



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

## GERMINACIÓN DE CINCO POBLACIONES DE *Echinocactus platyacanthus* LINK & OTTO (CACTACEAE)

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I O L O G A  
P R E S E N T A :  
CECILIA ALEJANDRA HERNÁNDEZ AGUILAR



DIRECTOR DE TESIS: DRA. MARGARITA COLLAZO ORTEGA

2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

1. Datos del alumno

Hernández

Aguilar

Cecilia Alejandra

56 02 62 66

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

095191449

2. Datos del tutor

Dra.

Margarita

Collazo

Ortega

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Ana Laura

López

Escamilla

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Ana María Lourdes

González

Zertuche

5. Datos del sinodal 3

Dra.

Alicia Enriqueta

Brechú

Franco

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Mariana

Rojas

Aréchiga

7. Datos del trabajo escrito

Germinación de cinco poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto (Cactaceae).

78 p

2007

A mis padres Alejandra Ma. Elena Aguilar Esquivel y Arturo Lino Hernández Morales por creer en mí. Mami y papi son ustedes un gran equipo que con mucha tenacidad, apoyo, paciencia, cariño, motivación y desvelos me han ayudado a alcanzar una meta más.

A mis latosos hermanos Memo y Luis ;D , gracias por todos los momentos de diversión y enojo que compartimos y porque se que siempre contaré con ustedes.

A Tak, tu paciencia y cariño me motivaron a no darme por vencida. Gracias por estar aquí cielo de tormenta, gracias por seguir adelante a mi lado.

Al pequeño Rayito de Sol que ilumina mi día cada mañana al regalarme su bella sonrisa. Te amo Sarale Moridane.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Margarita Collazo Ortega por todo el apoyo y cuidado brindado para el desarrollo de esta tesis.

A Mague por no dejar de cuidarme, motivarme y enseñarme... gracias por confiar y esperarme.

Al Laboratorio de Desarrollo en Plantas de la Facultad de Ciencias por las facilidades otorgadas para la elaboración de este proyecto.

A la M. en C. Mariana Rojas Aréchiga y a el Laboratorio de Ecología Fisiológica del Instituto de Ecología de la UNAM por facilitar el uso de las cajas de plexiglass y de las cámaras de ambiente controlado.

A mis sinodales Dra. Ana Laura López Escamilla, Dra. Ana María Lourdes González Zertuche, Dra. Alicia Enriqueta Brechú Franco y M. en C. Mariana Rojas Aréchiga por las revisiones y recomendaciones a esta tesis.

A la Dra. Ana María Lourdes González Zertuche por los comentarios al método del proyecto.

A la Dra. Ana Laura López Escamilla por la colecta de las semillas de *Echinocactus platyacanthus* de la Barranca de Meztlán, Hidalgo.

Al Dr. Ulises Yunuen Rosas López por la donación de semillas de *E. platyacanthus* de Tehuacán, Puebla.

A la Bióloga Norma Y. Castillo Sosa por la ayuda en la colecta de semillas de *E. platyacanthus* en Tehuacán, Puebla.

A mis maestras del taller “Biología del Desarrollo y Estructuras Reproductoras de Cactáceas”; Mague, Ana, Paty, Judith, Soni y Silvia gracias por darme las bases para crear y defender un proyecto.

A mis compañeros y profesores del Labo Judith, Mague, Clarita, Doc Laguna, Lulú, Alicia, Reyna, Soni, Kary, Odeth, Flor, Margarita, Normita, Oyuki, Fabi... por hacer del trabajo diario algo motivante y enriquecedor además de divertido.

A Tak, Normita y Oyuki por ayudarme a limpiar frutos, a pesar de las espinas adelante!

A todos los que empezamos... a todos los que seguimos... gracias por ser mis amigos. Oyuki, Normita, Juliancito, Fabis, Elisa y Esther gracias por su apoyo, por todos los momentos compartidos que son innumerables, porque somos muy diferentes y hemos aprendido muchas cosas unos de otros y porque a pesar de esas diferencias podemos decir triunfadoramente que en las buenas y malas ahí estaremos sin importar donde nos encontremos.

A mi tía Coti por los sueños compartidos, por todo el apoyo y cariño, por la ayuda para mi clase de francés y por todos los agregados de las ahora nombradas “Becas Tía Galleta”.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por el privilegio de pertenecer a la casa de estudios más grande del país.

## ÍNDICE

	Página
<b>RESUMEN</b> _____	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> _____	<b>9</b>
<b>ANTECEDENTES</b> _____	<b>12</b>
Las cactáceas _____	12
Las semillas de las cactáceas _____	15
Dispersión _____	17
Latencia y viabilidad _____	19
Banco de semillas _____	22
Germinación _____	24
Factores que controlan la germinación _____	25
<i>Luz</i> _____	25
<i>Temperatura</i> _____	27
Nodricismo _____	31
Estudios poblacionales _____	32
<b>OBJETIVOS</b> _____	<b>34</b>
<b>HIPÓTESIS</b> _____	<b>34</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> _____	<b>35</b>
Especie estudiada _____	35
Zonas de colecta _____	39
Colecta y procesamiento de frutos y semillas _____	40
Desinfección de las semillas _____	40
Siembra _____	42

Tratamientos _____	42
Condiciones de incubación _____	42
Diseño experimental _____	43
Variables _____	43
Análisis de datos _____	45
<b>RESULTADOS _____</b>	<b>46</b>
Calidad de luz por temperatura _____	46
Efecto de la calidad de luz _____	49
<i>Germinación máxima</i> _____	49
<i>G<sub>50</sub></i> _____	51
<i>Velocidad de germinación</i> _____	52
Temperatura _____	56
<i>Germinación máxima</i> _____	56
<i>G<sub>50</sub></i> _____	60
<i>Velocidad de germinación</i> _____	61
<b>DISCUSIÓN _____</b>	<b>63</b>
Calidad de luz por temperatura _____	63
Efecto de la calidad de luz _____	63
Temperatura _____	66
<b>CONCLUSIONES _____</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA _____</b>	<b>70</b>



## RESUMEN

*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto (Cactaceae) es una especie que se encuentra bajo protección especial (NOM-059-ECOL-2001, D.O.F., 2002) y se considera en el Apéndice II de la CITES (Inskipp y Gillett, 2003). Se distribuye en los matorrales xerófilos de los estados de Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. En el presente trabajo se analizó experimentalmente la germinación de semillas de *E. platyacanthus* de 3 poblaciones del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (fa. *grandis*), 1 de Vizarrón, Qro. (fa. *platyacanthus*), y 1 de la Reserva de la Biosfera “Barranca de Metztitlán”, Hgo. (fa. *platyacanthus*). Se analizó el efecto de la temperatura constante (15°, 20°, 25°, 30° y 35°C) en el porcentaje de germinación máxima, la germinación acumulada y el número de días a los cuales se alcanza el 50% de germinación ( $G_{50}$ ). En cada temperatura se evaluó el efecto de distintas calidades de luz sometiendo las semillas a cuatro tratamientos: rojo (R), rojo lejano (RL), luz blanca (LB) y oscuridad (O) para determinar su efecto sobre la germinación. En las cinco poblaciones hubo respuesta a las luces B, R, y RL así como a la oscuridad, aunque en esta última la germinación máxima generalmente fue inferior al 50%. De manera general se observó un aumento del porcentaje de germinación máxima conforme aumentaba la temperatura. El número de días para alcanzar el 50% de la germinación ( $G_{50}$ ) fue mayor en general en la población de Vizarrón, Qro. Esta población presentó también las velocidades de germinación más bajas en cualquier condición de temperatura y luz.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios de germinación proveen información ecofisiológica básica sobre los requerimientos para la propagación de semillas así como el subsecuente desarrollo y establecimiento de plántulas (Rojas-Aréchiga, 1995). La germinación constituye una de las etapas más vulnerables en el ciclo de vida de las plantas. Es por ello que para conocer más sobre la biología de las plantas es indispensable realizar estudios de esta etapa tan importante, ya que además resulta un método de propagación fundamental para mantener la diversidad genética de una población (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000).

De acuerdo con el ambiente donde viven las plantas, su naturaleza y las características adaptativas de sus semillas, es posible predecir como éstas se comportarán. De acuerdo a Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia (1984), las plantas policárpicas de climas estacionalmente desfavorables producirán semillas de rápida germinación cuando su fructificación ocurra al principio de la estación de crecimiento, pero producirán semillas con fuertes defensas y de germinación retardada cuando la fructificación ocurra poco antes del inicio de la estación desfavorable para que al menos una parte de las semillas sobreviva. Las semillas de las plantas monocárpicas constituyen la única parte de las poblaciones de semillas que sobreviven durante una época del año.

La semilla es el producto del óvulo fertilizado, la cual en, las angiospermas, se forma dentro de un ovario. La semilla contiene al embrión de la futura planta, compuestos de reserva y una cubierta protectora que aísla parcialmente al embrión de los efectos deletéreos que el ambiente puede ejercer en ella (Bradbeer, 1988; Raven *et al.*, 1999).

Las características fisiológicas de las semillas (latencia, viabilidad y tipo de germinación) van a reflejar la naturaleza del ambiente en el que ocurrió el establecimiento de las plantas

que las produjeron, por lo que dichas características aseguran la sobrevivencia por el condicionamiento de la germinación al momento más propicio para que ocurra el establecimiento de las plántulas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984). La duración y magnitud de los efectos deletéreos del ambiente durante la estación desfavorable también determinarán las características de las semillas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Las cactáceas son uno de los grupos más amenazados del reino vegetal. Las poblaciones naturales de muchas especies han sido afectadas por las presiones del desarrollo humano, debido principalmente a la conversión de terrenos para usos agrícolas y/o pecuarios, destruyendo y modificando sus hábitats, y a las actividades de extracción de las plantas silvestres para su venta como especies de ornato (Franco, 1997). En consecuencia, la familia completa está incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Tráfico Internacional de Especies Silvestres de Flora y Fauna Amenazadas (CITES) (Inskipp y Gilliett, 2003) y muchos de sus representantes están comprendidos en el Apéndice I. De acuerdo a Arias (2000) el 35% de las especies de cactáceas está en peligro de extinción, de las cuales 197 son especies mexicanas. En la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001, D.O.F., 2002) se encuentran inscritas 286 especies de cactáceas, 30 en peligro de extinción, 89 amenazadas y 167 sujetas a protección especial. Debido a que en ocasiones no hay equivalencias en los listados de la NOM-059-ECOL- 2001 (D.O.F., 2002), CITES (Inskipp y Gilliett, 2003) y la IUCN (Página en red: IUCN, 2004) se provocan incongruencias a varios niveles taxonómicos, con gran repercusión en el adecuado manejo de los taxones (Arias *et al.*, 2005). Estos autores generaron una lista de especies y categorías infraespecíficas de las tres listas, depuraron sinónimos verificando la

nomenclatura correcta y los nombres de uso actual tomando como base el catálogo de cactáceas de Guzmán *et al.* (2003). De esta forma redujeron a 239 especies más 16 subespecies la lista de la NOM-059-ECOL-2001: 27 en peligro de extinción, 81 amenazadas y 157 sujetas a protección especial.

