación, las semillas deben contar con ciertas características como una adecuada provisión de agua, temperatura, composición atmosférica, y en algunos casos la luz. Estos requerimientos cambian de acuerdo a la especie y están determinados por las condiciones ambientales que se presentaron durante la formación de la semilla, así como también los factores genéticos hereditarios y en algunas ocasiones, por las condiciones de colecta y almacenamiento de éstas (Roberts, 1972). Ya iniciado el proceso de la germinación dentro de la semilla se movilizan grandes cantidades de materiales de reserva, como proteínas, grasas y almidones u otros carbohidratos presentes en el endospermo. Las reservas nutren a las plántulas en crecimiento. Las giberelinas son indispensables para iniciar la síntesis de varias enzimas que son suministradas por el propio embrión (Bidwell, 1979).

El estado de la plántula pudiera ser el más frágil a lo largo del ciclo de vida de una planta. Aquí la mortalidad generalmente es alta, debido a que la plántula tiene poca capacidad para afrontar condiciones bióticas y abióticas nocivas (Angevine y Chabot, 1979). Por lo anterior, la fase de germinación juega un papel muy importante en el ciclo de vida de las plantas, ya que dependiendo del momento y de las condiciones en las que se lleve a cabo, existirá un mayor o menor riesgo de mortalidad en las plántulas, lo cual influenciará en el desarrollo posterior de la población (Fenner, 1985; Rathcke y Lacey, 1985).

La plántula tiene diferentes etapas de desarrollo que dependerán del tipo de germinación que se presente en cada especie de planta. Existen dos tipos de germinación: 1) la germinación epigea, donde el hipocótilo se alarga y aleja a los cotiledones del suelo, las hojas cotiledóneas son generalmente verdes y realizan fotosíntesis durante su crecimiento temprano de ésta, la testa se desprende permitiendo la expansión de las hojas cotiledóneas y 2) la germinación hipogea donde el hipocótilo no se logra desarrollar y los cotiledones permanecen bajo el suelo o ligeramente sobre éste, y la función principal de las hojas es el de almacenamiento de reservas alimenticias y la testa de la semillas permanece cubriendo los cotiledones. (Vázquez-Yañez et al., 1997).

Las semillas viables que se encuentren en condiciones favorables y no germinen, se dice que son latentes o están en estado de latencia. Esta latencia puede originarse por: inmadurez fisiológica del embrión, impermeabilidad de la testa (entrada de agua o gases), desarrollo incompleto del embrión ocasionado por causas mecánicas como una testa dura, embrión inmaduro, condiciones optimas de luz, temperatura y sustancias inhibidoras de la germinación como el ácido abscísico (Bewley y Black, 1985).

Factores que intervienen en la germinación

Humedad. Para que una semilla reinicie su metabolismo es necesario que sus tejidos se rehidraten. Para ello requiere estar en contacto físico con agua, hasta el momento en que la radícula emerge, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal.

Las semillas, antes de estar en estado de imbibición se encuentran en deshidratación y contienen del 5 % al 20 % de agua en su peso total. La imbibición es el primer paso en la germinación, donde da lugar a la absorción del agua del medio circundante y a partir de ello es posible que ocurran los eventos que accionan la emergencia de la radícula. De este modo, la cantidad de humedad presente en el ambiente, así como la facilidad que la semilla tenga para absorberla y mantenerla, son de suma importancia para determinar el porcentaje y velocidad de germinación (Harper *et al.*, 1965, Bidwell, 1979).

En ambientes áridos y semiáridos, las semillas están expuestas a condiciones ambientales adversas antes y durante la germinación, específicamente sobre la superficie del suelo, en el cual está sujeto a fluctuaciones extremas de temperatura, humedad reducida, deficiencia de nutrientes en el suelo y en algunos casos un alto contenido de sales (Godínez-Alvarez, 1991). Debido a los bajos potenciales hídricos de los suelos desérticos la velocidad en la que germinan las semillas de plantas desérticas es de suma importancia, ya que deben de aprovechar los escasos y reducidos periodos óptimos en donde la temperatura sea adecuada y la humedad sea la suficiente para que pueda ocurrir el proceso de germinación (Gutterman, 1972).

Temperatura. Es un factor fundamental en el proceso de la germinación. Su efecto se debe a su capacidad de influir en las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en las semillas tras su rehidratación. Así, la actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. La temperatura mínima será aquella que este por debajo de la cual la germinación no se produzca, y la máxima es aquella por encima de la cual se anula el proceso. La temperatura óptima se define como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible (Ortolá, 2000).

En algunas especies la germinación se ve favorecida a temperaturas relativamente bajas (10 °C a 15 °C) y en otros casos la temperatura idónea para germinación son las temperaturas altas (30 °C a 35 °C). Rojas-Aréchiga *et al.* (1997) mencionan que los requerimientos de luz están asociados con la forma de vida por ejemplo: las cactáceas de barril pueden germinar en la superficie del suelo donde la luz y la temperatura están

presentes mientras que en los columnares germinan donde la temperatura no son tan altas y la luz es escasa.

En condiciones naturales las semillas raramente se encuentran en temperaturas constantes en periodos de largo tiempo (Vázquez-Yañez y Orozco-Segovia, 1994). Pero se sabe que hay fluctuaciones de temperatura durante el día y el año, por lo que se ha demostrado que en ocasiones la alternancia de temperatura puede favorecer o disparar la germinación en diversas especies (Fenner, 1992).

La respuesta de la temperatura se considera como una estrategia adaptativa, de esta forma el tiempo para que una semilla germine dependerá de que las condiciones de temperatura sean óptimas y con esto la probabilidad de que la plántula sobreviva se verá incrementada en su hábitat (Meyer *et al.*, 1989). Godínez-Alvarez (1991) menciona que a temperaturas bajas alternantes las semillas de *Neobuxbaumia tetetzo* y *Pachycereus hollianus* no muestran un aumento significativo en la tasa de germinación respecto a la obtenida con temperaturas constantes. En otro caso, las semillas de *Opuntia discata* y *O. lindheimeri* no es afectada su respuesta germinativa con la alternancia de temperaturas (Potter *et al.*, 1984). Nobel (1989) reporta que la temperatura óptima para la germinación de diecinueve de cactáceas oscila entre los 17 °C a 34 °C, con una media de 25°C, y que la germinación se reduce si la temperatura se baja a 9 °C.

Viabilidad. La viabilidad de una semilla se define como la capacidad que tiene una semilla de germinar. Además puede ser considerada como una medición de la actividad metabólica de las semillas, es decir, de la cantidad de enzimas capaces de catalizar reacciones metabólicas necesarias para la germinación y el crecimiento de la plántula (Copeland, 1976).

El tiempo durante el cual las semillas pueden permanecer viables es muy variable y depende de las condiciones en las que la actividad metabólica del embrión se encuentra reducida, por ejemplo bajas temperaturas. Sin embargo, otros factores que determinan el estado latente también influyen sobre ella. La viabilidad tiende a disminuir paulatinamente con el tiempo. El lapso de tiempo en que una semilla permanece viable está determinado genéticamente y está modulado por otros factores del ambiente. Igualmente la viabilidad y como la longevidad es variable y característico de cada especie y variedad.

Oxígeno. La aireación es necesaria para que una semilla germine, pues el embrión requiere del oxígeno para la obtención de energía para mantener sus actividades metabólicas (Ortolá, 2000).

Luz. Las plantas se ven afectadas por las diferentes respuestas fisiológicas por diversos factores como la luz ya que ésta tiene una intensidad y composición espectral específica, desde la germinación de las semillas hasta todas las etapas que conforman el crecimiento de la plántula a planta. Tanto la latencia como el proceso de la germinación de las semillas se ven influenciados y regulados por la luz, debido a su intensidad y composición espectral (Fenner, 1992).

La luz es uno de los factores ambientales de mayor importancia ya que ayuda al crecimiento y desarrollo de las plantas. Muchas semillas no germinan bajo el dosel del bosque porque la luz que llega al suelo no es la suficiente para estimular la germinación. No necesariamente todas las semillas requieren de la luz para poder germinar, algunas no se ven afectadas por la luz y otras son inhibidas por este factor, catalogándose en fotoblásticas positivas o negativas o bien, las indiferentes (Orozco-Segovia y Vázquez-Yañez, 1992).

El grado de madurez de la semilla, la época de recolección y las condiciones de luz durante el período de secado, determinan la respuesta germinativa a la luz (Cresswell y Grime, 1981). Los requerimientos de la luz están ligados con otras condiciones ambientales como la temperatura, humedad y factores químicos que influyen en el proceso de la germinación (Orozco-Segovia y Vázquez-Yañez, 1992).

Testa. En la mayoría de las especies la testa se ve favorecida si ésta es modificada de alguna forma. En las pruebas de laboratorio se utilizan métodos de escarificación mecánica, en base de tratamientos con ácidos o altas temperaturas. En la naturaleza esto se puede llevar a cabo mediante varias formas tales como: las fluctuaciones en la temperatura aumenta la permeabilidad de las testas al agua (Vázquez et al., 1982); la abrasión química (escarificación) causada por el paso de las semillas en el tracto digestivo de algunos animales, así como la acción microbiana y la relación parcial de la testa. Además, el fuego en ecosistemas tiene efectos estimulantes sobre la germinación de las semillas en donde ayudan a la ruptura de la testa. Otro factor es el

tallado de la testa de las semillas con las partículas del suelo o la erosión de la testa generada por acción de la lluvia o el viento (Bewley y Black, 1994).

Longevidad de las semillas. Es el tiempo durante el cual mantienen su viabilidad o capacidad para germinar, el cual dependerá de la especie y de las condiciones de conservación. La longevidad de una semilla será mayor cuanto menos activo sea su metabolismo. En general, las semillas no mueren porque agoten sus reservas nutritivas sino debido a que su metabolismo retardado origina una serie de productos tóxicos que al acumularse determinan a la larga los efectos letales para el embrión (Ortolá, 2000).

Latencia. Bewley y Black (1994) mencionan que una semilla se encuentra en estado de latencia cuando, aún estando en condiciones adecuadas de agua, temperatura y oxígeno, para su germinación, ésta no se lleva a cabo. La respuesta germinativa es impedida por “barreras” que en algunas ocasiones se pueden superar; es decir, la latencia puede terminar dada la presencia de factores no necesarios en el proceso de la germinación, pero que deben ser previos para que ésta se inicie. Una característica de las semillas latente es que requieren una discontinuidad en las condiciones para que la germinación se inicie. Las principales causas fisiológicas que pueden determinar la latencia de una semilla son: inmadurez del embrión, restricciones mecánicas para el desarrollo del embrión, impermeabilidad de las cubiertas seminales al agua o al oxígeno, presencia de sustancias inhibitorias en diferentes tejidos de la semilla.

Debido a características genéticas, factores ambientales y de la misma semilla se han propuesto diferentes tipos de latencia (Harper, 1977). Harper definió tres tipos de latencia: innata, inducida y forzada.

La latencia innata, primaria o endógena es generada por tres motivos: a) que el embrión esté en condiciones inmaduras dentro de la semilla ya madura (Vázquez-Yañez et al., 1997), b) que existe una cantidad suficiente de ácido abscísico en la semilla, y c) que cuente con una testa dura e impermeable que impida la hidratación, y la germinación se realice después de que la testa se vuelva permeable o se rompa por agentes como el aparato digestivo de diferentes animales y éstas sean dispersadas, la fricción, altas temperaturas o deterioro de la testa provocado por el tiempo (Vázquez-Yañez et al., 1997).

La duración de la latencia innata es muy variable según la especie y se dan casos de variaciones de esta característica en las semillas de individuos o poblaciones de una especie, lo que se conoce como latencia polimórfica, la cual se cataloga como una adaptación a ambientes en que las condiciones favorables varían en forma aleatoria año con año, de tal manera que no siempre un año se presenten condiciones adecuadas para que las plantas anuales completen su ciclo de vida.

La latencia inducida o secundaria es aquella que se genera por la presencia de algún factor del medio ambiente como anaerobiosis o exceso de CO₂. La persistencia de este tipo de latencia aún después de que el factor inhibitor se ha eliminado es la diferencia entre la latencia inducida y la impuesta.

Latencia forzada, impuesta o exógena se presenta en semillas que están aptas para germinar y que se encuentran incluso en condiciones adecuadas de humedad y temperatura media, pero que continúan latentes por tener un mecanismo detector que sólo permite la germinación cuando se presentan condiciones adecuadas de luz o termoperíodo, que indican que las condiciones externas son propicias para el establecimiento de las plantas.

La latencia constituye una manera de repartir o distribuir la germinación en tiempo y espacio (Fenner, 1985; Bewley y Black, 1994). Cuando ocurre la germinación dentro de una población de semillas se realiza a diferentes tiempos y en diferentes lugares, dependiendo de los factores y condiciones que logran quebrantar a la latencia, por lo que la probabilidad de supervivencia de los individuos se ve incrementada. Por la latencia, la germinación está ligada a factores ambientales específicos, generando un mejor control en el proceso de germinación de las plántulas en épocas poco favorables para su establecimiento (Angevine y Chabot, 1979; Fenner, 1985; Rathcke y Lacey, 1985; Bewley y Black, 1994). De esta manera, la germinación sucede cuando existen mayores posibilidades de que la plántula se establezca y crezca hasta su madurez reproductiva (Roberts, 1972).

Respuesta germinativa

Morales y Camacho (1985) mencionan que dependiendo de las condiciones ambientales y de la especie, la germinación de una semilla se realiza dentro de un intervalo que abarca desde unas horas hasta algunas semanas, generalmente se cumple una etapa de inicio y otra de incremento logarítmico y una de estabilización.

La primera etapa comienza desde la siembra hasta el momento en una o más emitan la radícula, posteriormente el número de semillas geminadas en cada unidad de tiempo se describe como una campana desviada positivamente, ya que se incrementa con rapidez hasta alcanzar el máximo. El número de semillas germinadas alrededor del máximo hace que la segunda etapa se caracterice por un aumento logarítmico de la germinación acumulada, que termina cuando la pendiente de la curva adquiere la forma de "S" (sigmoide, figura 3).