*Echinocactus platyacanthus* es una especie sujeta a protección especial de la cual no existe un plan de manejo, se utiliza para la obtención de acitrón y como ornamental, por lo que se aprovecha directamente de las poblaciones naturales provocando la destrucción de miles de plantas afectando la sobrevivencia de la especie en un futuro próximo (Página en red: INE, 2003). Es por lo anterior que este trabajo aborda el estudio de la germinación de 5 poblaciones de *E. platyacanthus* provenientes de 3 estados de la República Mexicana con el objetivo de contribuir a entender esta etapa esencial en su ciclo de vida.

## ANTECEDENTES

### Las cactáceas

La familia Cactaceae comprende, de acuerdo a Bravo-Hollis (1978), tres subfamilias de plantas perennes: Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae. Anderson (2001) incluyó a la subfamilia Maihuenioideae. Consiste de aproximadamente 1500 a 2000 especies. Las cactáceas son originarias de América y se distribuyen desde Canadá hasta la Patagonia. Su distribución es muy amplia ya que se encuentran en casi todos los tipos de hábitats. En las regiones áridas y semiáridas se localizan más del 70% de las especies, encontrándose la mayor diversidad en el matorral xerófilo. Sin embargo, también se encuentran representadas de forma importante en las regiones tropicales y subtropicales como en las selvas altas perennifolias, selvas medianas o bajas caducifolias; también habitan regiones templadas y frías como en los bosques de coníferas, o bien en las regiones con nevadas durante el invierno como los bosques boreales y las estepas patagónicas (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995; Nobel, 2002).

México es el país que alberga la mayor riqueza en especies de la familia Cactaceae, Arias (1993) calcula que en la flora de México está representada por 52 géneros (47% de la familia) y aproximadamente 850 especies (42% de la familia). México es también el centro de diversificación de cactáceas más importante encontrándose en el país el mayor número de especies endémicas, con un alto índice a nivel genérico (73%) y específico (78%) (Hernández y Godínez, 1994). La mayor parte de tales especies habitan las regiones áridas y semi-áridas del país que ocupan aproximadamente el 70% del territorio de México (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995).

Las cactáceas poseen hábitos muy diversos, la mayoría de las especies son terrestres. Existen plantas que presentan un porte arbóreo como *Carnegiea gigantea* (saguaro), *Pachycereus weberi* o *Pachycereus pringlei* (cardón), especie que puede alcanzar una altura de 18 m. También las hay candelabroformes como *Myrtillocactus* (garambullo), arbustivas (*Opuntia*), columnares (*Neobuxbaumia*, *Cephalocereus*), globosas (*Echinocactus*, *Mammillaria*) y epífitas cilíndricas (*Rhipsalis*, *Disocactus*, *Aporocactus*) (León de la Luz y Valiente-Banuet, 1994; Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995) o epífitas de tallos aplanados como *Selenicereus wittii* (Barthlott *et al.*, 1997). Algunas especies de cactáceas al iniciar su etapa de desarrollo son terrestres, pero al cabo de un tiempo se vuelven trepadoras debido a que sus tallos al crecer buscan un soporte al cual adherirse a través de sus raíces adventicias; otras son rastreras como *Machaerocereus* (León de la Luz y Valiente-Banuet, 1994). Las rupícolas viven sobre rocas calizas, basálticas o de granito; y las gipsófilas prefieren los suelos ricos en yeso (Arreola, 1997).

Las cactáceas crecen en general solitarias (un único individuo con sus raíces), aunque algunas especies tienden a ramificarse en exceso, principalmente desde la base, llegando a formar colonias. Cuando una planta da lugar a nuevas ramas o brotes se forma un tallo o segmento, éste es capaz de enraizar y desprenderse del cuerpo principal originando un nuevo individuo. Sin embargo, no todas las especies son capaces de multiplicarse vegetativamente, algunas lo hacen sólo a partir de semillas (Arreola, 1997). Algunas otras como *Sclerocactus polyancistrus* tienen un hábito solitario de crecimiento y no se ramifican a menos que sufran una herida (May, 1994).

En las regiones áridas y semiáridas en las cuales la temperatura extrema, la baja disponibilidad de agua y nutrientes, y la alta intensidad luminosa son algunos de los

factores más limitantes para la productividad, las cactáceas se han adaptado a la aridez (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000; Nobel, 2002). Estas plantas, con la capacidad de soportar largos períodos de tiempo sin suministro de agua, muestran adaptaciones morfofisiológicas como la succulencia, la transformación de hojas a espinas, la cutícula gruesa, una mayor extensión de raíces que de brotes y el metabolismo fotosintético CAM (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Exceptuando algunas de las cactáceas epífitas, que crecen en el bosque tropical, todos los cactus tienen un tejido grueso, carnoso, en el que se almacena el agua que absorben para utilizarla en los períodos de sequía. No sólo hay formas suculentas sino también leñosas, algunas columnares como *Neobuxbaumia sp* poseen un esqueleto interno que les proporciona soporte (León de la Luz y Valiente-Banuet, 1994). La epidermis de las cactáceas está revestida por un recubrimiento céreo que limita la evaporación (Gibson y Nobel, 1986; Nobel, 2002). La alta densidad de espinas protegen a su vez a los tejidos meristemáticos de los rayos solares reflejando la radiación solar y creando una microatmósfera aislante de temperaturas extremas. La cutícula que cubre a las espinas y la gruesa capa epidérmica tienen la propiedad física de mantener estas estructuras con temperaturas menores a las del ambiente atmosférico inmediato permitiendo que la humedad ambiental sea condensada por cada espina llegando al suelo a través de las costillas (León de la Luz y Valiente-Banuet, 1994). La forma esférica de algunas cactáceas, como *Ferocactus acanthodes*, maximiza el volumen de agua almacenada por unidad de área a la vez que reduce la superficie expuesta a la radiación solar (Nobel, 1984). Las costillas y pliegues permiten también almacenar agua en grandes proporciones sin tener que invertir energía en la síntesis de tejido nuevo (León de la Luz y Valiente-Banuet, 1994).

Las cactáceas son una fuente importante de recursos para los seres humanos, siendo aprovechadas por muchas culturas desde hace más de 9,000 años (Nobel, 2002). Diversas especies se han manejado con fines medicinales, a *Opuntia sp* se le adjudican propiedades curativas contra la diabetes; algunas columnares se usan contra el cáncer (León de la Luz y Valiente-Banuet, 1994) y *Lophophora williamsii* (peyote) ha sido usado para evitar infecciones en heridas, tratar la influenza y la artritis (Batis y Rojas-Aréchiga, 2002). Otras especies son una fuente importante de alimento al consumirse diferentes órganos como los frutos de la mayoría de las cactáceas (*Opuntia ficus-indica*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Hylocereus undatus* y *Escontria chiotilla*, por ejemplo), o las flores de algunas nopales o los cladodios de las opuntias. En algunas regiones de México se prepara el acitrón o biznaga en dulce con el tallo de algunas biznagas y en especial de *Echinocactus platyacanthus* (Mandujano *et al.*, 2002). Algunas especies de cactáceas como *Lophophora williamsii* o *Ariocarpus fissuratus* han sido utilizadas por diferentes grupos indígenas en rituales mágico-religiosos debido a sus efectos alucinógenos (Batis y Rojas-Aréchiga, 2002). Los individuos juveniles de *Cephalocereus chrysacanthus*, *Cephalocereus hoppenstedtii*, *Ferocactus latispinus*, *Stenocereus stellatus*, *Wilcoxia* (Alvarez y Montaña, 1997), al igual que diferentes especies del género *Neobuxbaumia* (Bravo-Hollis *et al.*, 1971; Bravo-Hollis *et al.*, 1973), entre otras especies de cactáceas, han sido usadas ampliamente como plantas ornamentales. También han sido utilizadas como cercas vivas, material para la construcción y forraje para el ganado (Nobel, 2002).

### **Las semillas de las cactáceas**

Las semillas de las distintas especies de cactáceas varían apreciablemente, no solamente en el tamaño (0.5 a 10 mm), sino también en forma, color, cubierta seminal, apariencia y



posición del funículo y micrópilo, en las características del embrión y de los tejidos de almacén (Barthlott y Voit, 1979; citados por Bregman y Bouman, 1983; Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes 2000). Por ejemplo, las semillas de *Melocactus laui* y *M. boesingianus* son piriformes de 0.8-1.2 mm de longitud, 0.5-0.6 mm de ancho y de color negro brillante, lustrosas, curvadas y con el hilo basal (Antesberger, 1991). De un tamaño mayor, las semillas de *Selenicereus witti* son lustrosas, de color café negruzco (de forma similar a un mejillón) y de un tamaño de 4 por 2 mm; el hilo y el micrópilo están fusionados en un sólo complejo no esclerosado. La testa casi lisa posee las depresiones características de todas las Hylocereeinae; el embrión es más pequeño y el cuerpo principal de la semilla está compuesto de una capa de células de la testa extremadamente alargadas, las cuales están muertas y llenas de aire (Barthlott *et al.*, 1997). En cambio, las semillas de *Sclerocactus polyancistrus* tienen una testa negra lisa midiendo de 3-3.5 mm (May, 1994). Las semillas del género *Neobuxbaumia* son oblicuamente reniformes de 2.5 - 3.5 mm de longitud y 2.5 mm de ancho; en particular las semillas de *Neobuxbaumia polylopha* son oscuras de testa brillante aparentemente lisa pero con ornamentación reticular muy fina y con el hilo lateral subasal de color blanquecino (Bravo-Hollis *et al.*, 1970). De un tamaño promedio de 7 por 4 mm las semillas de *Opuntia ficus-indica* son de las más grandes en la familia, son rugosas, de color grisáceo y con el funículo esclerosado enrollado alrededor de la cubierta seminal formando una estructura denominada cubierta funicular (Barthlott *et al.*, 1997).

El número de semillas por fruto varía entre las distintas especies y puede ir desde una a cinco hasta varios cientos como en el caso de *Pilosocereus chrysacanthus* (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Los frutos de *Lophocereus schottii* son pequeñas bayas ( $4.5 \pm 0.3$  g) que contienen  $182 \pm 11$  semillas maduras (Fleming y Holland, 1998), a comparación de

los frutos de *Melocactus laui* que tienen cerca de 60 - 80 semillas por fruto (Antesberger, 1991).

Maiti *et al.* (1994) observaron que la variación en la ultraestructura de la semilla de las especies de cactáceas está relacionada con su capacidad germinativa. Los porcentajes de germinación mayores están asociados con una testa delgada y la presencia de gránulos de almidón.

### **Dispersión**

La dispersión de las semillas es una etapa importante en el ciclo de vida de las plantas ya que es indispensable contar con un agente que tome las semillas producidas y las deposite en lugares seguros donde los recursos estén disponibles para el óptimo desarrollo de las plántulas, y alejados de la planta madre a fin de evitar la competencia por recursos entre padres e hijos (Valiente-Banuet y Arizmendi, 1997). Bregman (1988) asoció las características estructurales de las semillas y de los frutos de cactáceas estimando que éstas presentaban tres tipos principales de dispersión: anemócora (viento), zoócora (animales) e hidrócora (agua). Las semillas de la mayoría de las especies de cactáceas son dispersadas por aves y mamíferos (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Bregman (1988) observó que las semillas del género *Pterocactus* presentan un arilo lignificado que rodea a la semilla, dejando sólo descubierto al micrópilo, pero el arilo es tan ligero y aplanado que sirve como ala y el fruto al ser dehiscente deja expuestas las semillas, que, en su mayoría, se dispersan por medio del aire. También manifiesta la evidencia tangible de que las semillas de ciertas especies son dispersadas por corrientes de agua, en especial de aquellas cactáceas que presentan patrones de distribución a lo largo de la rivera de los ríos, lo que aunado a las características morfológicas de las semillas les confieren cierta

capacidad de flotación, como en el caso de los géneros *Astrophytum*, *Disocactus*, *Frailea*, *Gymnocalycium*, *Matucana* y *Thrixanthocereus*. Las semillas de *Selenicereus witti* presentan cámaras de aire que les permiten flotar en los cuerpos de agua (Barthlott *et al.*, 1997).

Tres grupos de animales se encargan de dispersar a las semillas de las cactáceas: los que toman el fruto de la planta (dispersores primarios), a su vez divididos en dos grupos, los nocturnos representados por murciélagos y los diurnos representados por aves percheras; y los que toman el fruto del suelo (dispersores secundarios), principalmente ratones y hormigas (Valiente-Banuet y Arizmendi, 1997). May (1994) observó que las semillas de *Sclerocactus polyancistrus* son dispersadas por aves y roedores. Las aves percheras representan consumidores importantes de frutos de las cactáceas, y parecen ser los dispersores más efectivos. Son aves frugívoras, granívoras especialistas, o insectívoras (que también consumen los frutos cuando éstos son abundantes). Las aves, al igual que los mamíferos, tienen períodos de actividad específicos seguidos de períodos de reposo durante los cuales se lleva a cabo la digestión y defecan los desechos. Esto conlleva a que las semillas sean depositadas a la sombra de arbustos en los desiertos, sitios donde las aves descansan, por ser coincidentes con las horas de mayor calor (Bregman, 1988; Valiente-Banuet y Arizmendi, 1997).

Álvarez y Montaña (1997) encontraron que la germinación de *Cephalocereus chrysacanthus*, *C. hoppenstedtii*, *Ferocactus latispinus*, *Stenocereus stellatus* y *Wilcoxia viperina* no varía de manera significativa entre los distintos tratamientos de escarificación (química) a los que fueron sometidas las semillas. Por el contrario, al escarificar las semillas mecánicamente los porcentajes de germinación de todas las especies (excepto

*Wilcoxia viperina*) se redujeron sin embargo Ruedas *et al.* (2000) no observaron efectos significativos en la germinación de las semillas de *Mammillaria magnimamma* sometidas a pretratamientos de escarificación con HCl. Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet (1998) encontraron que la escarificación de las semillas de *Coryphantha pallida*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus latispinus*, *F. flavovirens*, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Opuntia puberula* decrecía la germinación en más del 50%, sin embargo en *Myrtillocactus geometrizans* y *Pachycereus hollianus* la germinación se incrementaba, por lo que concluyen que es posible decir que en general el principal papel de los consumidores de semillas de la mayoría de las especies de cactáceas es su transporte, más que ser una causa que favorezca la germinación. En *Echinocactus platyacanthus* Rosas-López y Collazo-Ortega (2004) obtuvieron una velocidad y sincronía de la germinación más favorables y con porcentajes de germinación más altos al escarificar con ácidos fuertes las semillas, pero el resultado contrario se obtuvo en *Polaskia chichipe*.

La germinación de las semillas dependerá también de las presiones de selección causadas principalmente por la variación ambiental en los desiertos (por ejemplo: lluvias impredecibles, temperaturas extremas), sin embargo la endozoocoria provee algunas ventajas adicionales como la colonización de hábitats y la variabilidad genética, aspectos que necesitan posteriores investigaciones (Mandujano *et al.*, 1997).

### **Latencia y viabilidad**

Con el desarrollo del cigoto se desarrollan también otras partes del óvulo, él o los tegumentos que a su vez darán origen a las cubiertas de las semillas y el tejido de reserva que almacena los nutrientes que necesitará el cigoto (Raven *et al.*, 1999). Una vez que la semilla ha completado su período de desarrollo, el cual varía en duración, se inician los

cambios que darán lugar al establecimiento del reposo en las semillas. Este reposo se denomina quiescencia cuando la causa de que no ocurra la germinación es esencialmente la falta de agua (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). A la incapacidad de una semilla viable intacta para completar la germinación en condiciones favorables debido a un bloqueo o bloqueos metabólicos, estructurales o bioquímicos se le conoce como latencia (Vleeshouwers *et al.*, 1995; Bewley, 1997). La potencialidad de la semilla para permanecer en este estado por un tiempo más o menos largo es conocida como viabilidad.

La naturaleza de la latencia y la duración de la viabilidad varían enormemente entre las diferentes especies y ambientes (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984). El establecimiento de la latencia se regula por los factores hereditarios que determinan los mecanismos fisiológicos endógenos en las plantas, éstos interactúan con los factores del ambiente en el que las plantas crecen; lo que a la larga genera cambios evolutivos en las plantas (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Hay muchas semillas que al desprenderse de la planta progenitora deben pasar aún por un periodo de maduración en el que ocurren cambios bioquímicos en el interior de las células del embrión, así que hasta que estos cambios se produzcan el embrión no podrá continuar su desarrollo aunque esté en condiciones ambientales favorables (Vázquez-Yanes y Orozco Segovia, 1996). Entre las condiciones más importantes del ambiente se encuentran las variaciones climáticas de temperatura y humedad, las variaciones microclimáticas derivadas de distintos aspectos fisiográficos y bióticos, como la calidad espectral de la luz y el termoperiodo, así como las características específicas del lugar en el que las plantas se han adaptado para establecerse y crecer (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Algunas semillas presentan mecanismos pasivos o funcionales de detección de las condiciones ambientales externas,

lo que permite el desencadenamiento de la germinación cuando el medio es favorable para el establecimiento de la nueva plántula. Un mecanismo funcional puede ser el determinado por las características de los terrenos, en sitios descubiertos se desencadena la germinación de ciertas semillas, mientras que en un terreno cerrado se favorece la prolongación de la etapa de latencia. Un mecanismo pasivo puede ser la cubierta dura e impermeable que sólo permite el paso de agua cuando es erosionada por el suelo o al ser atacada por los microorganismos (Vázquez-Yanes y Orozco Segovia, 1984). La latencia tiene efectos importantes en las dinámicas poblacionales, como por ejemplo en la formación de bancos de semillas y en el decremento de la competencia intraespecífica (Mandujano *et al.*, 1997), representa también un mecanismo de optimización en la distribución de la germinación, tanto en el tiempo como en el espacio (Bewley y Black, 1994).

Harper (1977) cataloga la latencia en tres tipos: latencia primaria (innata), latencia secundaria (inducida) y latencia impuesta (obligada). La latencia primaria se presenta en las semillas cuando aún están en la planta madre, siendo un impedimento endógeno como por ejemplo el desarrollo incompleto del embrión. La latencia secundaria se desarrolla en las semillas no latentes después de ser dispersadas y es causada por la presencia de un factor desfavorable para la germinación como altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, en estos casos las semillas ya no pueden germinar. La latencia impuesta es controlada por los factores externos físicos como la luz y la temperatura que impiden la germinación y termina al modificarse uno de estos factores.

Se ha observado que las semillas de las cactáceas pueden presentar latencia innata o forzada (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). La última es la que juega un papel más importante en la germinación de las cactáceas ya que en las plantas del desierto las

condiciones de germinación son desfavorables y la germinación sólo se realiza cuando hay una gran cantidad de agua disponible, como sucede durante una temporada de lluvias prolongada (Camacho, 1994). Dado que los patrones de precipitación pueden ser impredecibles e irregulares, las semillas de las cactáceas experimentan ciclos de hidratación y deshidratación promoviendo en el siguiente período de humedad una germinación más rápida y un aumento en el porcentaje de germinación (Dubrovsky, 1996 y 1998). Sánchez *et al.* (2005) observaron que las semillas de *Mammillaria mazatlanensis*, *Stenocereus alamosensis* y *S. thurberi* var. *thurberi* al ser sometidas a períodos de hidratación discontinua reducían el tiempo medio de germinación.

Mandujano *et al.* (1997) encontraron que la germinación de *Opuntia rastrera* se incrementó conforme aumentó la edad de las semillas, y las pruebas de germinación con semillas frescas parecen indicar que presentan un tipo de latencia innata posiblemente asociada a la inmadurez del embrión. Los porcentajes de germinación tampoco cambian al someterlas a un proceso de escarificación.

May (1994) observó que las semillas de mayor edad de *Sclerocactus polyancistrus* presentan valores de germinación mas altos y que permanecen viables por lo menos 3 años.

### **Banco de semillas**

El contenido de semillas viables no germinadas presentes en el suelo ya sea enterradas, depositadas sobre la superficie o mezcladas con la hojarasca y humus se conoce como banco de semillas (Simpson *et al.*, 1989). Este banco aumenta con la lluvia de semillas y disminuye por la germinación, la destrucción por depredadores y parásitos y la muerte fisiológica. El tamaño del banco y el tiempo en que las semillas pueden permanecer

latentes en el suelo varía entre las localidades y las especies, reflejando la dinámica de las poblaciones y las condiciones de establecimiento de las plántulas, estando determinado por factores fisiológicos innatos y por las condiciones ambientales del lugar (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996).

La composición del banco de semillas en el desierto consiste principalmente de plantas anuales, considerando a la biomasa y al número de semillas éstas constituyen el 95% del total. Existe poca información en la literatura acerca del banco de semillas de especies de cactáceas, pero es posible que muchas especies que tengan algún tipo de latencia puedan formar bancos de semillas de corta duración si logran escapar a la depredación (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Las semillas que persisten en el suelo tienden a poseer ciertas características fisiológicas, morfológicas y ecológicas (Bowers, 2000) entre las que se encuentra un requerimiento de luz para germinar (Pous, 1992, citado por Bowers, 2000). Rojas-Aréchiga y Batis (2001) proponen que a pesar de que las semillas de un gran número de cactáceas tienen características que les permitirían formar bancos de semillas están expuestas a una gran depredación, por lo que su incorporación al suelo es efímera.

Se ha propuesto que la formación de bancos de semillas surge como resultado de la evolución de los mecanismos de latencia como una respuesta al medio ambiente impredecible y que los bancos de semillas pueden reducir la probabilidad de extinción local a largo plazo y cambiar la estructura genética de una población (Evans y Cabin, 1995; citado en Mandujano *et al.*, 1997). Los bancos de semillas pueden ser amortiguadores contra la depredación de semillas en lugares donde las condiciones del ambiente son muy variables porque responden cuando las condiciones son favorables maximizando las oportunidades para germinar (Bowers 2000).