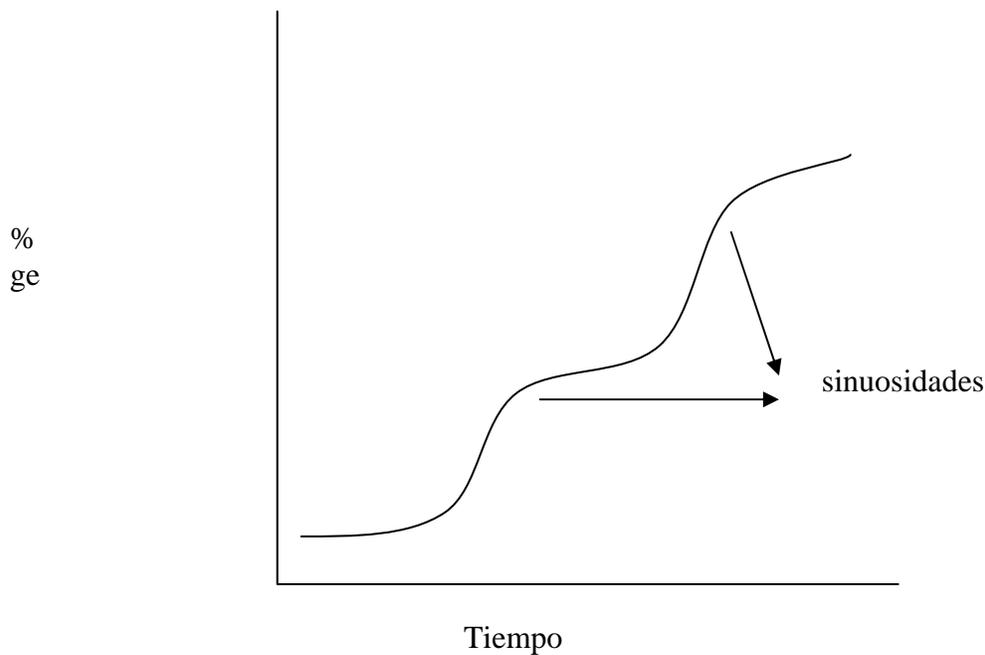


Figura 3. Curva de germinación sigmoide. Las sinuosidades indican como se interrumpe y se reinicia la germinación.

Una de las formas más sencillas de estudiar la germinación es analizando las gráficas donde se debe considerar: 1) la cantidad de semillas germinadas y 2) el tiempo transcurrido desde la siembra.

Cuando el proceso de la germinación es graficado con respecto al tiempo, lo que se compara son las curvas obtenidas. La cercanía de las curvas al eje de los porcentajes, es decir, el tiempo en que las semillas tardan en germinar; éste nos indica el tiempo que tardan en germinar. También se puede apreciar cuando dos curvas tengan el mismo porcentaje final de germinación a diferentes distancias al eje vertical.

La inclinación o verticalidad de las gráficas obtenidas reflejan la velocidad de germinación y su uniformidad. La velocidad con la que ocurra la germinación de las semillas de una muestra, se refleja tanto en la cercanía de las curvas al eje de los porcentajes como en la inclinación de éstas. A pesar de éste ligamiento puede tenerse la misma inclinación y diferentes distancias de la curva al eje de los porcentajes en algunos casos se puede aceptar que las curvas tengan la misma distancia y diferente inclinación. (Fig. 4). Un aspecto importante que refleja la inclinación de las curvas germinativas, son las diferencias en el tiempo de germinación, o sea la uniformidad de germinación de las semillas que componen la muestra. Cuando se tienen un gran número de semillas germinadas al mismo tiempo se producirán curvas más verticales que cuando se germinan unas cuanta en el mismo intervalo.

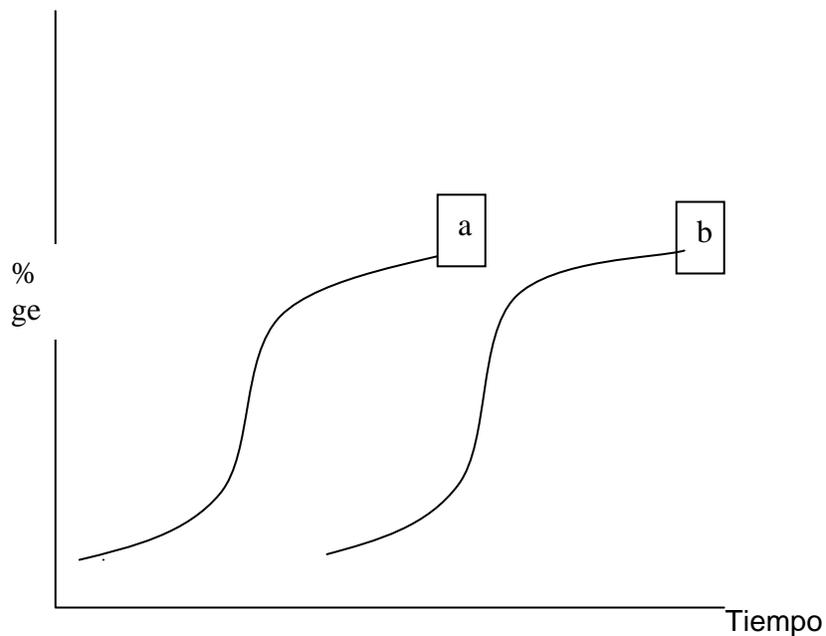


Figura 4. Curva de germinación con igual % e inclinación pero diferente tiempo de germinación.

Índices para estudiar la germinación

El análisis de Lifetest (Allison 1995; Der y Everitt, 2002) compara la respuesta de las curvas de germinación. La prueba de Wilcoxon se utiliza cuando las curvas de germinación se cruzan y la prueba de Log-Rank cuando no se cruzan (Der y Everitt, 2002).

Además de las interpretaciones gráficas, existen otros métodos numéricos que cumplen con el mismo objetivo. Morales y Camacho (1985) proponen los siguientes índices: 1) Los generales en donde se consideran todas las características de las curvas con el objetivo de dar un valor ponderado que sirva para medir la calidad de la germinación. El uso de esto se entiende en términos gráficos como decidir a primer vista cuál es la mejor germinación. 2) Los particulares en donde se toman en cuenta una característica dada de las curvas como: la altura, inclinación y distancia al eje vertical.

Estos índices consideran las características concretas y utilizables de la germinación como: la cantidad de semillas germinadas y el tiempo que tardaron en hacerlo. A su vez también se considera dentro de estos índices: 1) La capacidad germinativa: que es el porcentaje final de la germinación. 2) Velocidad germinativa: que es el tiempo que transcurre desde la siembra hasta un punto dado sobre las curvas de germinación. 3) La uniformidad de germinación: que se evalúa con medidas de dispersión del tiempo de germinación, como la desviación típica y periodo germinativo.

La especie en estudio

Mammillaria densispina (Coulter) Orcutt, Cactography 7, 1926. Se distribuye en los estados de Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí y Zacatecas (Guzmán *et al.*, 2003). Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991) señalan que *Mammillaria densispina* se caracteriza por tener un tallo simple o cespitoso desde la base, globoso o cortamente cilíndrico, hasta diez cm de diámetro, con el ápice redondeado. *Tubérculos* dispuestos en 8 y 13 en series espiraladas, cónicos, con cuatro lados en la base, aplanados dorsalmente, de cinco mm de altura y espesor en la base, de consistencia firme o algo suave, de color verde oscuro, con jugo acuoso. *Axilas* con lana blanca cuando jóvenes y en la región floral, después desnudas. *Aréolas* ovales, con lana blanca en estadio temprano. *Espinas radiales* de 20 y 25, desiguales, de 8 a 13 mm de longitud, las cinco

inferiores más cortas, todas circulares, delgadas, rectas, rígidas, lisas, con la base engrosada, blancas hasta amarillas, con la edad más oscuras, ascendentes, entrecruzadas y cubriendo el cuerpo. *Espinas* centrales 5 a 6, de 10 a 20 mm de longitud, las superiores más largas, todas aciculares, rectas hasta ligeramente curvas en la base, rígidas, lisas, engrosadas y blancas en la base, volviéndose amarillentas. *Flores* infundibuliformes brotando cerca del ápice, de 20 mm de longitud y 10 mm de diámetro; segmentos exteriores del perianto linear-lanceolados, con el ápice desde agudo hasta obtuso y el margen entero; con la base amarillo verdosa y hacia arriba amarillo pálido y tinte rosado en el ápice, segmentos interiores del perianto lanceolados, más largos y anchos que los exteriores, con el ápice agudo y el margen entero; de color amarillo azufre, filamentos blancos hasta verde amarillentos; anteras amarillas; estilo de color verde pálido; lóbulos del estigma 4 ó 5, verdes hasta amarillo verdoso pálido. *Fruto* cortamente claviforme, rojo, conservando los restos secos del perianto. *Semillas* obovadas, de un mm de longitud, testa con puntuaciones, de color castaño rojizo, brillante.

Material y Métodos

Recolección de frutos y selección de semillas

Se recolectaron cuatro frutos de 14 individuos de *Mammillaria densispina*, los días 12 de mayo y 13 de junio del 2006, donados por el Ingeniero Benjamín Aburto Sánchez director general de la UMA Ecocactus de México con número de registro UMA-VIV-015-MOR-03, cuyas instalaciones están en Yautepec, Morelos. Las semillas fueron separadas del fruto por disección y se lavaron con agua corriente para eliminar los restos de mucílago. Una vez limpias, se dejaron secar en papel absorbente y se almacenaron en un sobre de papel. Enseguida, se contó el número de semillas por fruto y en grupos de diez semillas por fruto se pesaron en una balanza analítica Sartorius BP 210P.

Las semillas se observaron con ayuda de un microscopio estereoscópico modelo 570 (0.7TO, 4.2X) marca American Corporation y se formaron grupos de 30 semillas con base en su tamaño y forma, en forma exclusivamente visual. Las semillas se agruparon en cuatro categorías (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías asignadas a las semillas de *Mammillaria densispina*

Pequeña	Normal	Grande	Amorfa
De tamaño pequeño en comparación a la normal	De forma obovada y de tamaño medio	De tamaño más grande en comparación a la normal	De forma irregular en comparación a la normal

Morfología de la semilla

Con el objetivo de analizar y describir los caracteres micromorfológicos de la testa, se tomaron en cuenta la forma y características del hilo. Se seleccionaron seis semillas por categoría (Cuadro 1). Estas se lavaron con agua destilada y se preparó una solución jabonosa para muestras biológicas (Tween), colocándolas en un sonicador para remover los residuos de la pared del fruto. Posteriormente se adhirieron en porta-muestras de aluminio con un segmento de cinta adhesiva de carbón de doble cara y se cubrieron con oro durante dos minutos con una capa de 20 amstrong. Después se observaron en un microscopio electrónico de barrido marca Hitachi modelo S-2460N y se tomaron

microfotografías con una cámara Pentax de 35 mm adaptada a este microscopio. Las observaciones del MEB se realizaron en el laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. La micromorfología se describió con base a la terminología de Barthlott y Hunt (2000). Además se colocaron diez semillas de las diferentes categorías sobre una cinta adhesiva doble cara en un portaobjeto y se midieron largo, ancho máximo y mínimo, así como el largo y alto de la región hilo micropilar con un análisis de imágenes Image-Pro Plus versión 6.0 adaptado a un microscopio estereoscópico Olympus SZ-CTV.

Germinación

Los experimentos de germinación se realizaron después de diez días a partir de su cosecha ya que no se conoce el tiempo de latencia de la especie. Baskin y Baskin (1998) mencionan que los estudios de germinación deben iniciarse entre los 7 y 10 días después de ser cosechadas las semillas porque “su respuesta germinativa puede cambiar durante el almacenamiento a temperatura ambiente”.

Las semillas, se lavaron con agua corriente y secaron en papel absorbente para retirar restos de mucílago; enseguida fueron desinfectadas con una solución comercial de hipoclorito de sodio al 10 %, durante cinco minutos y se enjuagaron tres veces con agua destilada. Enseguida, se colocaron 30 semillas para cada categoría, en cajas Petri de 9 cm de diámetro con papel filtro esterilizado humedecido con 10 ml de agua destilada (Dubrovsky, 1998). La temperatura, del invernadero del Jardín Botánico Exterior de la UNAM donde se colocaron las cajas de Petri, se registró con un data logger HOBO, del 26 de mayo al 15 de septiembre cada dos horas. Los experimentos de germinación se realizaron bajo las mismas condiciones en fechas diferentes: Primera fecha (F1), 26 de Mayo del 2006 con una temperatura promedio del invernadero para los 45 días que duro la observación de 21.86 °C, la segunda fecha (F2), 24 de junio del 2006, fue de 22.11 °C, y tercer fecha (F3). 31 de julio del 2006 tuvo una temperatura promedio de 23.82 °C. Para cada caja se registró el número de semillas germinadas a partir del segundo día en que se sembraron hasta los 45 días después de la siembra. Se consideró a la semilla como germinada a aquella que mostrara la radícula emergida. Con una repetición, excepto para la segunda fecha de siembra debido a la falta de semillas.

Análisis Estadísticos

Se calcularon para el peso y dimensiones de las semillas los parámetros de la estadística descriptiva (media, desviación estándar, máximo y mínimo). Se realizó un análisis de varianza para detectar si existen diferencias significativas para el número de semillas por fruto entre los individuos, así como el peso de las semillas y los parámetros del tamaño de la semillas (largo y ancho, largo y alto de la región hilo-micropilar) entre las cuatro categorías y entre las fechas de siembra y el total de semillas germinadas por categoría. Además un análisis de comparación de medias (Tukey, $P < 0.05$) permitió reconocer las diferencias en el peso, número y tamaño de las semillas y en los porcentajes de germinación entre las categorías y las diferentes fechas de siembra. La prueba de Lifetest se utilizó para evaluar las diferencias en las curvas de germinación de las diferentes fechas de siembra (Mayo-Junio, Julio-Mayo y Julio-Junio) y para cada una de las categorías de curvas con el mismo método.