Mandujano *et al.* (1997) proponen que las semillas de *Opuntia rastrera* forman parte del banco de semillas debido a que presentan un tipo de latencia innata y también a que el porcentaje de germinación incrementaba conforme el periodo de almacenamiento fue mayor. Resultados similares fueron observados en *Opuntia lindheimeri* (Potter *et al.*, 1984; citado en Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Bowers (2000) observa que *Ferocactus wislizeni* forma un banco de semillas entre un año y otro, demostrando que las semillas de esta cactácea pueden sobrevivir al menos 18 meses en el suelo, siendo éste un mecanismo para aprovechar las infrecuentes épocas favorables y, a su vez, compensar el bajo establecimiento de plántulas. Las semillas de *Stenocereus griseus* permanecen en el suelo por lo menos 4 meses antes de germinar (Silvius, 1995).

### **Germinación**

La germinación incluye una serie de eventos que comienzan con la entrada de agua a la semilla y terminan con la elongación del eje embrionario (Bewley y Black, 1994; citados en Bewley, 1997). El signo visible de que la germinación se ha completado es usualmente la protrusión de la radícula, este resultado es llamado usualmente germinación visible (Bewley, 1997), aunque en otras plantas emerge primero el hipocótilo (cactáceas).

La germinación de las semillas comprende tres fases sucesivas. La primera fase se caracteriza por la absorción rápida de agua por imbibición, se repara el material genético y los sistemas de membranas y se reinicia la síntesis de proteínas y del metabolismo. En la segunda fase hay una activación de la germinación propiamente dicha, un incremento del potencial hídrico, de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, aumentando también la síntesis de proteínas y la formación de mitocondrias, hay movilización de las sustancias de reserva a partir de la actividad enzimática, se inicia la elongación de las

células radiculares y la degradación de las paredes celulares de la cubierta seminal. En la tercera fase hay un incremento de la elongación y de la división celular lo cual da lugar al alargamiento del eje embrionario y a la emergencia de la radícula (Bewley, 1997).

### **Factores que controlan la germinación**

Las semillas de las plantas se ven afectadas por un gran número de factores ambientales que determinan su germinación, dos de estos factores son la luz y la temperatura.

#### **Luz**

La fotoinducción o fotoinhibición de la germinación es un ejemplo muy claro del control de un proceso fisiológico por un factor del ambiente. El porcentaje de semillas fotoblásticas (germinación regulada por la luz) es alto entre las plantas anuales (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996).

Las semillas sensibles a la luz presentan una cromoproteína perceptiva a la composición espectral de la luz que incide sobre la semilla y que induce la germinación mediante cambios en la permeabilidad de las membranas celulares, activación de enzimas y expresión genética en medios expuestos a la luz directa del sol, o la impide en medios que reciben durante todo el día o en su mayor parte luz filtrada por el follaje (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Este pigmento denominado fitocromo presenta dos estados: uno inactivo ( $P_r$ ) con máximo de absorción a los 660 nm (luz roja), y otro activo ( $P_{fr}$ ) con máximo de absorción a los 730 nm (luz roja lejana). Estas dos formas son interconvertibles,  $P_{fr}$  se transforma a  $P_r$  al ser irradiada con luz rojo lejano y  $P_r$  se transforma a  $P_{fr}$  al ser irradiada con luz roja. En la oscuridad parte del  $P_{fr}$  se degrada y otra parte se interconvierte a  $P_r$ . Esta reacción de conversión en ambos sentidos está relacionada con la inducción y la inhibición de la

germinación, y puede ser modificada o regulada por otros factores del ambiente como la temperatura o el termoperiodo. La proporción R:RL modula la respuesta de las semillas a la luz. La cantidad de fitocromo activo presente en una semilla en el momento en que ésta es liberada determina si puede germinar en la oscuridad o si necesitará luz para iniciar su proceso (Bidwell, 1993; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

El fitocromo es muy eficiente como detector de las condiciones ambientales, la respuesta en germinación a un cambio favorable del medio ambiente puede llegar a producirse casi inmediatamente (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984).

Se han observado distintas respuestas a las calidades de luz en la germinación de semillas de cactáceas. Zimmer (1969, citado en Pimienta-Barrios y Del Castillo, 2002) observó que algunas especies de cactáceas pueden germinar en la oscuridad mientras que en otras varía la luz que requieren para germinar.

Al ser sometidas a diferentes longitudes de onda de luz y a oscuridad, la germinación de *Pachycereus pringlei* no mostró diferencias significativas (Nolasco *et al.*, 1997). Un efecto similar reportan Mandujano *et al.* (1997) en *Opuntia rastrera* ya que los porcentajes finales de germinación no cambiaron al someter a las semillas a diferentes calidades de luz.

Maiti *et al.* (1994) observaron que *Ferocactus hamatacanthus*, *Echinocactus texensis*, *Wilcoxia poselgeri*, *Mammillaria winteriae* y *Escobaria ranyonii* solo germinaron al ser expuestas a la luz. *Ferocactus wislizeni* es una especie que requiere también de luz para germinar (Bowers, 2000).

La edad de las semillas es un factor que a su vez interviene en la germinación, en *Mammillaria magnimamma* (fotoblástica positiva) el requerimiento de luz disminuye al aumentar la edad de las semillas (Ruedas *et al.*, 2000).

La germinación de las semillas del saguaro (*Carnegiea gigantea*) es estimulada por la luz roja y la luz blanca, e inhibida por la luz rojo lejano; sin embargo, cuando las semillas son expuestas a la luz roja seguida de una exposición a la luz rojo lejano la germinación se incrementa (Alcorn y Kurtz, 1956).

Se ha observado que el requerimiento de luz puede estar asociado a la forma de vida del cactus, aunado al efecto materno inducido por la temperatura (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997).

Al someter a las semillas de especies de cactáceas con distinta forma de vida a tratamientos con diferentes calidades de luz fue posible agrupar a dichas especies en dos grandes grupos: fotoblásticas positivas e indiferentes a la luz; siendo las formas globosas (*Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus recurvus*, *F. robustus* y *F. flavovirens*) fotoblásticas positivas y las columnares (*Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus hollianus* y *Cephalocereus chrysacanthus*) indiferentes a la luz (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997).

El requerimiento de luz para la germinación en algunas especies se limita sólo dentro de ciertos rangos de temperatura. Sin embargo, algunas especies serán indiferentes a la luz bajo un amplio rango de temperaturas (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000).

### **Temperatura**

Los cambios que se producen durante la germinación engloban una serie de procesos metabólicos que se producen en estrecha relación con la temperatura. Este factor ambiental regula la germinación así como su velocidad. El rango térmico en el cual germinan las semillas son características sujetas a la selección natural y se pueden relacionar con su distribución ecológica o geográfica (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Las semillas que están adaptadas a responder a las fluctuaciones de temperatura tienen mecanismos enzimáticos que pueden operar a distintas temperaturas, por lo que sólo

cuando se presenta una variación de la temperatura a lo largo del proceso que es catalizado por esas enzimas se puede iniciar la germinación (Vázquez-Yanes y Orozco Segovia, 1984). Las temperaturas cardinales para que se lleve a cabo el proceso de germinación son óptima, máxima y mínima (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Se ha observado que las cactáceas tienen un amplio rango de respuestas a la temperatura. El rango favorable es entre los 17° y 34°C (Nobel, 1988). El valor óptimo para que germinen las semillas de cactáceas se encuentra frecuentemente a los 25°C. En la tabla 1 se presentan los valores de temperatura óptima para la germinación máxima de varias especies de cactáceas.

Especies	Temperatura óptima	Referencia
<i>Oreocereus celsianus</i>	15°-25°C	Zimmer y Schultz, 1975
<i>Ferocactus glaucescens</i> <i>Maihuenia poeppigii</i>	15°-30°C	Zimmer, 1969, 1973a
<i>Cleistocactus straussii</i> <i>Mammillaria durispina</i> <i>Rebutia marsoneri</i> <i>Oreocereus trollii</i>	20°C	Zimmer, 1967, 1969
<i>Coryphanta gladispina</i> <i>Mammillaria fuauxiana</i>	20°-35°C	Zimmer, 1969
<i>Arequipa erectocylindrica</i> , <i>Astrophytum myriostigma</i> <i>A. ornatum</i> <i>Cereus peruvianus</i> <i>Espostoa ritteri</i> <i>Gymnocalycium mihanovichii</i> <i>Melocactus peruvianus</i>	25°C	Zimmer, 1967, 1970, 1971

<i>Oreocereus fossulatus</i> <i>Parodia chrysacanthion</i> <i>Trichocereus hollianus</i>		
<i>Carnegiea gigantea</i>	25°C	Alcorn y Kurtz, 1956
<i>Ferocactus wislizeni</i>	25°C	Bowers, 2000
<i>Notocactus leninghausii</i> <i>Selenicereus grandiflorus</i>	25°-30°C	Zimmer, 1971 Zimmer, 1973b
<i>Echinocactus grusonii.</i>	25°-35°C	Zimmer, 1969
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i> <i>Pachycereus hollianus</i>	26°C	Flores y Briones, 2001
<i>Ferocactus acanthodes</i>	29°C	Jordan y Nobel, 1981
<i>Ferocactus latispinus</i>	35°C	Zimmer, 1980

**Tabla 1. Temperaturas optimas para la germinación en diferentes especies de cactáceas**

La temperatura puede influir en otro tipo de variables de la germinación como su velocidad. Las semillas de *Mammillaria magnimamma* al ser sometidas a un tratamiento de temperaturas constantes (15°C y 25°C) no mostraron diferencias significativas en el porcentaje final de germinación, pero sí en la velocidad de germinación; el tratamiento de 25°C presentó una velocidad más alta en comparación con el tratamiento de 15°C (Ruedas *et al.*, 2000).

Existen semillas capaces responder a las temperaturas alternantes, se ha observado que estos cambios pueden facilitar la germinación en el mejor sitio para su posible establecimiento. Este tipo de semillas pueden presentar diversos mecanismos para detectar la variación de temperatura como la presencia de una testa impermeable que se hace permeable al calentarse; la fluctuación de temperatura permite la activación de ciertas

enzimas y hace permeables algunas membranas desencadenando la germinación (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Fearn (1981) sugirió que las temperaturas alternantes inducen la germinación en especies de cactáceas, sin embargo Rojas Aréchiga *et al.* (1998) no encontraron diferencias significativas en la germinación de *Cephalocereus chrysacanthus*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus flavovirens*, *F. recurvus* var. *recurvus*, *F. robustus*, *Neobuxbaumia tetetzo* var. *tetetzo* y *Pachycereus hollianus* a temperaturas alternantes a comparación de las temperaturas constantes. La variación en la temperatura afectó la velocidad de germinación de las semillas de *Mammillaria magnimamma*, fue más lenta conforme aumentó el periodo de exposición a las altas temperaturas (Ruedas *et al.*, 2000).

Se ha asociado también la forma de vida de algunas cactáceas con la repuesta de la germinación a diferentes temperaturas. Rojas-Aréchiga *et al.* (1998) compararon tres especies de cactáceas columnares (*Pachycereus hollianus*, *Cephalocereus chrysacanthus* y *Neobuxbaumia tetetzo*) con cuatro especies de cactáceas globosas (*Echinocactus platyacanthus* fa. *grandis*, *Ferocactus flavovirens*, *F. recurvus* var. *recurvus* y *F. robustus*) y encontraron resultados significativamente diferentes entre especies, así como entre las formas columnar y globosa. Los cactus columnares son más tolerantes a las temperaturas bajas y germinaron en un rango más amplio de temperatura en comparación con las globosas. En dicho estudio la mayoría de las especies alcanzaron el porcentaje máximo de germinación entre los 20 y 30°C.

Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet (1998) observaron que la proporción de las semillas germinadas de *Coryphantha pallida*, *Ferocactus flavovirens*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Neobuxbaumia tetetzo*, y *Pachycereus hollianus* mantenidas a temperaturas constantes

(17°C) no difirió de las semillas germinadas en temperaturas fluctuantes (20-25°C). En *Ferocactus latispinus*, *Echinocactus platyacanthus* y *Opuntia puberula* la temperatura constante decreció la germinación de manera significativa en comparación a la temperatura fluctuante.

Sin embargo, cabe destacar que diferentes especies de cactáceas tienen distintas respuestas a la temperatura. Esta respuesta va a depender también de la edad de la semilla (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Ruedas *et al.* (2000) encontraron que la germinación de semillas de *Mammillaria magnimamma* almacenadas durante un año de edad fue significativamente inferior a la de las semillas almacenadas durante un mes al ser sometidas a un pretratamiento de temperaturas muy altas.

### **Nodricismo**

Se denomina nodricismo a las asociaciones que establecen las cactáceas con otras plantas (denominadas plantas nodrizas) o también con rocas (nodricismo abiótico), las cuales les proporcionan un microhábitat que reduce las condiciones desfavorables. Las plantas nodrizas juegan un papel fundamental en la germinación y establecimiento de algunas especies ya que promueven la formación de un microambiente con baja radiación solar, una temperatura más baja y una humedad más alta en comparación con las áreas expuestas por completo a la luz. La radiación fotosintéticamente activa total se reduce de manera considerable bajo las plantas nodrizas (Franco y Nobel, 1989). Nobel (1984) midió la radiación solar en campo y observó que la sombra aminora substancialmente las temperaturas extremas. Nolasco *et al.* (1997) encontraron que la germinación de *Stenocereus thurberi* se redujo en los sitios de mayor exposición a la radiación solar. La germinación de semillas puede incrementarse por la acumulación de materia orgánica que



modifica la estructura del suelo bajo las plantas nodrizas (Wallace y Romney, 1980; citado en Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991); lo que provee también un microhábitat con niveles de nitrógeno más altos en el suelo, amortiguando parcialmente el crecimiento reducido de las plántulas causado por la sombra y la competencia por agua (Franco y Nobel; 1989). Valiente-Banuet y Ezcurra (1991) observaron, a su vez, una asociación entre *Neobuxbaumia tetetzo* y la planta nodriza *Mimosa luisana*, especie que facilita la germinación y favorece el establecimiento de dicha cactácea en el Valle de Tehuacán, México.

### **Estudios poblacionales**

Estudiar los procesos que afectan la distribución y abundancia de las poblaciones vegetales describiendo sus características y fluctuaciones permite conocer como influyen éstas sobre la dinámica poblacional.

La germinación de las semillas es una fase crítica en el ciclo de vida de las plantas ya que muestra una gran vulnerabilidad a la influencia de factores desfavorables por lo que durante esta etapa usualmente se presenta una mortalidad muy alta (Angevine y Chabot, 1979; citados en Ruedas *et al.*, 2000). Por ejemplo, se estima que en condiciones naturales sólo un muy pequeño número de semillas de *Carnegiea gigantea* (menos de  $1 \times 10^{-3}$ ) alcanzan sitios y condiciones favorables en los cuales la germinación pueda ocurrir (Steenbergh y Lowe, 1969). Por esta razón, los eventos que ocurren durante estas fases tempranas del desarrollo influyen de manera importante sobre la dinámica poblacional de las especies vegetales. Los cambios numéricos que se dan en una población a través del tiempo son producto, en gran medida, del reclutamiento de nuevos individuos una vez que éstos han pasado con éxito por esa fase crucial del ciclo de vida; así, la limitada comprensión de la

dinámica numérica de las poblaciones de plantas en la naturaleza deriva, en muchas ocasiones, de una falta de evidencia empírica con respecto al comportamiento de estas fases tempranas de desarrollo (Fenner, 1985; Rathcke y Lacey, 1985; citados en Ruedas *et al.*, 2000).

Las temperaturas cardinales y el intervalo térmico en el que las semillas germinan son características sujetas a selección natural. Es por eso que con frecuencia se presentan como adaptaciones muy claras a los hábitats en los que las plantas se desarrollan registrándose algunas veces diferencias entre especies, e incluso entre distintas poblaciones de la misma especie de acuerdo con la distribución geográfica que presenten. Los efectos de la luz y la temperatura, junto a la sequía y a las prácticas de uso de suelo, determinan en gran medida las dinámicas de las poblaciones en ambientes áridos. La determinación de los factores críticos que limitan las poblaciones vegetales dentro de sus ambientes particulares ha sido durante largo tiempo una meta para los ecofisiólogos vegetales. Es también de suma importancia reconocer los factores limitantes para aplicar su conocimiento en la restauración ecológica (Carrillo-García *et al.*, 2000). Es importante señalar que no se encontraron investigaciones que comparen la germinación de poblaciones de cactáceas.

## OBJETIVOS

### General

- Estudiar la germinación de cinco poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto (Cactaceae).

### Particulares

- Evaluar el efecto de distintas calidades de luz y oscuridad en la respuesta germinativa entre las cinco poblaciones.
- Evaluar el efecto de la temperatura en la respuesta germinativa entre las cinco poblaciones.

## HIPÓTESIS

Ho: El efecto de la luz y la temperatura en la respuesta germinativa es igual en las distintas poblaciones de *E. platyacanthus*

Ha: El efecto de la luz y la temperatura en la respuesta germinativa es diferente en al menos una de las poblaciones de *E. platyacanthus*

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Espece estudiada

#### ***Echinocactus platyacanthus* Link & Otto**

Tallo globoso, subgloboso, gruesamente columnar hasta toneliforme, muy grande, los ejemplares adultos de 50 cm a 2 m de altura y de cerca de 40 a 80 cm de diámetro, de color verde oscuro o algo glauco, presentando, en las formas jóvenes, bandas horizontales de color rojizo purpúreo; apéndice hundido, llevando abundante lana amarillenta que forma una amplia zona lanosa circular o más o menos elíptica. Costillas gruesas y duras, cuyo número aumenta con la edad, de 5 a 8 en las formas juveniles hasta alrededor de 60 en las formas columnares viejas, con vértice agudo, con la base más o menos ancha y los surcos intercostales profundos. Aréolas, en los ejemplares jóvenes distantes entre sí de 1 a 3 cm, en los ejemplares adultos contiguas o confluentes, circulares hasta elípticas, de unos 12 mm de diámetro, las del apéndice con abundante lana amarillenta, las restantes más o menos glabras. Espinación variable en relación con la edad de la planta, todas las espinas grandes y gruesas, subuladas o más o menos aplanadas, estriadas transversalmente, al principio amarillentas hasta con tintes rojizos, después más o menos castañas y al final negruzcas. Espinas radiales, en los ejemplares jóvenes 8 a 10, dispuestas cuatro arriba y cuatro abajo de la aréola, de 3 a 4 cm de longitud, frecuentemente una superior y otra inferior dirigidas hacia arriba y hacia abajo, las demás largas, rectas, una que otra, a veces un poco ganchuda, horizontales y laterales, con el tiempo se reducen en número hasta desaparecer. Espinas centrales 4 dispuestas en cruz, a veces por reducción 3 o hasta 1, de 5 a 10 cm de longitud, la inferior y a veces la superior generalmente más largas, más o menos aplanadas y con la base algo engrosada, rectas o algo curvas, estriadas

transversalmente, las 2 laterales más o menos horizontales, la inferior dirigida hacia abajo, con el tiempo se atrofian pudiendo reducirse a una sola. Flores numerosas emergiendo entre la lana del ápice, diurnas abriéndose ampliamente, de 5 a 7 cm de diámetro, de color amarillo intenso; pericarpelo y región receptacular indiferenciados, formando un todo obcónico, de paredes gruesas; la región pericarpelar de alrededor de 2 cm de longitud y 1.2 cm de diámetro, provista de numerosas escamas angostamente lineares y largamente acuminadas, con la extremidad escariosa, de 7 a 12 mm de longitud, con abundantes pelos axilares sedosos, de 3 a 4 cm de longitud, de color blanco amarillento; región receptacular muy corta, de paredes gruesas, las dos terceras partes inferiores con escamas semejantes a las del pericarpelo, el tercio superior con numerosas escamas angostamente triangulares, de cerca de 15 mm de longitud, coriáceas acuminadas, con lana axilar, en transición con los segmentos exteriores del perianto; segmentos exteriores del perianto numerosos, anchamente oblanceolados, coriáceos de alrededor 1.5 cm de longitud, acuminados, con el margen dentado; segmentos interiores del perianto también numerosos, espatulados con el ápice apiculado o dentado y el margen dentado, de color amarillo intenso, cavidad del ovario ovoide, de 6 mm de diámetro, con óvulos numerosos provistos de funículos ramificados; nectario en torno de la base del estilo, de cerca de 1 cm de longitud; estambres muy numerosos, filamentos amarillos, anteras de color amarillo cromo; estilo grueso, de 3 a 3.5 cm de longitud, amarillento, estriado longitudinalmente, lóbulos del estigma 10 a 12, de unos 8 mm de longitud, amarillos. Fruto seco, largamente oblongo, de 5 a 7 cm de longitud, amarillento, con escamas numerosas, angostamente lineares, escariosas, con lana y pelos axilares que cubren la pared del fruto; conserva adheridos los restos secos del perianto. Semillas de alrededor de 2.5 mm de longitud; testa negra, brillante, con ornamentación

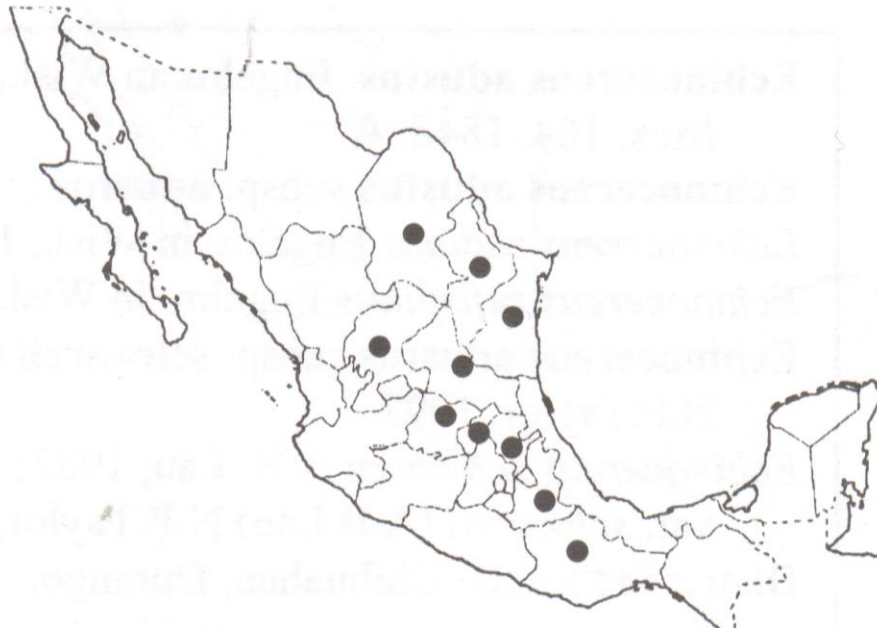
celular; hilo basal lateral, micrópilo pequeño próximo al hilo. Estas plantas crecen lentamente y pasan muchos años (cerca de un siglo) para adquirir su forma columnar o de tonel, pudiendo llegar a alcanzar hasta 3 metros de altura (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991) (Fig. 1).