Resultados

Semillas por fruto

El número de semillas por fruto de *Mammillaria densispina* varío de 72 hasta 152 (Cuadro 2). Los frutos de los individuos 3 y 5 presentaron el mayor número de semillas por fruto; los de menor número fueron los frutos de los individuos 1, 2, 8, 11 y 12. Además el análisis de varianza para el número de semillas por fruto reveló que no existen diferencias significativas ($F=1.18$, $gl=13$, $P>0.32$) entre los individuos.

Cuadro 2. Media y desviación estándar del número de semillas por individuo. Entre paréntesis se presentan el valor mínimo y máximo.

Individuo	Semillas por fruto	Individuo	Semillas por fruto
1	100±23 (94-125)	8	101±14 (96-119)
2	96±25 (86-123)	9	116±13 (100-122)
3	127±18 (110-152)	10	115±30 (83-152)
4	111±22 (82-132)	11	103±7 (94-110)
5	137±11 (124-147)	12	106±17 (88-127)
6	110±39 (72-147)	13	116±20 (91-136)
7	106±9 (96-117)	14	102±17 (83-127)

Peso de las semillas

El peso de diez semillas de cada uno de los frutos recolectados se sintetizan en el cuadro 3; el análisis de varianza mostró que hay diferencias significativas para el peso entre los frutos ($F=6.37$, $gl=55$, $P<0.0001$) de un mismo individuo, pero sólo para algunos individuos; siendo el individuo 3 el que presentó las semillas menos pesadas y las más pesadas fueron del individuo 12.

Cuadro 3. Peso de diez semillas por fruto de 14 individuos (*, p<0.05, Tukey)

Individuo	Peso (mg)			
	a	b	c	d
1	2.39	2.36	2.24	2.35
2	2.38	2.26	2.64	2.18
3	2.23	1.82*	1.74*	1.90*
4	2.27	2.29	2.54	2.69
5	2.59	2.31	2.38	2.41
6	2.49	2.45	2.39	2.33
7	2.61	2.66	2.49	2.60
8	2.65	2.66	2.98*	2.56
9	2.52	2.52	2.56	2.52
10	2.53	2.46	2.51	2.48
11	2.26	1.82*	2.10	2.63
12	2.46	3.24*	2.59	2.63
13	2.65	2.62	2.61	2.53
14	2.61	2.65	2.59	2.84*

En el cuadro 4 se muestra el peso promedio y desviación estándar de la semilla para los catorce individuos estudiados. El análisis de varianza reveló que existen diferencias significativas para el peso de la semilla ($F=13.91$, $gl=13$, $P<0.0001$) entre los individuos.

Cuadro 4. Comparación de medias del peso (mg) de semilla por individuo. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05, Tukey).

Individuo	Peso	Individuo	Peso
3 ^d	1.9280±0.22 x10 ⁻⁴	10 ^{bc}	2.4990±0.08 x ¹⁰⁻⁴
11 ^b	2.3145 ±0.30 x10 ⁻⁴	9 ^{bc}	2.5350± 0.06x ¹⁰⁻⁴
1 ^b	2.3405±0.09 x10 ⁻⁴	7 ^{bc}	2.5942±0.14 x ¹⁰⁻⁴
2 ^{bc}	2.3705± 0.19x10 ⁻⁴	13 ^a	2.6024± 0.07x ¹⁰⁻⁴
6 ^{bc}	2.4155± 0.08x10 ⁻⁴	14 ^a	2.6891± 0.14x ¹⁰⁻⁴
5 ^{bc}	2.4280±0.11 x10 ⁻⁴	8 ^a	2.7155±0.19x ¹⁰⁻⁴
4 ^{bc}	2.4730±0.22 x10 ⁻⁴	12 ^a	2.7365±0.75 x ¹⁰⁻⁴

Tamaño de las semillas

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas para los caracteres: largo, ancho, largo y alto de la RHM de las semillas (Cuadro 5). Además el análisis de comparación de medias de Tukey corroboró que existen diferencias significativas ($P < 0.005$) sólo entre alguna de las categorías entre los tipos de semillas (Cuadro 6).

Cuadro 5. Valores de F y probabilidad de F de los atributos del tamaño de la semilla.

Carácter de semilla	F	gl	p
Largo	22.85	3	<0.0001
Ancho	16.23	3	<0.0001
Largo RHM	3.47	3	≥ 0.0260
Alto RHM	7.80	3	≥ 0.0004

El largo de las semillas de la categoría grande es superior a las otras con una media de 0.974 mm, pero entre las amorfas y pequeñas no existen diferencias y tienen valores de 0.842 mm y 0.831 mm respectivamente. Para el ancho la categoría de las semillas grandes es superior en su media al resto (Cuadro 6). A su vez las pequeñas y amorfas son iguales entre sí con valores de 0.595 mm y 0.622 mm.

Para el largo y el ancho de RHM, los valores menores los presentaron las categorías pequeña y amorfa respectivamente, siendo diferentes estadísticamente a los valores de las categorías grandes y normales (Cuadro 6). El coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.73 ($P < 0.0001$) entre las variables largo y ancho de la semilla; además el largo de la semilla también se asoció positivamente con el largo de RHM (0.61, $P < 0.0001$).

Cuadro 6. Tamaño de las semillas (mm) expresando la media y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$, Tukey).

Tipo de semilla	Largo	Ancho	Largo RHM	Ancho RHM
Normales	0.916 \pm 0.031 ^b	0.656 \pm 0.226 ^{ab}	0.353 \pm 0.034 ^{ab}	0.266 \pm 0.530 ^a
Grandes	0.974 \pm 0.273 ^a	0.683 \pm 0.034 ^a	0.369 \pm 0.035 ^a	0.260 \pm 0.033 ^a
Pequeñas	0.831 \pm 0.017 ^c	0.595 \pm 0.023 ^c	0.320 \pm 0.045 ^{bc}	0.208 \pm 0.037 ^b
Amorfas	0.842 \pm 0.075 ^c	0.622 \pm 0.037 ^{bc}	0.328 \pm 0.036 ^b	0.194 \pm 0.036 ^b

Morfología de la semilla

La semilla es asimétrica y ampliamente ovoide, de 0.89 ± 0.72 mm del largo y 0.66 ± 0.23 mm de ancho; el ángulo entre el largo de la semilla y el punto máximo de expansión de la región ventral es de $38-63^\circ$; la testa tiene color café, es lustrosa, rugosa y sin quilla; las células son gradualmente más pequeñas hacia el hilo en donde tienen un alto de 0.23 ± 0.05 mm, en la región lateral las células tienen forma isodiamétrica poligonal (Figs. 5, 6); el relieve de la pared anticlinal es elevado, con ondulaciones de tipo

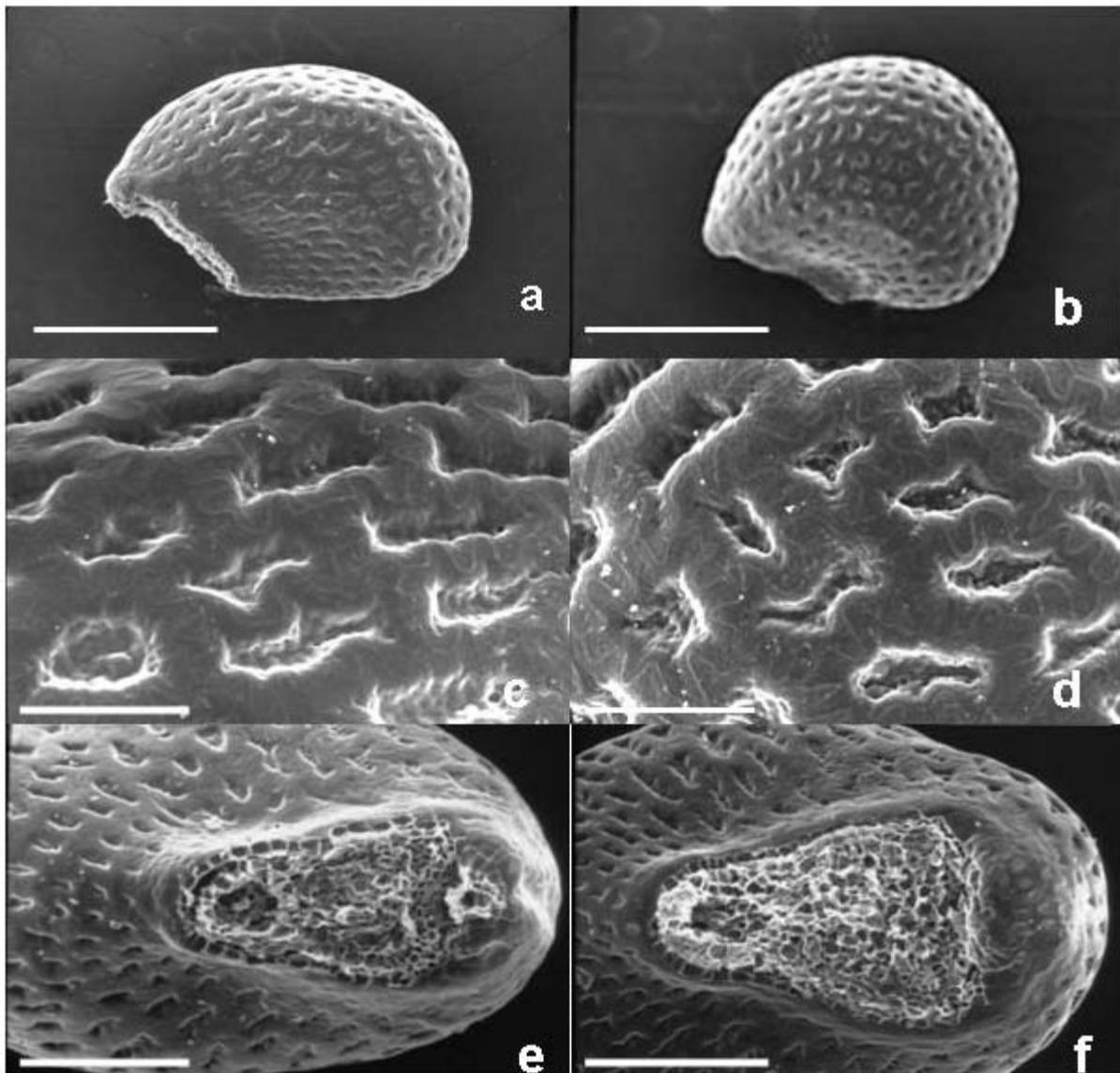


Figura 5. Micromorfología de las semillas amorfas y normales de *M. densispina* a-b. Semilla completa. a. Amorfa, b. Normal, c-d. Detalle celular de la región lateral. c. Amorfa, d. Normal, e-f. Región hilo micropilar. e. Amorfa, f. Normal.

U, la pared periclinal con cráteres de forma irregular y con pequeñas verrugas en su interior; por lo anterior el microrelieve es verrucoso; la RHM tiene 0.34 ± 0.04 mm de largo, es oblicua, marcada; el hilo y micrópilo están cercanos, pero separados por una banda esclerificada, la RHM tiene forma de tipo cerradura. No se encontraron diferencias en la micromorfología de la testa entre las diferentes categorías (Figs. 5, 6).

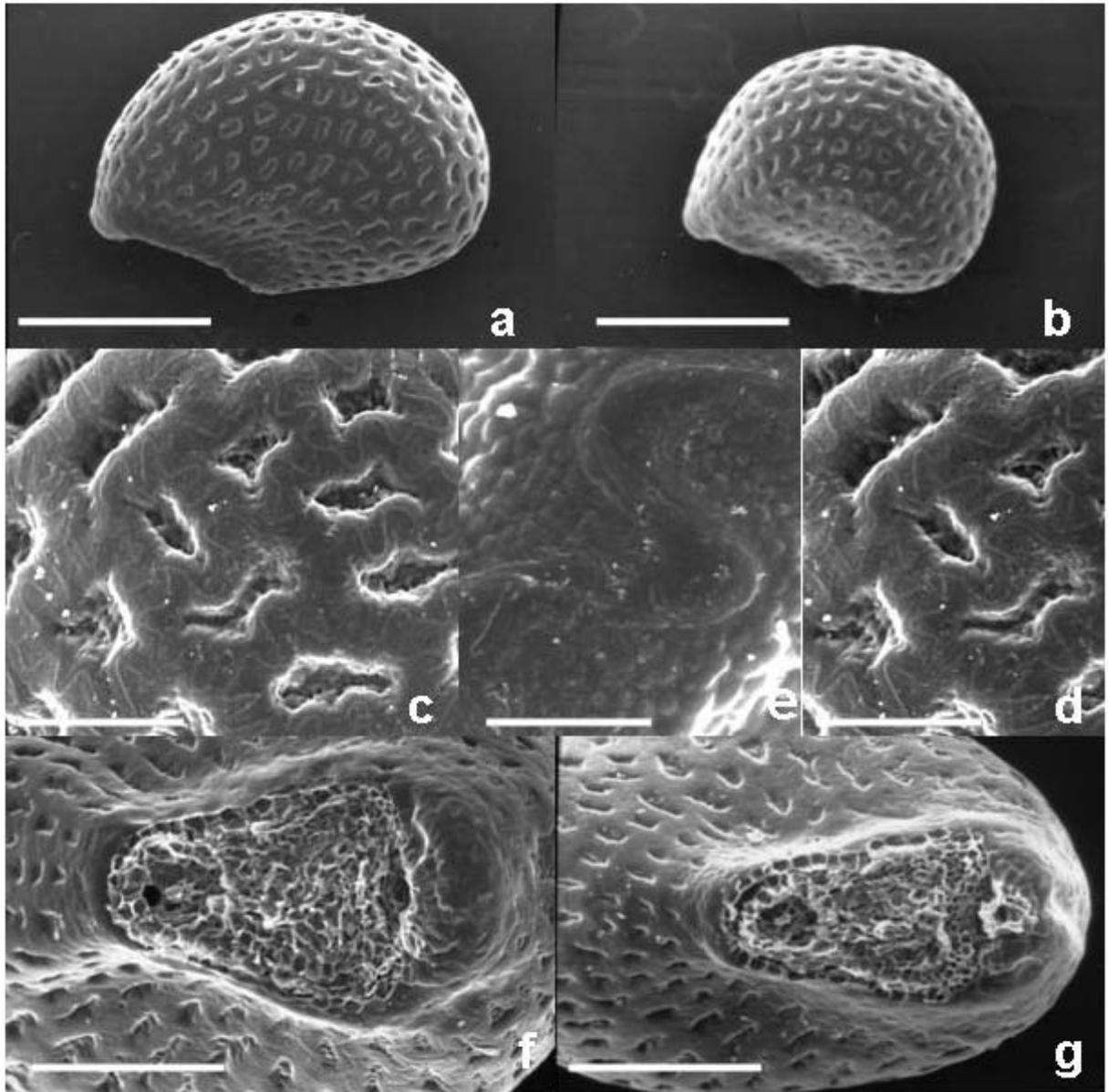


Figura 6. Micromorfología de las semillas grandes y pequeñas de *M. densispina*. a-b. Semilla completa. a. Grande, b. Pequeña, c-e. Detalle celular de la región lateral. c, d. Grande, e. Pequeña. f-g. Región hilo micropilar. e. Grande, f. Pequeña.

Germinación

Se encontraron diferencias significativas para el número de semillas germinadas entre fecha de cosecha ($\chi^2 = 14.51$, $gl = 1$ $p < 0.0001$) sin importar la categoría de semilla. El análisis de varianza para el total de semillas germinadas entre categorías, no mostró diferencias significativas (pequeñas $F = 0.40$, $p > 0.94$, grandes $F = 0.60$; $p > 0.82$, normal $F = 0.52$, $p > 0.88$ y amorfas $F = 0.46$, $p > 0.91$).

Los resultados del análisis de varianza revelan que entre cada una de las categorías de los siete individuos por fecha de siembra sí existen diferencias significativas, excepto para la categoría de semillas pequeñas donde el análisis no detectó diferencias significativas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de F y probabilidad de F del análisis de varianza para el total de la germinación por individuos por categoría de semilla.

Categoría	F	gl	P
Pequeñas	2.33	27	<0.0554
Grandes	11.90	27	<0.0001
Normales	3.54	27	<0.0100
Amorfas	3.80	27	<0.0073

El número de semillas germinadas por fecha de siembra y por categoría, así como el coeficiente de variación se sintetizan en el cuadro 8. Las semillas normales tuvieron el mayor número de semillas germinadas en el mes de junio con respecto a las otras categorías y a las otras fechas (Cuadro 8), mientras que las amorfas presentaron el menor número de semillas germinadas en todas las fechas. Además, se encontró que sin importar la categoría, el mes de Mayo obtuvo el menor número de semillas germinadas con un total que fluctuó de 23% y 35% y las semillas colectadas en la misma fecha pero almacenadas dos meses disminuyeron en el total de semillas germinadas en cerca del 25% ó 30%. Para las semillas cosechadas en el mes de junio se presentaron los valores de máxima germinación, sin embargo después de un mes de almacenadas las semillas de esta cosecha, la germinación disminuyó en cerca de un 21%.

Cuadro 8. Valores de la media y desviación estándar por fecha de siembra. Entre paréntesis se presentan los coeficientes de variación. Letras minúsculas diferencias significativas entre mayo y julio-mayo; letras mayúsculas diferencias entre junio y julio-junio; letras mayúsculas y minúsculas diferencias entre mayo y junio.

Categoría	Mayo (N=60)	Julio-Mayo (N=30)	Junio (N=60)	Julio-Junio (N=30)
Pequeña	35±16.64 ^a (47.58)	19±3.40 ^b (17.41)	50±5.56 ^A (11.03)	23±4.68 ^B (20.09)
Grande	25±22.01 ^a (87.05)	20±4.96 ^a (24.11)	51±3.45 ^A (6.80)	21±4.74 ^B (22.73)
Normal	27±25.92 ^a (95.51)	18±3.14 ^a (17.7)	53±3.76 ^A (7.11)	21±4.37 ^B (20.97)
Amorfa	24±18.37 ^a (78.90)	18±3.86 ^a (21.79)	49±2.81 ^A (5.80)	20±4.38 ^B (4.38)

La figura 7 ilustra el porcentaje de semillas germinadas por categoría de semilla y por fecha, confirmando que son las semillas cosechadas y sembradas en Mayo, las que presentaron los porcentajes de germinación más bajos.

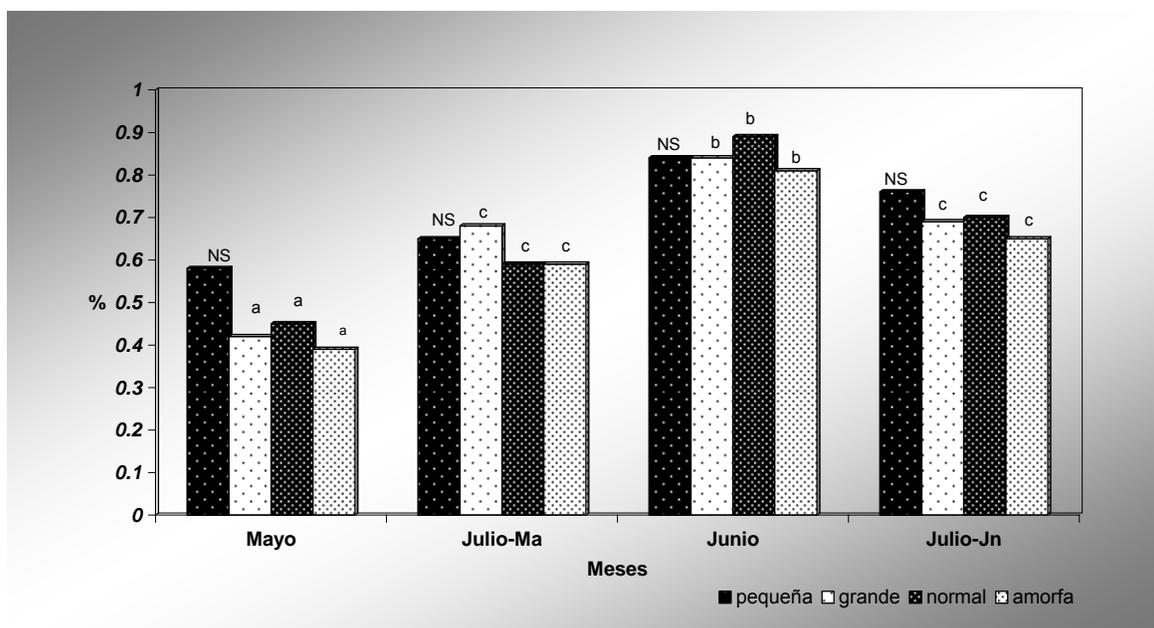


Figura 7. Porcentaje de germinación para cada una de las fechas de siembra por categoría de semilla. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas para la misma categoría ($p < 0.05$, Tukey).

A continuación se presentan los porcentajes de germinación por fecha de siembra y categoría de semilla para cada uno de los individuos estudiados. Para las semillas de la primer fecha de germinación, como se mencionó presentaron un porcentaje de germinación significativamente menor al resto. Las semillas de algunas categorías no germinaron como fue el caso las categorías grandes y las amorfas del individuo cuatro, para el individuo cinco las normales y para el individuo siete las normales (Fig. 8). En las demás cajas se observaron porcentajes variables de entre 75 % y 100 %; el menor porcentaje de germinación fue de 39 % para la categoría de amorfas correspondiente a la primera fecha de siembra.

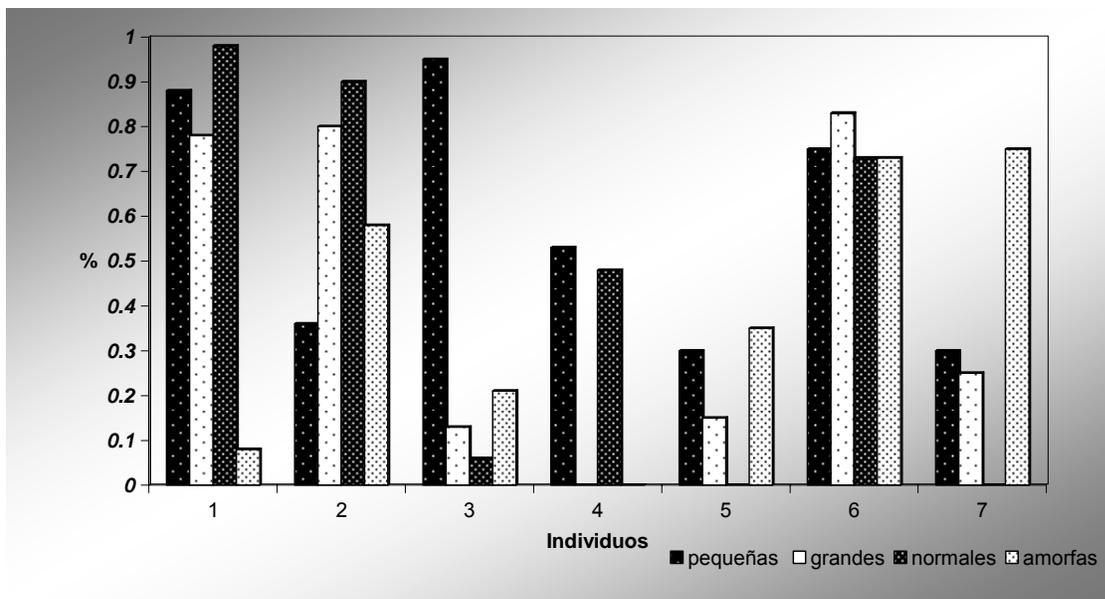


Figura 8. Porcentaje de germinación de Mayo por individuo por categoría (N=60).

Las semillas sembradas en Julio-Mayo presentaron porcentajes de germinación más altos en comparación a los de Mayo, para la categoría de las grandes del individuo cuatro y las amorfas del individuo seis tuvieron el mayor porcentaje (100%). Y en general los porcentajes de germinación para los otros individuos fueron variables entre el 50%, 70% y 80% (Fig. 9).

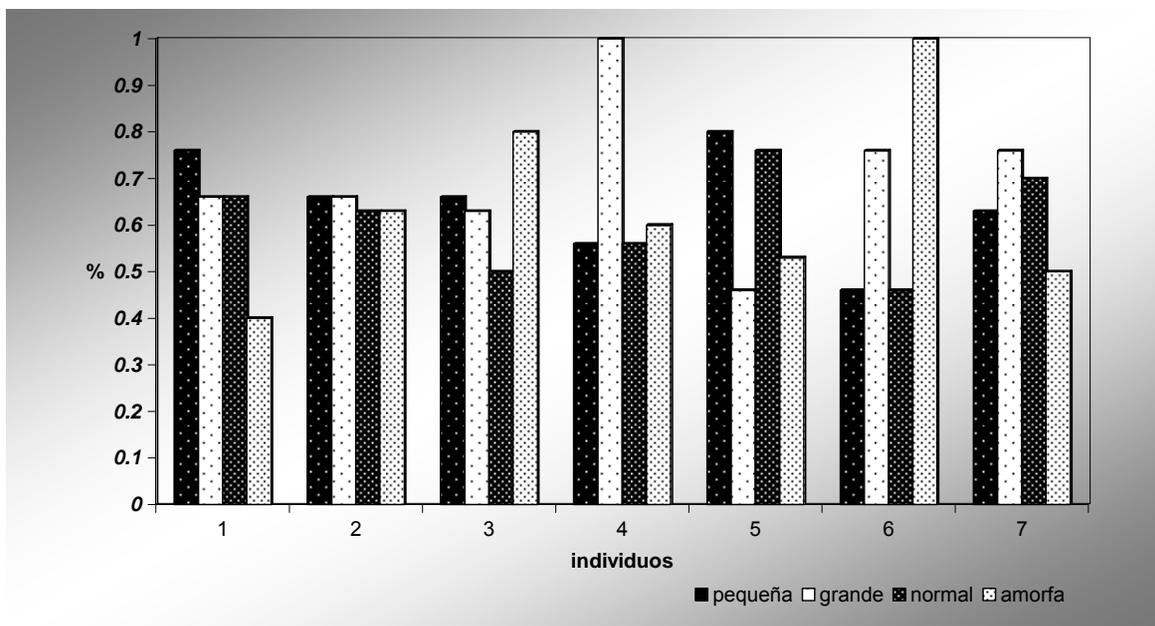


Figura 9. Porcentaje de germinación de Julio-Mayo, por individuo por categoría (N=30),

Las figuras 10 y 11 muestran las curvas de germinación para las cuatro categorías de semillas sembradas en Mayo y Julio-Mayo por categoría de semilla. La velocidad en que germinan es diferente para cada una de las categorías, en el caso de las pequeñas, normales y amorfas comienzan a germinar el día 21 y las grandes hasta el día 25 correspondientes a la fecha de siembra de mayo. En Julio-Mayo todas las categorías germinaron el día 15 después de la siembra.

En las figuras 12 y 13 se presentan los porcentajes totales de germinación correspondientes al mes de Junio y un mes de almacén respectivamente. Se puede observar que los porcentajes de germinación acumulada son similares entre los sembrados en Junio y almacenados un mes. Sin embargo, en la mayoría de nuestros siete individuos para las cuatro categorías mostraron más del 70 % de germinación siendo este el mes más óptimo para las semillas de *Mammillaria densispina* lleven a cabo el proceso de la germinación.