**Figura 1. Individuo adulto de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto**

Florece entre junio y septiembre, debido a que el fruto permanece atrapado por un tiempo en la lana del ápice se encuentran frutos durante casi todo el año y en particular en los meses de junio-julio y de noviembre a abril (Rojas-Aréchiga, 1995; Arias *et al.*, 1997).

Se distribuye en los estados de Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Guzmán *et al.*, 2003) (Fig. 2).



**Figura 2. Distribución geográfica de *E. platyacanthus* en México (Guzmán *et al.*, 2003)**

Para Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991) *E. platyacanthus* presenta tres formas que se encuentran separadas por el Eje Volcánico en dos zonas geográficas: una es la de Tehuacán, Puebla, donde crece la forma *grandis*, la otra es en el desierto Chihuahuense, en donde crece la forma *platyacanthus*, distribuida en los valles intermontanos y barrancas profundas de los estados de Hidalgo y Querétaro, y la forma *visnaga*, distribuida en el altiplano en los estados de Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León y suroeste de Tamaulipas. Sin embargo, Guzmán *et al.* (2003) no consideran a las formas *grandis* y *visnaga* sino que *E. platyacanthus* es considerada como una sola especie.

## Zonas de colecta

Se realizó la colecta de frutos en cinco poblaciones de las 3 siguientes localidades:

### **I. Reserva de la Biosfera “Tehuacan-Cuicatlán”, Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.**

Se localiza en la parte sur del estado de Puebla y al noroeste del estado de Oaxaca entre los 17°39' y 18°53' N y los 96°55' y 97°44' O. Forma parte de la provincia denominada Mixteca Oaxaqueña, y abarca varios valles entre los que destacan los de Cuicatlán, Huajuapán, Tehuacán, Tepelmeme y Zapotitlán. Su clima es de tipo semiárido con temperatura alta, régimen de lluvias de verano con canícula y con poca a extrema oscilación de temperatura. La temperatura media anual es de 21 °C y la precipitación anual es de 495 mm. Los principales tipos de vegetación en la región son el matorral xerófilo, el bosque espinoso, el bosque tropical caducifolio, el pastizal, el bosque de pino-encino y el bosque de encino (Villaseñor *et al.*, 1990).

Las colectas se realizaron cerca del poblado de Zapotitlán Salinas (18° 19' 60 N, 97° 28' 60 O). Los frutos de las poblaciones 1 y 2 fueron colectados en marzo del 2001 en dos localidades aledañas al Km 13 de la carretera Tehuacán-Hujuapán de León (18°24.483' N y 97°26.207' O) y los de la población 3 se colectaron en marzo del 2002 al este del poblado de Zapotitlán Salinas (18° 22' N y 97° 28' O) (Fig. 3).

### **II. Vizarrón de Montes, Querétaro.**

Se localiza a 20° 51' N y 99° 43' O. El clima es de tipo semiseco con lluvias de verano, la precipitación media anual es de 500 mm. La temperatura media anual es de 16.7°C. Los principales tipos de vegetación en la región son el matorral xerófilo, el bosque de pino-encino, el bosque de pino-enebro y el pastizal. Las especies más representativas son de los géneros *Agave*, *Hechtia*, *Dasyllirion*, *Opuntia*, *Myrtillocactus* y *Fouquieria* (Bravo-Hollis y



Sánchez-Mejorada, 1991). Los frutos de la población 4 se colectaron en marzo del 2001 en el Km 80 de la carretera Vizarrón-Jalpan (Fig. 3).

### **III. Reserva de la Biosfera “Barranca de Metztitlán”, Hidalgo.**

Se localiza entre los paralelos 20°14'15" y 20°45'26" N y 98°23'00" y 98°57'08" O con elevaciones entre 1000 y 2300 m.s.n.m. El clima es semidesértico con una temperatura media anual de 20°C. La reserva está incluida en dos provincias florísticas: Sierra Madre y Altiplanicie. El tipo de vegetación dominante en la zona es el matorral xerófilo (crasicaule), donde *Opuntia sp.*, *Myrtillocactus sp.*, *Acacia sp.*, *Karwinskia sp.* y una variedad de biznagas son las especies mas abundantes (Fig. 3) (Página en red: COEDE, 2003). Los frutos de la población 5 se colectaron en marzo de 2002.

### **Colecta y procesamiento de frutos y semillas**

En cada población se colectaron frutos de al menos 10 individuos. Se guardaron en bolsas de papel estraza y se trasladaron al laboratorio. De cada fruto se extrajeron las semillas, se contaron y almacenaron en bolsas de papel glass en un sitio oscuro a temperatura ambiente. Las semillas de cada población se mezclaron para homogeneizar la muestra.

### **Desinfección de las semillas**

Las semillas se sumergieron en agua destilada esterilizada (50 ml) más 3 gotas de Tween 80 durante 10 minutos, posteriormente se sumergieron en una solución bactericida (3 gotas de Microdyn en 50 ml de agua destilada) durante 10 minutos; al finalizar este tiempo se colocaron en una solución de hipoclorito de sodio al 20% durante 10 minutos en agitación constante. Se enjuagaron finalmente en agua destilada esterilizada. Todo el procedimiento se realizó en un campo estéril (Modificado de Rosas-López, 2002).

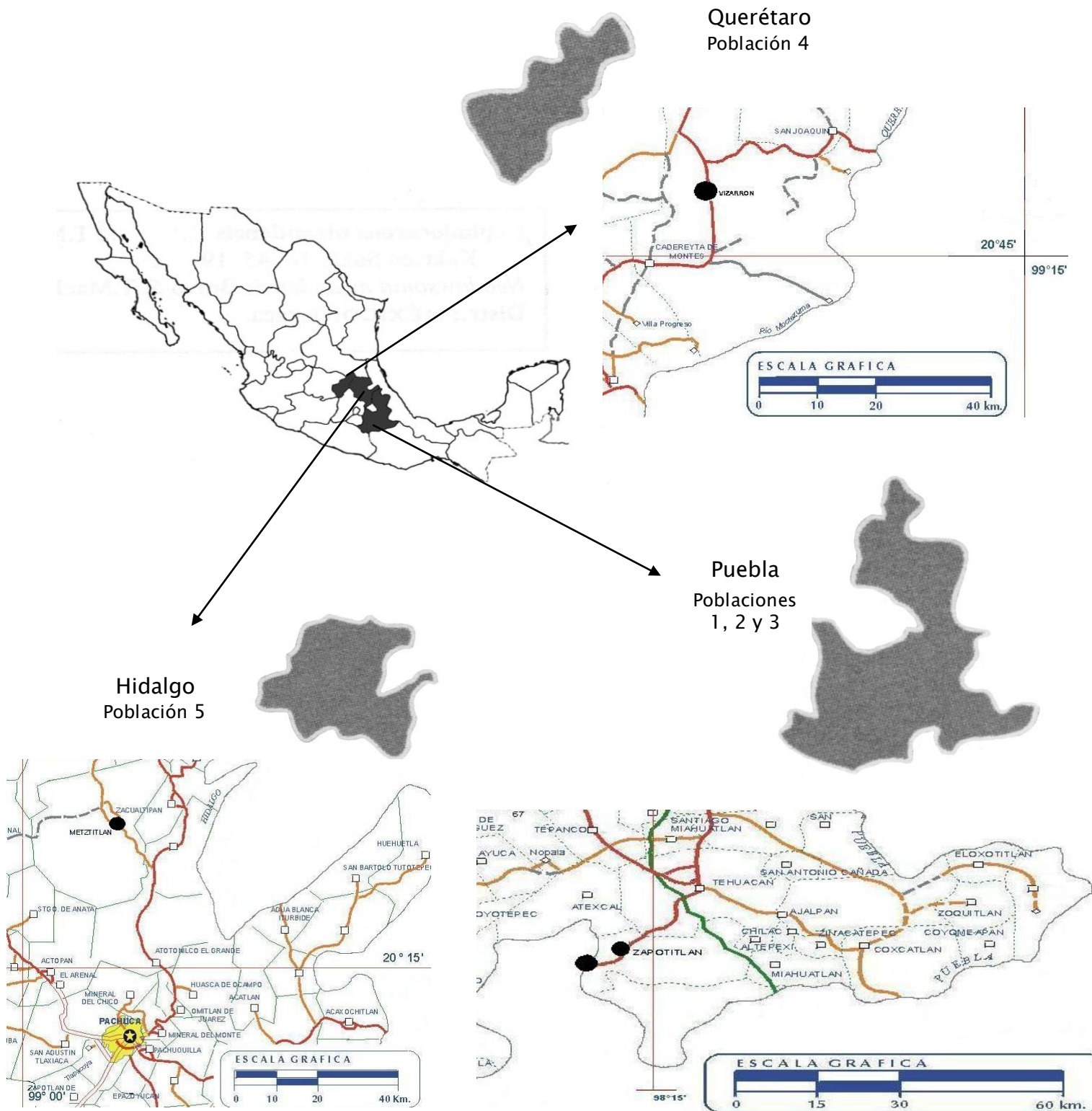


Figura 3. Mapa de México que muestra de manera general los tres estados con sus zonas de colecta.

## **Siembra**

Las semillas se sembraron en cajas Petri de seis centímetros de diámetro, las cuales contenían agua - agar al 1%; la siembra se realizó con unas pinzas de disección y un pincel en medio de un campo estéril. Cada caja se selló con parafilm para evitar la desecación. Las cajas se revisaron diariamente durante 20 días tomando como indicador de la germinación la emergencia de la radícula.

## **Tratamientos**

Los tratamientos de temperatura constante fueron 15°, 20°, 25°, 30° y 35°C. En cada temperatura se evaluó el efecto de distintos gradientes de luz sometiendo las semillas a cuatro tratamientos: rojo (R), rojo lejano (RL), luz blanca (LB) y oscuridad (O).

Para el tratamiento con luz roja (R:RL= 5.22) las cajas Petri se colocaron en cajas de acrílico de plexiglass rojo; para el tratamiento de rojo lejano (R:RL=0.05) en cajas de pexiglass rojo y azul; para el tratamiento de oscuridad las cajas Petri se envolvieron en papel aluminio. Para el de luz blanca (R:FR= 1.73) las cajas Petri permanecieron sin ningún tipo de filtro (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997).