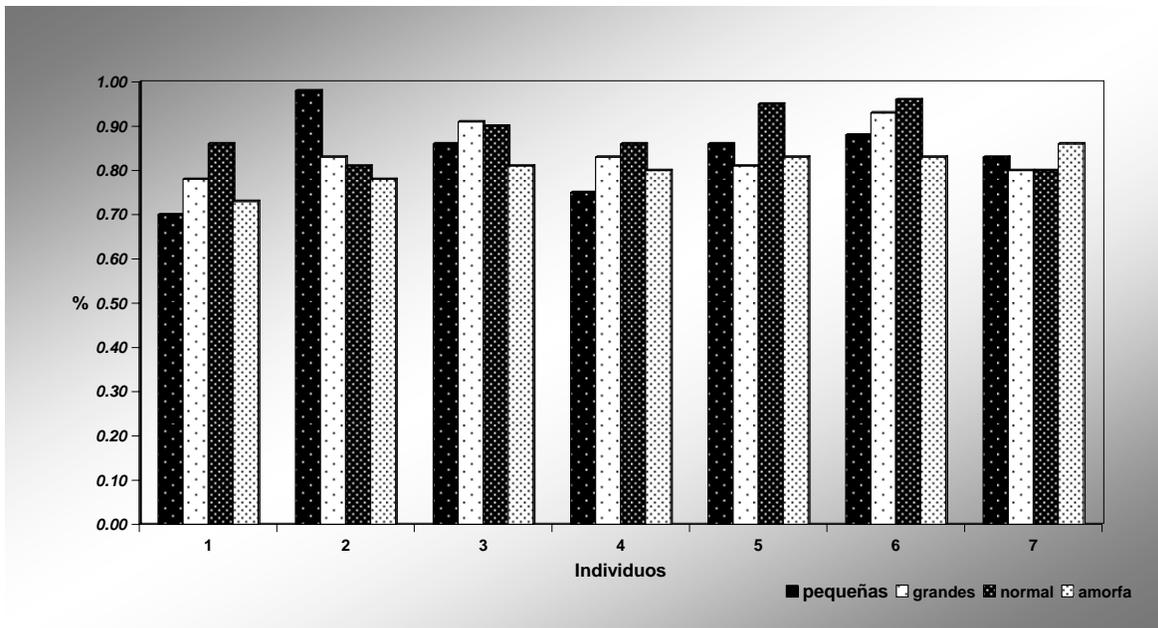
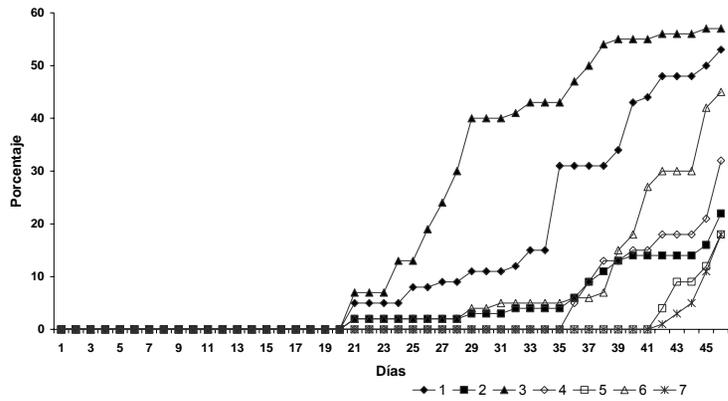


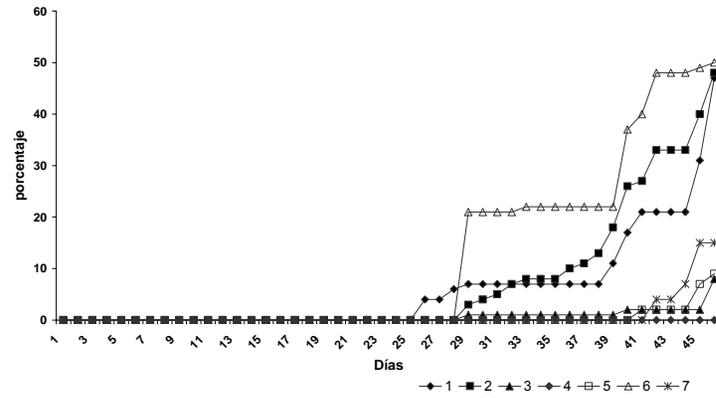
Figura 12. Porcentaje de germinación de *M. densispina* por individuo para el mes junio (N=60).

El análisis de Lifetest mostró diferencias significativas entre las curvas de germinación de las diferentes fechas de siembra (Fig. 14); así la prueba de Wilcoxon tuvo los valores en Mayo-Julio/Mayo de $\chi^2=4.31$, $gl=1$, $p<0.04$ y en Junio-Junio/Julio de $\chi^2=7.47$, $gl=1$, $p<0.006$; mientras que la prueba de Log-Rank fue en Mayo-Junio de $\chi^2=97.897$, $gl=1$, $p<0.0001$.

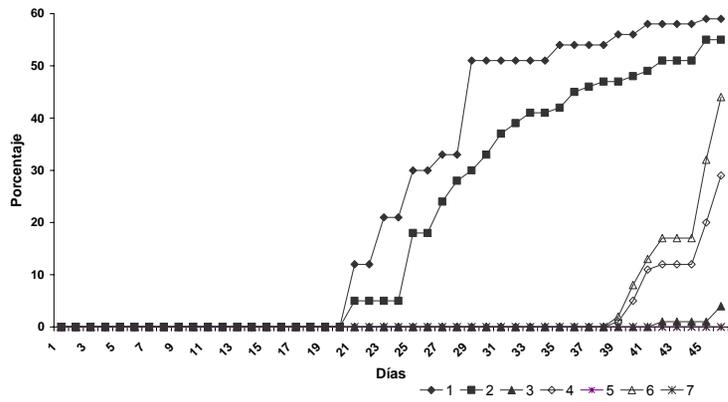
Pequeñas



Grandes



Normales



Amorfas

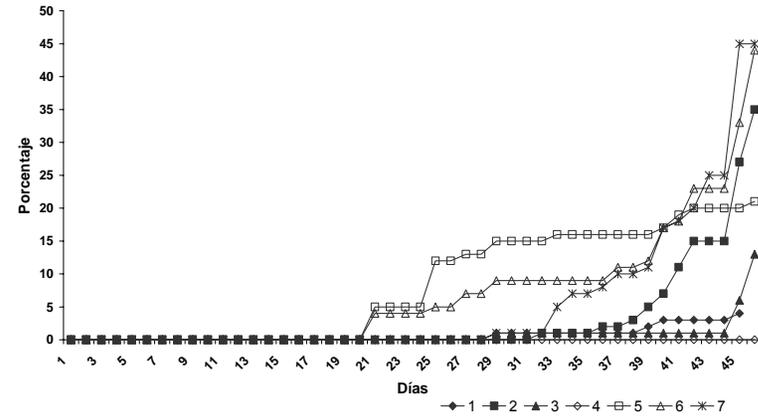
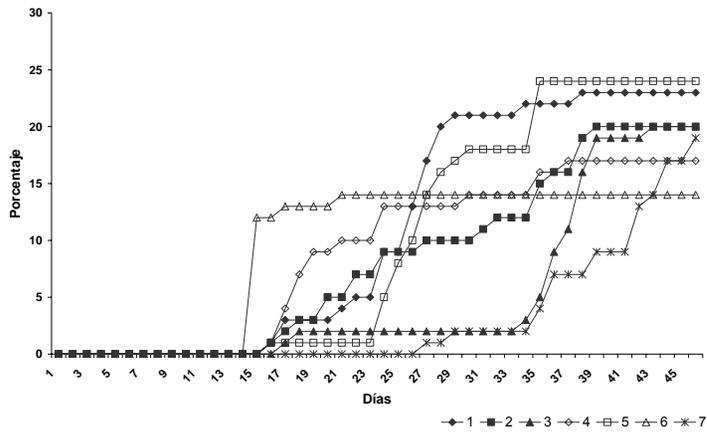
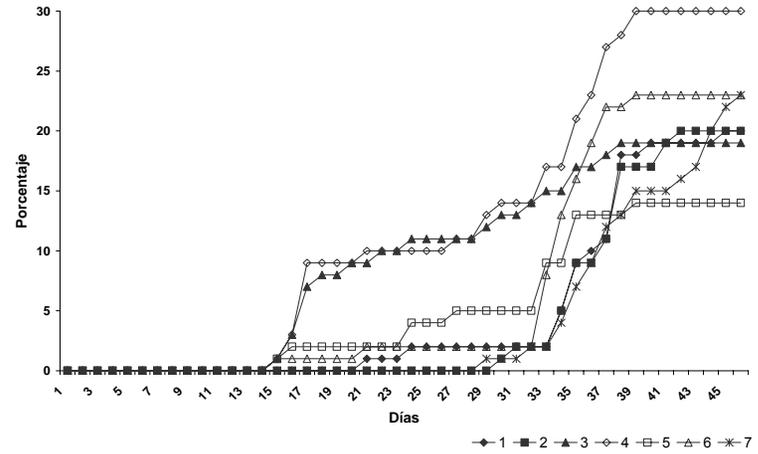


Figura 10 .Curvas de germinación de *M. densispina* para Mayo por categoría de semilla. ♦: individuo 1, ■: individuo 2, ▲: individuo 3, ◇: individuo 4, □: individuo 5, △: individuo 6, *individuo 7.

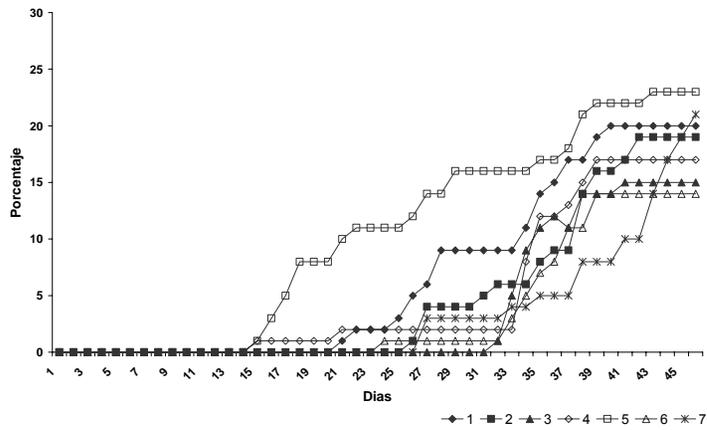
Pequeñas



Grandes



Normal



Amorfas

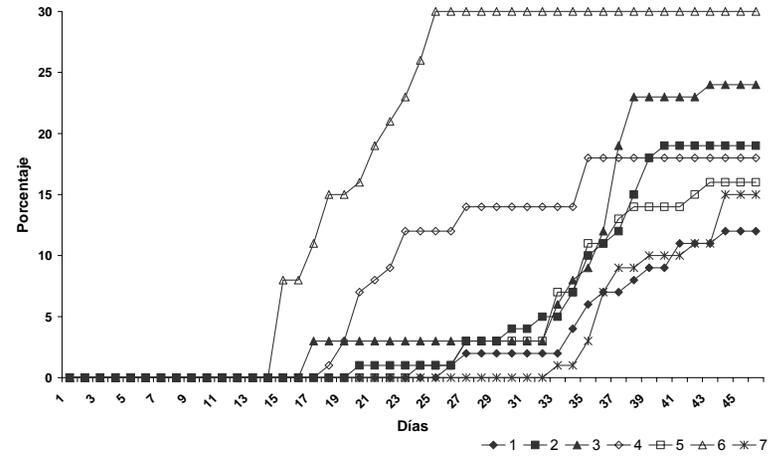


Figura 11. Curvas de germinación de *M. densispina* para Julio-Mayo por categoría de semilla. ♦: individuo 1, ■: individuo 2, ▲: individuo 3, ◇: individuo 4, □: individuo 5, △: individuo 6, *individuo 7.

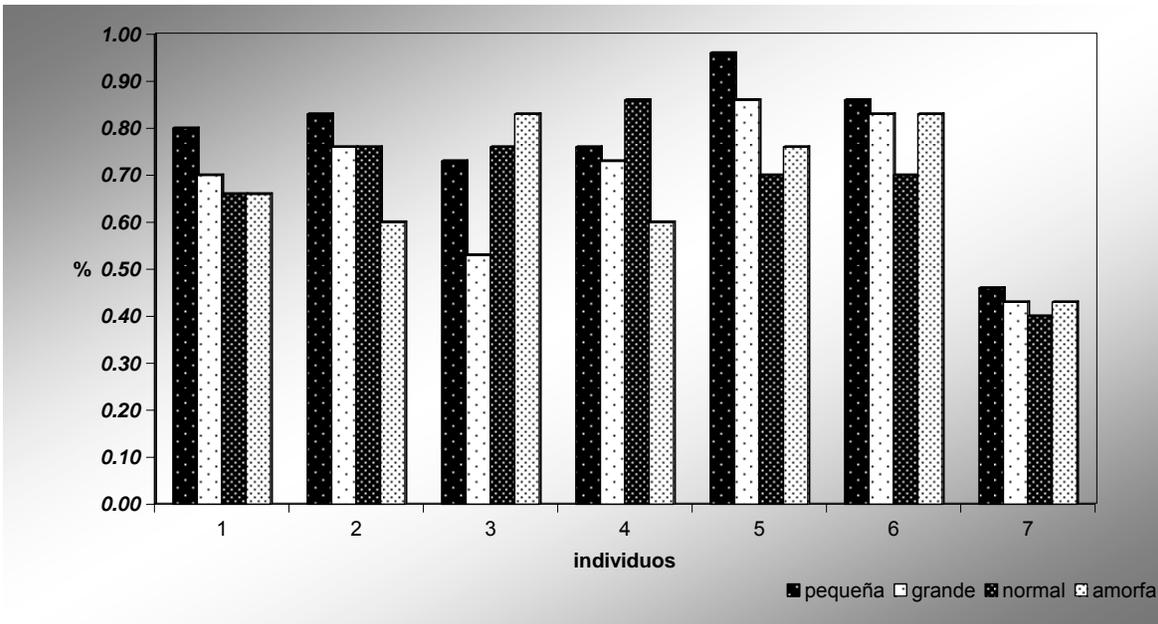


Figura 13. Porcentaje de germinación *M. densispina* por individuo para el mes Julio-Junio (N=30), por individuo.

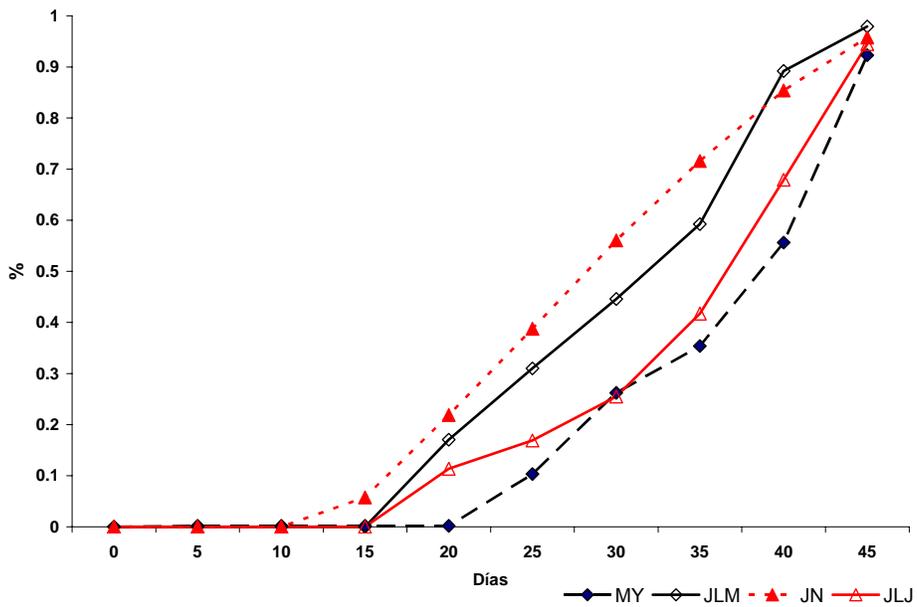


Figura 14. Curva de germinación de las diferentes fechas se siembra.

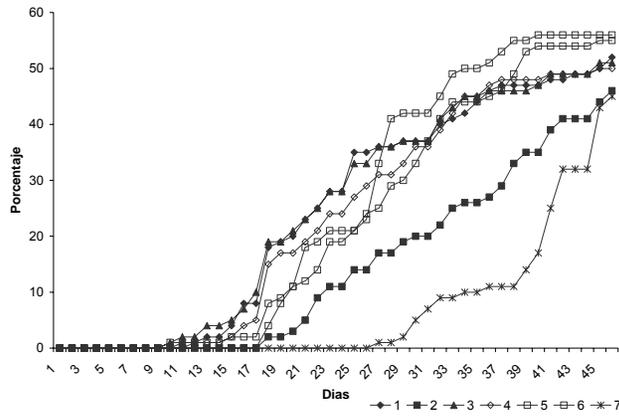
El análisis de Lifetest aplicado para las curvas de germinación por categoría y por fecha mostró que existen diferencias significativas para las categorías de semillas entre fechas ($\chi^2=176.759$, $gl=17$ $p<0.0001$), pero solo entre algunas categorías en dos fechas de siembra como fue el caso de mayo χ^2 $p>0.05$ y Junio-Julio χ^2 , >0.05 , las combinaciones para las que si existen diferencias (Mayo-Julio y Junio), se sintetizan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Valores de la χ^2 para la comparación de las curvas de germinación por fecha de siembra (Prueba de Wilcoxon, $*=p < 0.0001$) Julio-mayo (a) y Junio (11-b).

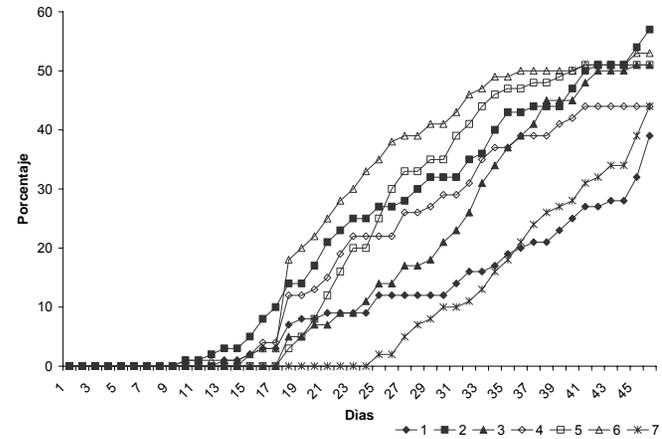
Categoría	Pequeña	Grande	Normal	Amorfa
Mayo-Julio				
Pequeña	-			
Grande	1.047	-		
Normal	125.000*	151.000*	-	
Amorfa	94.571	143.000*	1.542	-
Junio				
Pequeña	-			
Grande	1.620	-		
Normal	3.221*	0.276	-	
Amorfa	1.229	6.240*	9.023*	-

En las figuras 15 y 16 se muestran las curvas de germinación correspondiente a la cosecha de Junio y sembradas en Junio y Julio-Junio para cada una de las diferentes categorías. Las semillas de junio de las categorías grande, pequeña y normal germinaron el día nueve después de la siembra. En cuanto las de Julio-Junio cada una de las categorías inicio el proceso germinativo el día 15 después de la fecha de siembra. Las semillas correspondientes al mes de Junio tuvieron la mejor capacidad germinativa y velocidad germinativa en comparación a las otras fechas de siembra.

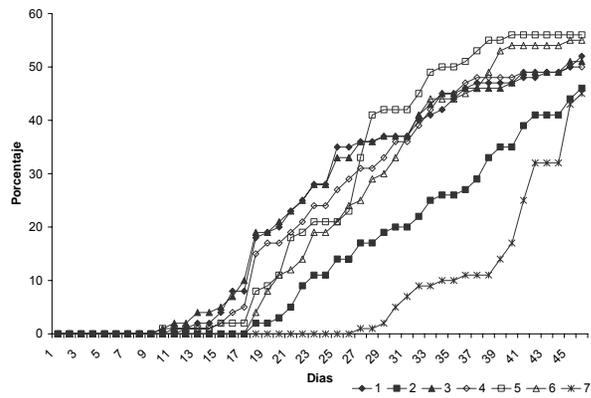
Pequeñas



Grandes



Normales



Amorfas

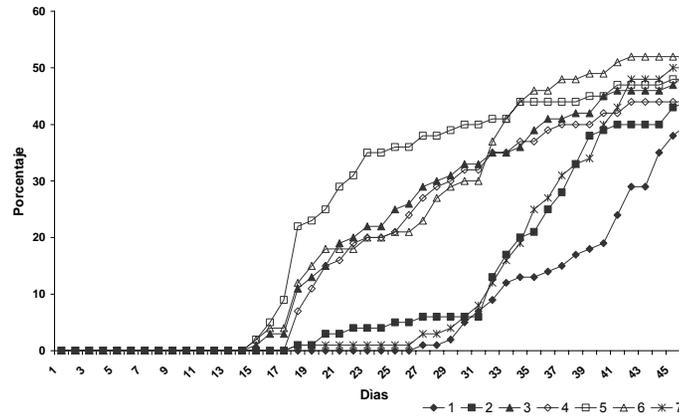
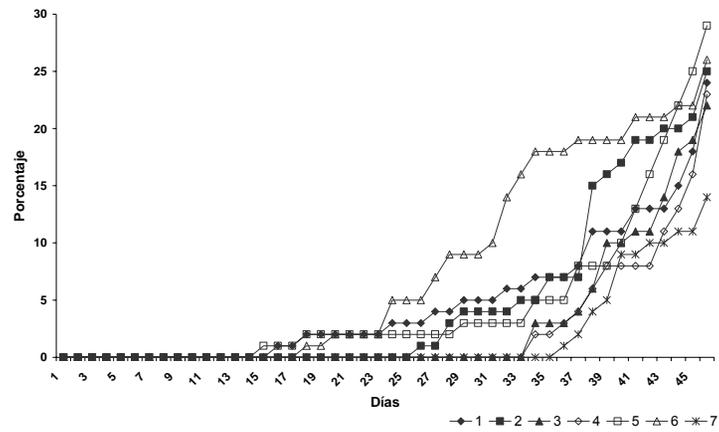
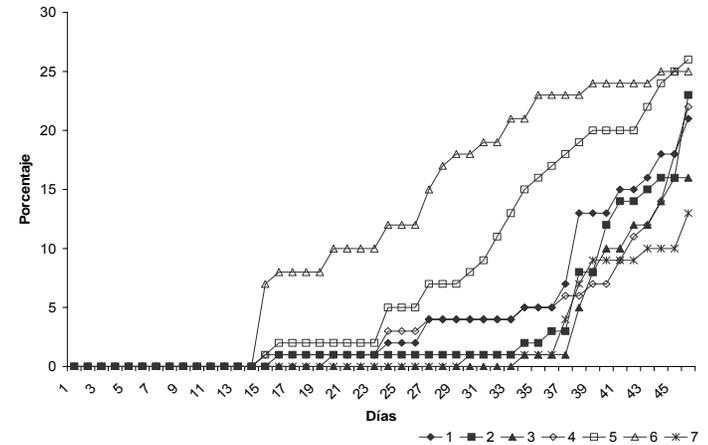


Figura 15. Curvas de germinación de *M. densispina* para Junio por categoría de semilla. ♦: individuo1, ■: individuo2, ▲: individuo3, ◇: individuo4, □: individuo5, △: individuo6, *: individuo7.

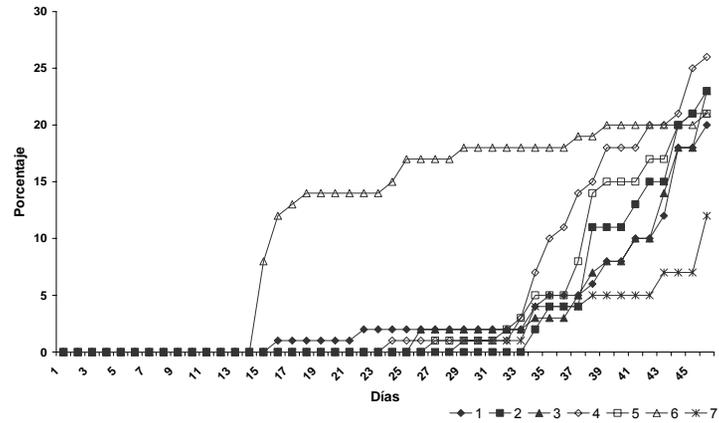
Pequeñas



Grandes



Normales



Amorfas

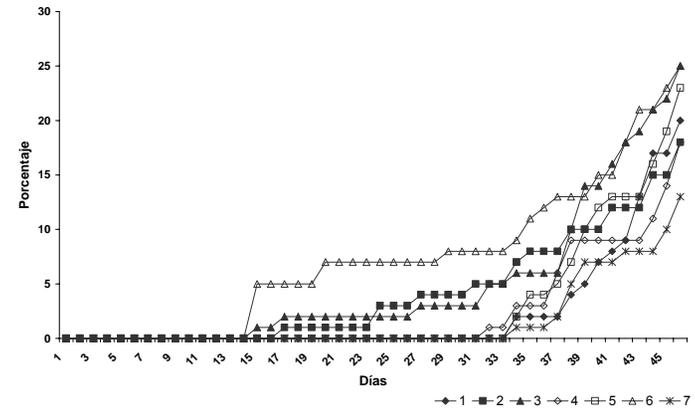


Figura 16. Curvas de germinación de *M. densispina* para Julio-Junio por categoría de semilla. ◆: individuo1, ■: individuo2, ▲: individuo3, ◇: individuo4, □: individuo5, △: individuo6, *: individuo 7.

Discusión

Número de semillas por fruto

El número de semillas puede variar dependiendo de la especie, los frutos pueden presentar más de 1000 semillas por fruto, mientras que en otros sólo pueden tener 5 semillas por fruto en la familia Cactaceae (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yañez, 2000). En *Mammillaria densispina* el número de semillas oscila entre 72 hasta 152 semillas por fruto. En otras especies de *Mammillaria* el número de semillas registrado cae en la amplitud encontrada en *M. densispina*; por ejemplo, en *M. crucigera* y *M. magnimamma* se registran 93 semillas por fruto (Contreras y Valverde, 2002).

El número de frutos producidos por planta y el número de semillas varía dependiendo de la especie, la edad de la planta, de las flores producidas y de su forma de vida. Godínez-Álvarez *et al.* (2003) señalan que los frutos de las especies de cactáceas columnares comúnmente tienen más de 1000, en cambio las cactáceas de hábito globoso llegan a producir unas 100 semillas y las cactáceas de barril pueden tener de 10 a 200 semillas por fruto. Sin embargo, Loza-Cornejo (2004) registra: 410 semillas por fruto en *Escontria chiotilla*, 122 en *Myrtillocactus geometrizans*, 111 en *Neobuxbaumia mezcalaensis*, 597 en *Pachycereus grandis* y 816 *Stenocereus queretaroensis*, mientras que Del Castillo (1986) registra para *Ferocactus histrix* de 300 a 2200 semillas por fruto debido a que los frutos maduros presentan un desarrollo completo se obtiene un mayor número de semillas. La generalización propuesta por Godínez-Álvarez *et al.* (2003) no se cumple para las especies mencionadas ni para *M. densispina* que llega a producir hasta 152 semillas por fruto.