## **Condiciones de incubación**

Las cajas Petri se colocaron en cámaras de ambiente controlado Biotronette 844 (Lab-line Instruments) a temperatura constante en el Laboratorio de Ecología Fisiológica del Instituto de Ecología de la UNAM. El fotoperiodo empleado fue de 16:8 (luz/oscuridad). En los tratamientos de temperatura se usaron lámparas de 20 W Sylvana de luz blanca fluorescente. En los tratamientos de luz roja y rojo lejano se usaron lámparas incandescentes de 25 W para proveer la calidad de luz deseada. Para el tratamiento de luz blanca se usaron lámparas fluorescentes de 20 W Silvana.

### **Diseño experimental**

Consistió de 5 poblaciones por un segundo factorial de 5 tratamientos de temperatura constante por un tercer factorial de 4 calidades de luz. La unidad experimental fue la caja Petri con 30 semillas. Para cada tratamiento se hicieron 4 réplicas, teniéndose 400 unidades experimentales.

En la figura 4 se presenta el diagrama de flujo del método general.

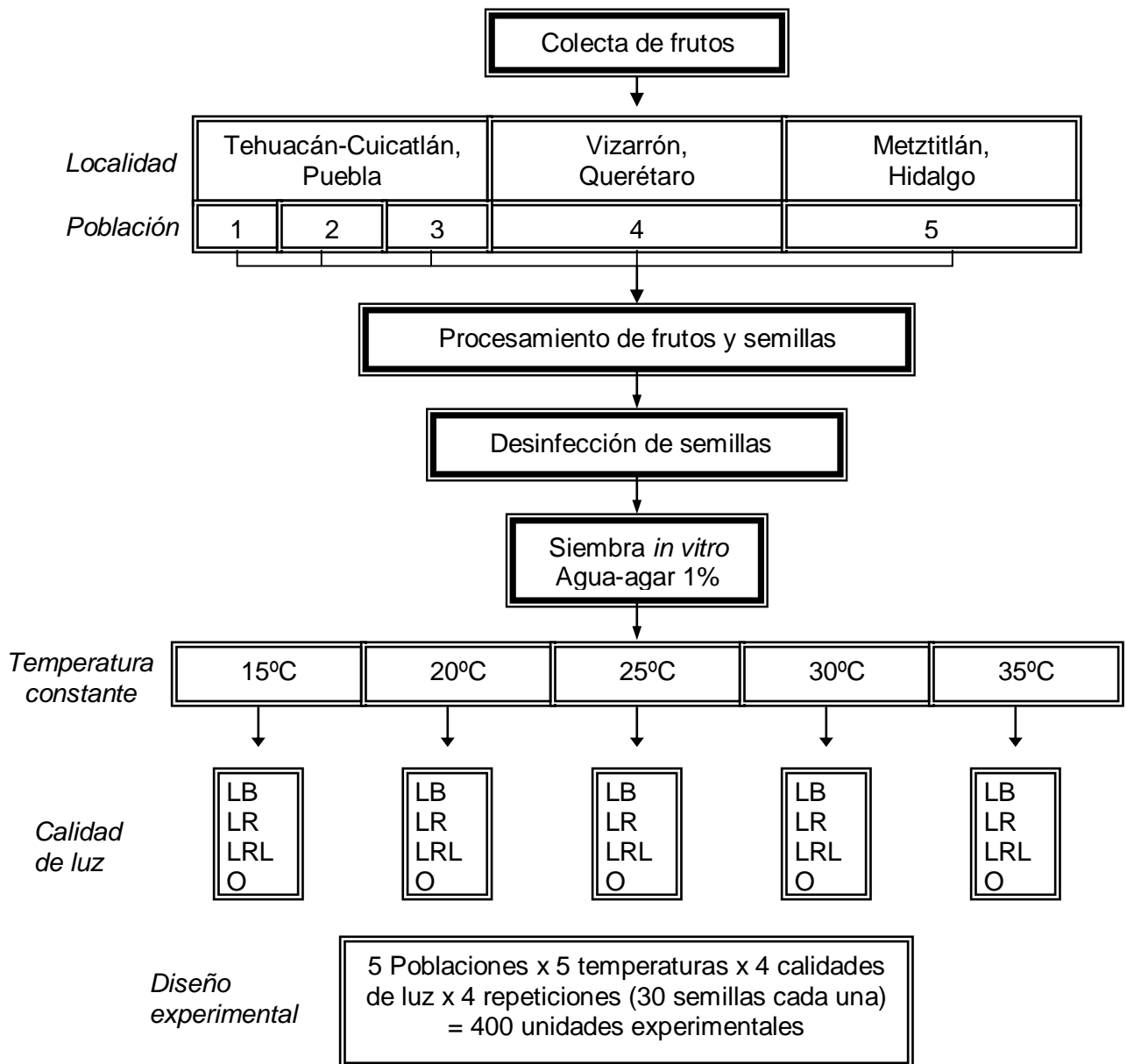
### **Variables**

De acuerdo a González-Zertuche y Orozco-Segovia (1996) se midieron las siguientes variables:

Germinación acumulada: proporción de semillas germinadas en una muestra dentro de un periodo específico.

Porcentaje de germinación máxima: proporción de semillas capaces de germinar en una condición determinada.

$G_{50}$  : número de días a los cuales se alcanza el 50% de germinación.



**Figura 4. Diagrama de flujo del método en general. Luz Blanca (LB) R:RL=1.73, Rojo (R) R:RL=5.22, Rojo Lejano (RL) R:RL=0.05 y Oscuridad (O)**

## **Análisis de datos**

Por ser considerada *E. platyacanthus* una especie fotoblástica positiva (Rojas-Aréchiga et al., 1997) se evaluó el efecto de las temperaturas constantes en la luz blanca. Se analizó el efecto de las distintas calidades de luz y oscuridad en la germinación a la temperatura de 20°C debido a que ésta es la temperatura promedio en las localidades donde fueron colectadas las semillas.

Se realizó un análisis estadístico transformando los valores del porcentaje de germinación a arcoseno, aplicando en todos los casos un ANOVA y donde hubiera diferencias una comparación de las medias (TUKEY). Se empleó el programa Statistica ver. 6.0. Las curvas obtenidas de la germinación acumulada contra el tiempo se ajustaron a un modelo sigmoideo para obtener varios parámetros, calculando la  $G_{50}$  (eliminando los valores de cero), y usando la primera derivada máxima para obtener la velocidad de germinación. Se empleó el programa Table Curve ver. 3. En todos los ajustes se obtuvo una  $r^2$  mayor a 0.90. Para observar si había diferencias significativas en los parámetros obtenidos se utilizó el programa Statistica ver. 6.0

## RESULTADOS

### Calidad de luz por temperatura

En las cinco poblaciones hubo respuesta a las luces B, R, y RL así como a la oscuridad, aunque en esta última la germinación máxima generalmente fue inferior al 50%. Hubo diferencias significativas entre las cinco poblaciones ( $F_{(4,395)}=39.3452$ ;  $p=0.0000$ ), entre tratamientos de luz ( $F_{(3,396)}=93.3645$ ;  $p=0.0000$ ) y de temperatura ( $F_{(4,395)}=8.1526$ ;  $p=0.0000$ ). La interacción entre tales factores también fue significativa ( $F_{(48,300)}=6.2742$ ;  $p=0.0000$ ).

Los mayores porcentajes de germinación bajo luz blanca se presentaron en la población 5 ( $100 \pm 0$  % a los  $25^{\circ}\text{C}$  y a los  $35^{\circ}\text{C}$ ), mientras que el menor porcentaje de germinación se registró en la población 4 ( $9.16 \pm 5$  % a los  $15^{\circ}\text{C}$ ) (Fig. 5). El porcentaje máximo observado bajo la luz roja fue en la población 5 ( $99.16 \pm 1.67$  % a los  $30^{\circ}\text{C}$ ) y el menor en la población 4 ( $14.16 \pm 10.67$ % a los  $15^{\circ}\text{C}$ ) (Fig. 6). En la luz rojo lejano se observó el porcentaje máximo de germinación en la población 5 ( $99.16 \pm 1.67$  % a los  $30^{\circ}\text{C}$ ) y el menor en la población 4 ( $2.5 \pm 3.19$  % a los  $15^{\circ}\text{C}$ ) (Fig. 7). *E. platyacanthus* germinó también en la oscuridad, observándose el mayor porcentaje en la población 1 ( $66.66 \pm 12.77$  % a los  $30^{\circ}\text{C}$ ), el menor en la población 2 ( $0.83 \pm 1.67$  %) y nula en las poblaciones 1, 4 y 5 (a los  $15^{\circ}\text{C}$ ) (Fig. 8).

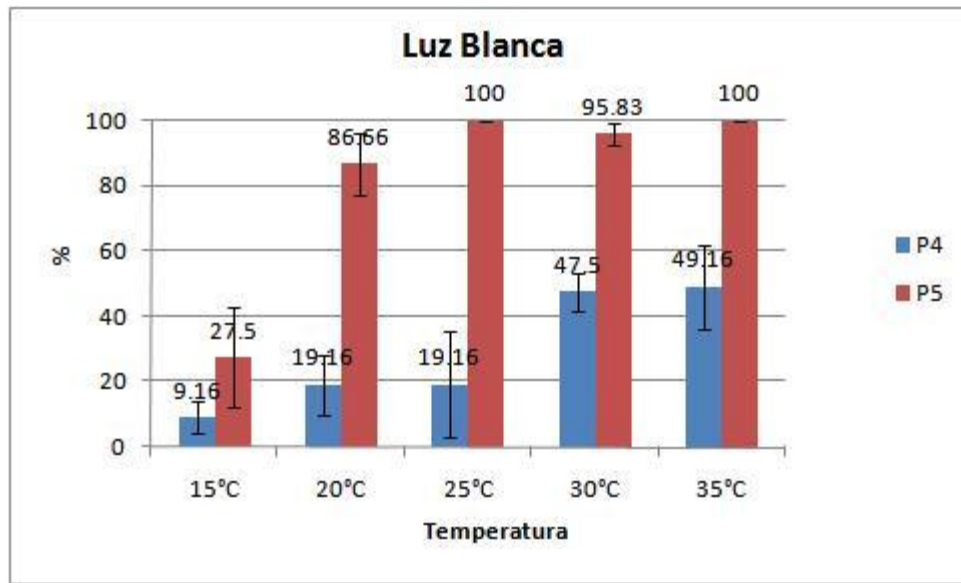


Figura 5. Porcentaje de germinación máxima en luz blanca. Poblaciones 4 y 5.

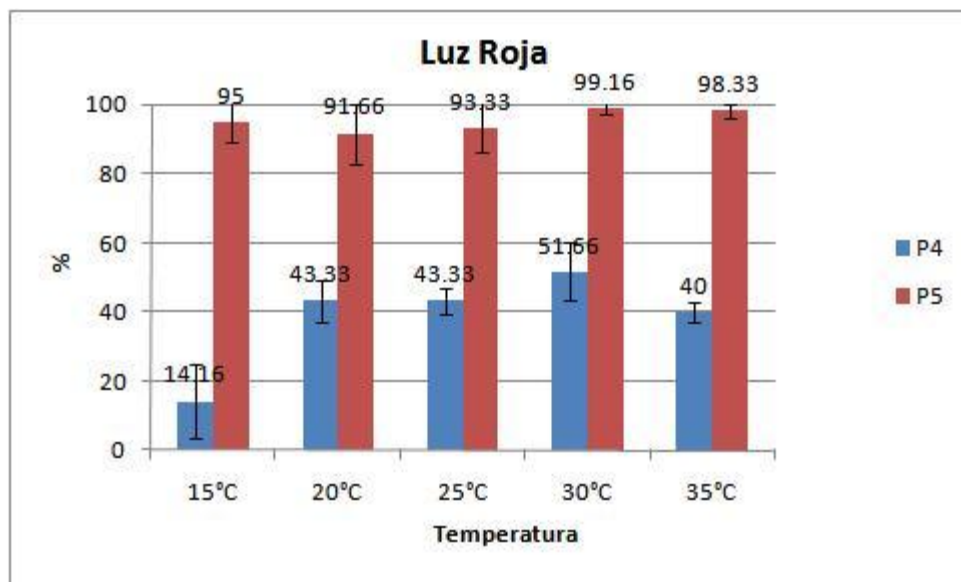


Figura 6. Porcentaje de germinación máxima en luz roja. Poblaciones 4 y 5.