Peso de la semilla

Banovetz y Scheiver (1994) mencionan que el peso de las semillas varía dependiendo de la forma de vida de las cactáceas. Loza-Cornejo (2004) indica que el peso promedio de las semillas fluctúa de 0.61 mg en *Myrtillocactus geometrizans* y de 0.66 mg en *Escontria chiotilla*, siendo de menor peso y tamaño que las semillas con hábito también candelabroforme de otros miembros de la tribu de Pachycereeae, como *Pachycereus grandis* con semillas de 6.3 mg. Sánchez-Salas *et al.* (2006) registran que el peso de semilla de *Astrophytum myriostigma* varía de 1.615 a 2.135 mg, mientras que

Barthlott y Hunt (2000) sintetizan el peso de las semillas de varias especies de Cactoideae donde *Pachycereus marginatus* tuvo un peso de 7.67 mg, *Astrophytum capricorne* de 1.67 mg, *Epithelantha micromeris* de 1.0 mg y una especie de *Mammillaria* no identificada de Río Verde con un peso de 0.26 mg. La especie estudiada, *M. densispina*, tuvo un peso promedio de 0.24 mg, similar a lo reportado para una especie de *Mammillaria* no determinada por Barthlott y Hunt. Con base en esta síntesis se considera que la afirmación de Banovetz y Scheiver no es apoyada, porque las especies globosas al igual que *M. geometrizans* hábito candelabroforme tienen semillas ligeras en comparación con otras especies de hábito candelabroforme o columnar.

En una población donde las plantas están sujetas a diferentes condiciones ambientales, tales como temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes, entre otras, es posible encontrar variación en el peso de la semilla (Milberg *et al.*, 1996). Las plantas que tienen tamaños variables de semillas, por lo general, cuentan con una buena permanencia en su ambiente (Rojas-Aréchiga y Batis, 2001). Loza-Cornejo (2004) menciona que existen diferencias significativas de peso en semillas entre individuos de las especies de *Escontria chiotilla*, *Neobuxbaumia mezcalaensis*, *Pachycereus grandis*, *Stenocereus queretaroensis*, excepto *M. geometrizans*. Sánchez-Salas *et al.* (2006) encontraron diferencias significativas entre el peso en semillas de *Astrophytum myriostigma* para las semillas grandes un valor promedio de 2.135 mg y en las pequeñas 1.615 mg. En *M. densispina* existen también diferencias significativas en el peso de la semilla entre los individuos. El individuo 3 tuvo el menor peso de 0.19 mg y el individuo 12 presentó las semillas más pesadas de 0.27 mg, casi el doble de peso, los resultados indican una amplia variación entre la especie. La variación en el peso de las semillas juega un papel muy importante para su dispersión, viabilidad, germinación y supervivencia de las plántulas (Harper, 1977), por ello estamos de acuerdo con estos autores de que la variabilidad tanto en el peso como en el tamaño de las semillas contribuye a la supervivencia de las plántulas.

Tamaño de la semilla

Barthlott y Hunt, (2000) reportan el tamaño de las semillas de varias especies de Cactoideae donde *Pachycereus marginatus* tiene una longitud de 4.0 mm y un ancho de 2.6 mm, *Astrophytum capricorne* 2.6 mm y 1.8 mm, *Mammillaria sp.* Río Verde 1.1 mm y

0.75 mm, *Epithelantha micromeris* 1.3 mm y 1.0 mm y *Mammillaria* sp. Cuexpala 1.1 mm y 0.8 mm. En el caso de *M. densispina* tuvo un tamaño promedio de 0.89 ± 0.72 mm del largo y 0.66 ± 0.23 mm de ancho, similar a lo reportado para una especie de *Mammillaria* no determinada por Barthlott y Hunt (2000).

Loza-Cornejo (2004) registra como las semillas más pequeñas las de *Myrtillocactus geometrizans*, las más largas de *Pachycereus grandis* y las más anchas las de *Stenocereus queretaroensis*. Además, esta autora señala que para el largo y ancho de la semilla encontró diferencias significativas entre individuos de la misma especie. Este resultado es similar a lo registrado en este estudio para *M. densispina*. Al igual que Ayala-Cordero *et al.* (2004) se observaron diferencias marcadas entre las categorías asignadas, por ello, los valores superiores del largo y ancho corresponden a la categoría de las semillas “grandes”.

Morfología de la semilla

La caracterización de la semilla de *M. densispina* se describe por primera vez con base en la propuesta de Barthlott y Hunt (2000). La proporción del ancho y largo permitió asignar la forma de la semilla como ampliamente ovoide. A continuación se comparan los atributos de la semilla registrados para *M. densispina* con los reportados para 30 especies por Barthlott y Hunt (2000). Estos autores señalan que la forma de la semilla de *Mammillaria* es ovoide y circular, *M. densispina* tiene semillas ovoides como *M. longimama*, *M. beneckeii*, *M. halei*, *M. longiflora*, *M. lenta* y *M. shumannii*. Aunque el color y el lustre es variable, la combinación testa color café y lustrosa es exclusiva de *M. densispina* porque en *M. longimama* es color café oscuro y mate, en *M. beneckeii* color café oscura y lustrosa, en *M. discolor* color café y semi-mate.

La superficie de la testa puede ser lisa o rugosa pero *M. densispina* comparte la testa rugosa con *M. tetrascrita*, *M. beneckeii* y *M. lenta*. En el tamaño de la semilla de *M. densispina* es aún más pequeña (0.8 x 0.7) en comparación a lo reportado para otras especies de *Mammillaria* (0.9 x 1.1). Las células pueden ser gradualmente más pequeñas hacia el hilo e isodiamétricas como en *M. densispina* y otras especies como *M. shumannii*, *M. dioica*, *M. prolifera*, *M. elongata* y *M. rhodantha*. En cuanto a las ondulaciones de las paredes anticlinales son pocas especies de *Mammillaria* que las presenta como es el caso

de *M. crinita*, *M. wildii*, *M. elongata*, *M. vetula*, *M. gracilis*, *M. pectinifera*, *M. rhodantha*, *M. discolor* al igual que la especie estudiada *M. densispina*. El microrelieve en general se reporta verrucoso como en *M. densispina*.

Germinación

En el caso de *Mammillaria densispina*, no se manipularon las condiciones de luz, temperatura, ni se escarificaron, pero las semillas alcanzaron porcentajes de germinación altos entre 75% y 95%. Por lo que se sugiere que, las semillas de *M. densispina* tienen una respuesta germinativa no importando su forma y tamaño. Además se encontraron diferencias significativas entre las fechas de cosecha. Las semillas colectadas en la segunda fecha (Junio) de los mismos individuos fueron excelentes en términos de porcentaje de germinación. Posiblemente el factor influyente de la respuesta de las semillas de Junio se debió a la madurez del embrión que causa una actividad natural, así que las semillas necesitan de un periodo de postmaduración para germinar, y éste varía de acuerdo a la especie. Por ejemplo en semillas de *Eriocereus bonplandii* y *Mammillaria zeilmanniana* el porcentaje de germinación incremento con la edad de la planta (Zimmer, 1967 citado por Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yañez, 2000). Las semillas jóvenes de *Ferocactus latispinus* var. *spiralis* germinaron en un 50% con una temperatura media entre los 20° y 35 ° C, mientras que las semillas de más edad en la planta madre germinaron un 80%. En este caso las semillas de *M. densispina* las semillas colectadas en Junio cumplen con lo antes mencionado. Rojas-Aréchiga *et al.* (2001) mencionan que el porcentaje de germinación incrementa de acuerdo al tiempo de almacenamiento, de una constante o alternancia en la temperatura, que requieren de un periodo de postmaduración de la planta madre por lo que necesitan de un periodo de tiempo para completar su maduración el cual es variable dependiendo de la especie, otro factor influyente es la posición del fruto en la planta madre. En las semillas de *M. densispina* no hay un efecto ya que el tiempo de almacenamiento no influye en el tiempo de inicio de la germinación.

Las semillas de cactáceas germinan rápidamente en las primeras semanas después de ser colocadas en agua (Godínez- Álvarez y Valiente- Banuet, 1998). Por ejemplo, *Neobuxbamia multiareolata* y *N. mezcalaensis*, germinan al primer día, *Pachycereus grandis* y *Stenocereus queretaroensis* germinan a los tres días de haber

sido sembradas, mientras que *Escontria chiotilla* y *Myrtillocactus geometrizans* lo hacen a los 13 días (Loza-Cornejo, 2004). Ayala-Cordero *et al.* (2004) indican que las semillas de *Stenocereus beneckeii* tuvieron una respuesta diferencial para cada una de las fechas de siembra (11/Julio/2002, 01/Agosto/2002 y 15/Agosto/2002). Las semillas de *Mammillaria densispina* tienen una velocidad germinativa lenta en comparación con lo reportado anteriormente, en las diferentes fechas de siembra para cada una de las cuatro categorías germinaron hasta 20 y 25 días después de la siembra, pero dentro de los 45 días de observación las curvas de germinación nunca alcanzan una asíntota, por ello se sugiere que si se dejarán por más tiempo éstas posiblemente hubieran alcanzado el 100% de germinación.

El resto de los individuos germinaron entre los 30 y 40 días después de la siembra. Baskin y Baskin (1998) recomiendan germinar las semillas los primeros diez días después de su colecta, debido a que éstas pueden sufrir cambios en el proceso de la germinación por el almacenamiento en seco. A los dos meses de almacén después de su colecta (Julio) las semillas de algunos individuos de todas las categorías germinaron hasta el día 15 después de la siembra. Para las de Junio algunos individuos de las categorías pequeña, grande y normal germinaron en el día 10 después de la siembra y en las amorfas tuvieron respuesta hasta el día 15 después de la siembra. El resto de las semillas germinaron entre los 18 y 27 días después de ser sembradas. Las semillas con mes de almacenamiento, tardaron cinco días en comparación a las de Junio ya que algunas semillas germinaron hasta el día 15 después de la siembra para las cuatro categorías. Y las otras completaron su germinación después del día 26 y 30 después de la siembra. En *M. densispina* el retardo en la germinación pudo deberse a una inmadurez fisiológica del embrión como se ha reportado para otras cactáceas. Para este estudio la temperatura promedio fue de 22° C, Nobel (1988) reporta que la temperatura promedio para la germinación de 19 especies de cactáceas es de 25 °C. Para otras dicotiledóneas Baloch *et al.* (2001) en semillas de *Abutilon theophrasti* encontraron diferencias significativas en 9 de las 10 categorías de peso y un 75% de semillas germinadas con tratamientos de escarificación, luz y temperatura alternadas.

Ayala-Cordero *et al.* (2004) también señalan que en semillas de *Stenocereus beneckeii*, las cinco categorías de las semillas sembradas en fechas diferentes obtuvieron respuesta diferente para cada una de las fechas de siembra y comparó los pares de

fechas de siembra donde se detectaron diferencias significativas solo para algunas fechas. En *M. densispina*, las curvas de germinación para cada una de las cuatro categorías sembradas en fechas diferentes mostraron una respuesta diferente para cada una de las fechas de siembra y las fechas de cosecha.

En condiciones de laboratorio los porcentajes de germinación en general están por encima del 70% y estos valores son altos para el caso de semillas de cactáceas (Ruedas *et al.*, 2000). Si se comparan los porcentajes de germinación obtenidos aquí (75% y 95%) con los reportados en la literatura son altos, si se considera que no se aplicó ningún tratamiento de luz/oscuridad, temperatura, ni pretratamientos de escarificación, como por ejemplo en otros estudios: Del Castillo (1986) reportó que en *Ferocactus histrix* un 96% de germinación total sin requerimientos especiales. Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet (1998) obtienen un total de semillas germinadas tomando en cuenta los datos de sus controles para *Ferocactus latispinus* y *F. flavovirens* 72% y 80% respectivamente, así como para *Coryphantha pallida* con un 97% y *Echinocactus platyacanthus* el 70%. Ayala-Cordero *et al.* (2004) indican que el porcentaje de germinación para *Stenocereus beneckeii* fue del 84%. Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet (1998) registran el porcentaje de germinación para *Neobuxbaumia tetetzo* 99%, *Pachycereus hollianus* 71%, *Myrtillocactus geometrizans* 70% y en el caso de *Opuntia puberula* el número de semillas germinadas está por debajo de los demás con un 19%. Sánchez-Salas *et al.* (2006) reportan que los mejores tratamientos para la germinación de *Astrophytum myriostigma* fueron los de agua destilada (96%), enfriamiento (92%) y testigo (90%).

En el caso de manipulación de las condiciones ambientales también se tienen resultados contrastantes por ejemplo, Ruedas *et al.* (2000) indican el porcentaje para *Mammillaria magnimamma* el porcentaje obtenido fue del 80% bajo diferentes condiciones de luz/oscuridad, temperatura y pretratamientos de acidez. Alvarez-Aguirre y Montana (1997) registran un 79% para *F. latispinus*. Para el caso de especies columnares Alvarez-Aguirre y Montana (1997) reportan en *Pilosocereus chrysacanthus*, *Cephalocereus columna-trajani* y *Peniocereus viperinus* germinan en un 79%. Rojas-Aréchiga *et al.* (2001) reportan que a los 25 °C el resultado es del 82% y en 20 °C decrece en un 59% para las semillas de *Stenocereus stellatus*.

Conclusiones

- Los diferentes pesos y tamaños en las semillas de *M. densispina* indican que existe variación entre los individuos dentro de la especie con el fin de obtener un mayor éxito en su dispersión y posterior establecimiento de las plántulas.
- Con la caracterización micromorfológica realizada en las semillas se aportó nueva información de interés taxonómico.
- En las semillas de *Mammillaria densispina* las categorías en las que se agruparon no influyen en el inicio de la germinación, debido a la heterogeneidad en la respuesta germinativa que tiene efecto sobre el crecimiento y el desarrollo exitoso de las plántulas.
- La fecha de colecta influye en el inicio de la germinación, la cual ocurrió al día diez después de la siembra (Junio) posiblemente ya que los segundos frutos fisiológicamente están más maduros por lo que las semillas tienen mayor probabilidad de germinar en comparación a los de Mayo.
- Las semillas sembradas en Junio presentaron los porcentajes de germinación más altos en comparación con las diferentes fechas de siembra debido a que las semillas están en una óptima madurez fisiológica y las condiciones ambientales fueron las idóneas para su germinación.
- En las curvas de germinación el tamaño y las diferentes fechas de siembra responden diferencialmente en el tiempo de inicio de la germinación en donde las grandes tuvieron el mayor número de semillas germinadas, y la fecha de siembra correspondiente a junio la germinación se inicio al décimo día y no hay diferencias en el comportamiento germinativo.

Literatura citada

- Álvarez-Aguirre M. G y C.Montaña. 1997. Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacan: Implicaciones para su conservación. *Acta Botánica Mexicana* 40: 43-58.
- Allison D. P.1995. *Survival analysis using the SAS, a Practical Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 291pp.
- Angevine M. W. y B. F. Chabot, 1979. Seed germination syndromes in higher plants. In: Solbring, O. T. Solbring, S. Jain, G.B Johnson, P.H. Raven. [eds]. *Topics in Plant Population Biology*. Columbia University, New York.
- Arias S. y T. Terrazas 2004. Seed morphology and variation in the genus *Pachycereus* (Cactaceae). *Journal of Plant Research* 117: 277-289.
- Armella Villalpando M. A. 1990. Depredación predisposición de semillas en la Barranca de Metztlán. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Arroyo-Cosultchi G., T. Terrazas, S. Arias e H. J. Arreola-Nava. 2006. The systematic significance of seed morphology in *Stenocereus* (Cactaceae). *Taxon* 55: 983-992.
- Ayala-Cordero G, Terrazas T, López-Mata L y Trejo Carlos. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia* 29: 692-696.
- Baloch H. A, A. DiTommaso y A. K. Watson. 2001. Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. [Seed Science Research](#) 11: 333-345.
- Banovetz J. S y S. M. Scheiver. 1994. The effects of seed mass on the ecology of *Coreopsis lanceolata*. *American Midland Naturalist* 131: 65-74.
- Barthlott W y D. Hunt. 2000. Seeds diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae. *Succulent Plant Research* 5: 1-173.
- Barthlott W. y G. Voit. 1979. Mikromorphologie der Samenschalen und Taxonomie der Cactaceae. *Plant Systematics and Evolution* 132: 205-229.
- Baskin C. C y J. M. Baskin. 1998. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. San Diego, California. 666pp.
- Benson L.1982. *The cacti of the United States and Canada*. Stanford United Press. Stanford, California. 1044pp.
- Bewley J. D y M. Black. 1994. *Seeds Physiology of development and germination*. Plenum Press, New York. 455pp.

- Bewley J. D y M. Black. 1985. Seeds- Physiology of development and germination. Plenum Press .U. S. A: 367pp.
- Bidwell R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. AGT Editor. México. 784pp.
- Bidwell R. G. S. 1990. Fisiología Vegetal. A. G. T. México. 784pp.
- Bradbeer J. W. 1994. Seed Dormancy and Germination. Chapman and Hall. Great Britain. 146 pp.
- Bravo-Hollis H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I. UNAM, México. 743 pp.
- Bravo-Hollis H. y H. Sánchez-Mejorada.1991. Las Cactáceas de México. Vol. 111. UNAM, México. 643pp.
- Bravo-Hollis H. y Scheinvar L. 1995. El Interesante Mundo de las Cactáceas. CONACYT y Fondo de Cultura Económica. México. 233pp.
- Bregman R. 1992. Seed studies in the subtribe Borzicactinae Buxbaum (Cactaceae): morphology, taxonomy, phylogeny and biogeography. Botanische Jahrbücher für Systematic 114: 201-250.
- Contreras C. 2000. Dinámica poblacional de *Mammillaria crucigera* (Cactaceae), una especie rara de la región Tehuacan-Cuicatlán. Tesis. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Contreras C. y Valverde, T. 2002. Evaluation of the conservation status of rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. Journal of Arid Environments 51: 89-102.
- Copeland L. O. 1976. Principles of seed science and technology. Burgués Publishing Company. U. S. A. 369pp.
- Cota Sánchez H. 1985. Morfología y pruebas de viabilidad con sales de tetrazolio en semillas de *Ferocactus latispinus* (Haw.) Br. And Rose. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 30: 51-64.
- Cresswell E. G, y J. P Grime. 1981. Induction of a Light requirement during seed development and its ecological consequence. Nature. 291: 583-585.
- Del Castillo R. F. 1986. Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 31: 5-10.
- Der Geoff y S. Everitt. 2002. A handbook of statistical analyses using SAS. Second edition. Chapman&Hall/CRC. USA. 222-229pp.
- Dubrovsky J. G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. American Journal of Botany 83: 624-632.

- Dubrovsky J. G. 1998. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the sonoran Desert. *Bull. Torrey Bot. Club.* 125: 33-39.
- Elizondo J, J. Valdez, y S. Arias. 1994. Micromorfología de las semillas de algunas especies de la tribu Cacteeae. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 44: 4-10.
- El-sharkawi H. M., K. A. Farghali y S. A. Sayed. 1989. Interactive effects of water stress, temperature and nutrients in the seed germination of three desert plants. *Journal of Arid Environments* 17: 307-317.
- Fenner M. 1985. *Seed ecology*. Gran Bretaña. Chapman & Hall. 151pp.
- Fenner M. 1992. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Oxford, U. K. C. A. B International. 373pp.
- Flores E. M. 1976. Apuntes sobre anatomía y morfología de las semillas de cactáceas. II Caracteres de valor taxonómico. *Revista de Biología Tropical* 24: 299-321.
- Flores V. y E. M. Engleman. 1976. Apuntes sobre anatomía y morfología de las semillas de cactáceas. I Desarrollo y estructura. *Revista de Biología Tropical*. 24: 199-227.
- Friedrich H. y W. Glaetzle. 1983. Seed-morphology as a mid to classifying the genus *Echinopsis* Zucc. *Bradleya* 1: 91-104.
- Godínez-Álvarez H. O. 1991. Propagación de cactáceas por semilla: una experiencia para su cultivo y conservación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Godínez-Álvarez H. O y A. Valiente-Banuet. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *Journal of Arid Environments* 39: 21-31.
- Godínez-Álvarez H, T. Valverde y P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical Review* 69: 173-203.
- Gutterman Y. 1972. Delayed seed dispersal and rapid germination as survival mechanisms of the desert plant *Blepharis persica* (Burm.) *Oecologia* 10: 145-149.
- Gutterman Y. 1985. Flowering, seed development, and the influences during seed maturation on seed germination of annual weeds. *In* S. O. Duke [ed.], *Weed Physiology*, Vol. I. Reproduction and ecophysiology. 1-25pp. CRC Press, Inc., Boca Raton.
- Gutterman Y. 1991. Comparative germination of seeds, matured during winter or summer, of some bi-seasonal flowering perennial desert Aizoaceae. *Journal of Arid Environments* 21: 283-291.

- Guzmán U., S. Arias, y P. D. Dávila. 2003. Catálogo de Cactáceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 135 pp.
- Harper J. L., J. T. Williams y G. R. Sagar. 1965. The behavior of seeds in soil. I. The heterogeneity of soil surface and its role in determining the establishment of plants from seed. *Journal of Ecology* 53: 273-286.
- Harper J. L. 1977. Population biology of plants. Academic Press. Londres. 829 pp.
- Hernández-García G. y E. García-Villanueva. 1991. anatomía comparada de óvulos y semillas de dos especies del genero *Mammillaria* (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 51: 25-38.
- Hernández, H. M. y H. Godínez-Alvarez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.
- Holt, J. S. 1987. Factors affecting germination in greenhouse produced seed a of *oxalis corculata*, a perennial weed. *American Journal of Botany* 74: 429-436.
- Koller, D. 1969. The physiology of dormancy and survival of plants in desert environments. *Symposium of the Society of Experimental Biology* 23: 449-469.
- Leuenbergh B. E. 1974. Testa surface characters of Cactaceae. *Cactus and Succulent Journal U. S. A.* 46: 175-180.
- Loza-Cornejo S. 2004. Características del desarrollo de plántulas de seis especies de *Pachycereceae* (Cactoideae-Cactaceae). Tesis. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 157pp.
- Maiti R. K., J. L. Hernández-Piñero y M. Valdéz-Marroquín. 1994. Seed ultrastructure and germination of some species of Cactaceae. *Phyton* 55: 97-105.
- Martínez-Holguín E. 1983. Germinación de semillas de *Stenocereus griseus* (Haw) Buxbaum (Pitayo de mayo). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 28: 51-57.
- McDonough W. 1964. Germination responses of *Carnegia gigantea* and *Lemairocereus thurberi*. *Ecology* 45:155-159.
- Milberg P, L. Anderson, C. Elverson y S. Regné. 1996. Germination characteristics of seeds differing in mass. *Seed Science Research* 6: 191-197.
- Meyer S. E, E. D. McArthur y G. L Jorgensen. 1989. Variation in germination response to temperature in rubber rabbibrush (*Chrysothamnus nauseosus*) Asteraceae and its ecological implications. *American Journal of Botany* 76: 981-991.
- Morales V. G. y M. F. Camacho. 1985. Formato y recomendaciones para evaluar la germinación. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. *Boletín Técnico* 48: 123-138.

- Montaño M. C, V. F. Vega y S. H. Nolasco. 1993. Aspectos ecológicos y económicos de las cactáceas mexicanas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 38: 89-92.
- Nobel P. S. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. U.S.A. 270 pp.
- Nobel P. S. 1989. Temperature, water availability; and nutrient levels at various soil depths consequences for shallow-rooted desert succulents, including nurse plant effects. *American Journal of Botany* 76: 1486-1492.
- Nolasco H., F. Vega-Villasante, H. L. Romero-Schmidt y A. Díaz-Rondero. 1996. The effects of salinity, acidity, Light and temperature on the germination of seeds of cardón (*Pachycereus pringlei* (S. Wats) Britton & Rose, Cactaceae). *Journal of Arid Environments* 33: 87-94.
- Nuñez-Mariel C. Y. 2004. Cactáceas columnares de México: estudio embriológico comparativo de 5 especies de la tribu Pachycereeae. Tesis de Doctorado. UNAM.
- Orozco-Segovia A. y C. Vázquez-Yañez. 1992. Los sentidos de las plantas: la sensibilidad de las semillas a la luz. *Ciencia* 43: 335-346.
- Ortolá G. A. 2000. *Apuntes Básicos de Fisiología Vegetal*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 149-155pp.
- Página en Red: [www. Conabio.gob.mx/institución/conabio_ español/doctos/ cactus.html](http://www.Conabio.gob.mx/institución/conabio_español/doctos/cactus.html).
- Pijl L. Van Der. 1969. *Principies of Dispersal in Higher Plants*. Springer Verlag. Berlin.
- Potter R. L., J. L. Petersen y D. N. Veckert. 1984. Germination responses of *Opuntia* spp. to temperature, scarification and other seed treatments. *Weed Science* 32: 106-110.
- Ramírez O. G. y M. F. Camacho. 1987. Tratamiento de semillas latentes de plantas de importancia económica. *Biología*. 16): 36-42.
- Rathcke B. y E. Lacey. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 179-214.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*. 14:3-21.
- Roberts E. H. 1972. Dormancy: a factor affecting seed survival in the soil. In: Roberts, E.H [ed.], *Viability of Seeds*. Chapman & Hill. Cap II. 321-359pp.
- Robinson H. 1974. Scanning electron microscope studies of the spines and glochids of the Opuntioideae (Cactaceae). *American Journal Botany* 61: 278-284.
- Rojas-Aréchiga M. 1995. Estudios sobre la germinación de cactáceas del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en ciencias. UNAM.

- Rojas-Aréchiga M., A. Orozco-Segovia y C. Vázquez-Yañez. 1997. Effect of Light of germination of seven species of cactus from the Zapotitlán Valley in Puebla, México. *Journal of Arid Environments* 36: 571-578.
- Rojas-Aréchiga M., y C. Vázquez-Yañez. 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environment* 44: 85-104.
- Rojas-Aréchiga M., A. Casas y C. Vázquez Yañez. 2001. Seed germination of wild and cultivated *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, central México. *Journal of Arid Environments* 49: 279-287.
- Rojas-Aréchiga M. y A. Batis. 2001. Las semillas de cactáceas ¿forman bancos en el suelo? *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 4: 76-82.
- Romero-Schmidt H. L., F. Vega-Villasante, H. Nolasco y C. Montaña. 1992. The effect of darkness, freezing, acidity and salinity on seed germination of *Ferocactus peninsulae* (Cactaceae). *Journal of Arid Environments* 23: 389-395.
- Ruedas M, T. Valverde y S.A. Castillo. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento de las plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Boletín Sociedad Botánica de México* 66: 25-35.
- Salisbury J. y C. Ross. 1992. *Fisiología Vegetal*. Iberoamericana. México. 758pp.
- Sánchez Salas J., J. Flores y E. Martínez-García. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (Cactaceae), especie amenazada de extinción. *Interciencia* 31: 371-375.
- Sánchez-Mejorada H. 1980. Notas sobre la semilla de *Ferocactus lindsayii*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 25: 66-68.
- Tsukada M. 1964. Pollen morphology and identification II. Cactaceae. *Pollen et Spores* 6: 45-84.
- Taylor N. P y J. Y. Clark. 1983. Seed-morphology and classification in *Ferocactus* subg. *Ferocactus*. *Bradleya* 1: 3-16.
- Vázquez-Yañez C. 1999. Ecología fisiológica de las semillas y su relación con la conservación. En: Orellana, R., Escamilla, J. A & Larqué-Saavedra, A (eds). *Ecofisiología Vegetal y Conservación de Recursos Genéticos*, pp51-57. México.
- Vázquez-Yañez C y A. Orozco-Segovia. 1982. Seed germination of a tropical rain forest pioneer tree (*Heliocarpus donneli-smithii*) in response to diurnal fluctuations of temperature. *Physiological Plantarum* 56: 296-298.
- Vázquez-Yañez C y A. Orozco-Segovia. 1994. Signals for seeds to sense and respond to gaps. In: M. Caldwell and R. Pearcy (eds.) *Exploitation on Environmental*

Heterogeneity by Plants: Ecophysiological Processes above and below Ground.
Academic Press, New York pp. 209-236.

Vázquez-Yañez C, A. Orozco-Segovia, M. Rojas-Aréchiga y V. Cervantes. 1997. La
Reproducción de las Plantas: Semillas y Meristemos. México: Fondo de Cultura
Económica.167pp.