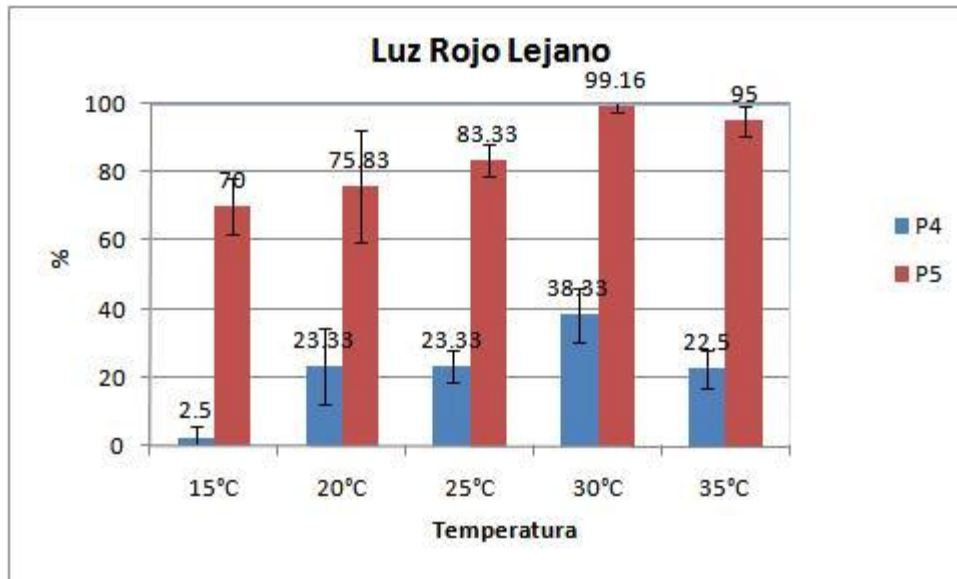


Figura 7. Porcentaje de germinación máxima en luz rojo lejano. Poblaciones 4 y 5.

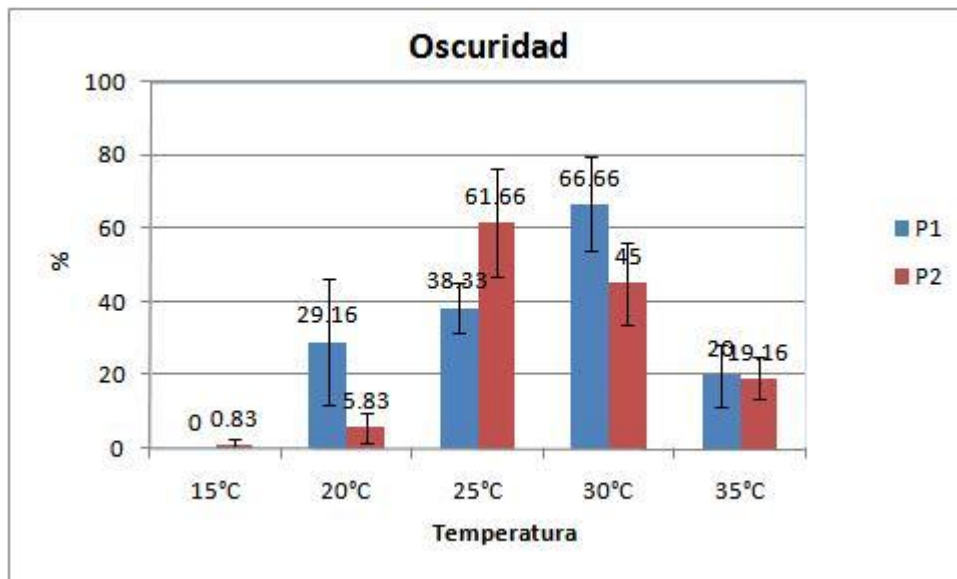


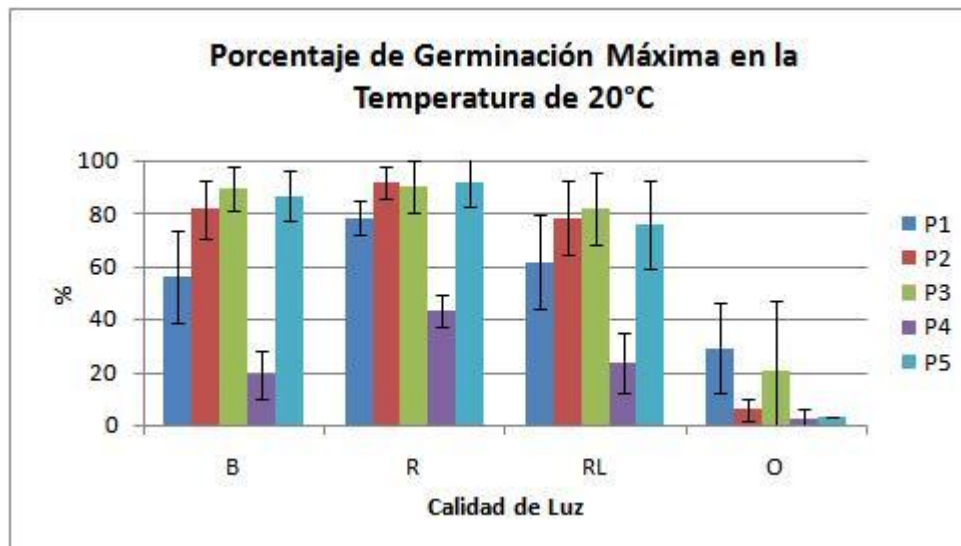
Figura 8. Porcentaje de germinación máxima en oscuridad. Poblaciones 1 y 2.

### Efecto de la calidad de luz

Se evaluó el efecto de las distintas calidades de luz en la germinación a la temperatura de 20°C debido a que es la temperatura promedio en las distintas localidades.

### Germinación máxima

Al comparar la germinación máxima de las distintas poblaciones con las calidades de luz encontramos diferencias significativas en la interacción entre ambos factores ( $F_{(12,60)}=2.9539$ ;  $p=0.0028$ ). El efecto de la luz en la germinación máxima en las distintas poblaciones se presenta en la gráfica de la figura 9.



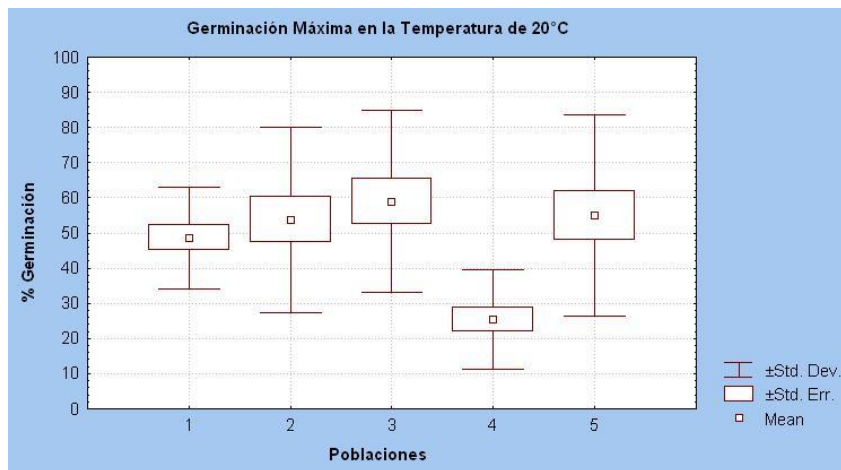
**Figura 9. Porcentaje de germinación máxima a 20°C en las 5 poblaciones. B= blanca, R= roja, RL= rojo lejano y O= oscuridad.**

Se registraron diferencias significativas entre poblaciones ( $F_{(4,75)}=5.5268$ ;  $p=0.0006$ ). En la luz blanca el mayor porcentaje de germinación se observó en la población 3 ( $89.16 \pm 8.33\%$ ) y el menor en la población 4 ( $19.16 \pm 9.18\%$ ). En la luz roja el mayor porcentaje de germinación se observó en la población 2 ( $91.66 \pm 5.77\%$ ) y 5 ( $91.66 \pm 8.82\%$ ); y el menor en la población 4 ( $43.33 \pm 5.77\%$ ). En la luz rojo lejano el mayor porcentaje de germinación se observó en la población 3 ( $81.66 \pm 13.74\%$ ) y el menor en la población 4 ( $23.33 \pm$

11.22%). En la oscuridad el mayor porcentaje de germinación se observó en la población 1 ( $29.16 \pm 17.08\%$ ) y el menor en la población 4 ( $2.5 \pm 3.19\%$ ).

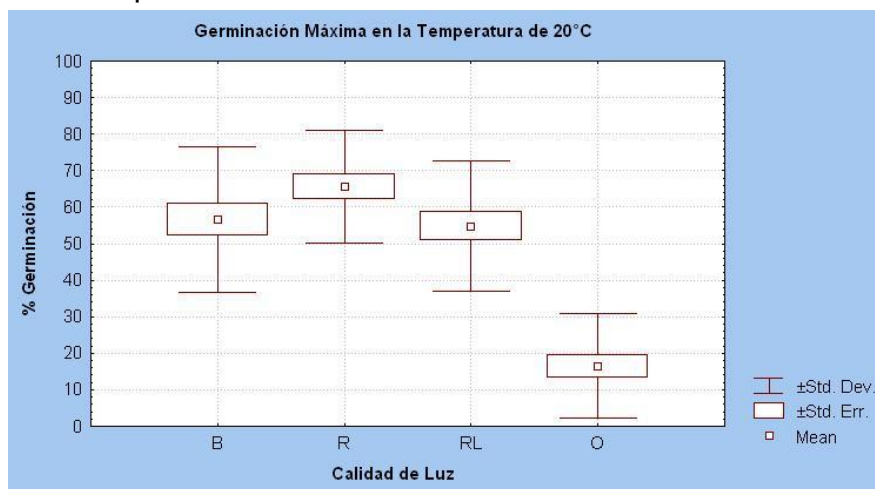
La prueba de Tukey indicó que la población 4 se diferenció significativamente del resto. En el diagrama de cajas podemos observar a la población 4, muy por debajo de las otras (Fig.

10).



**Figura 10. Diagrama de cajas que muestra el efecto de la temperatura de 20°C en las cinco poblaciones.**

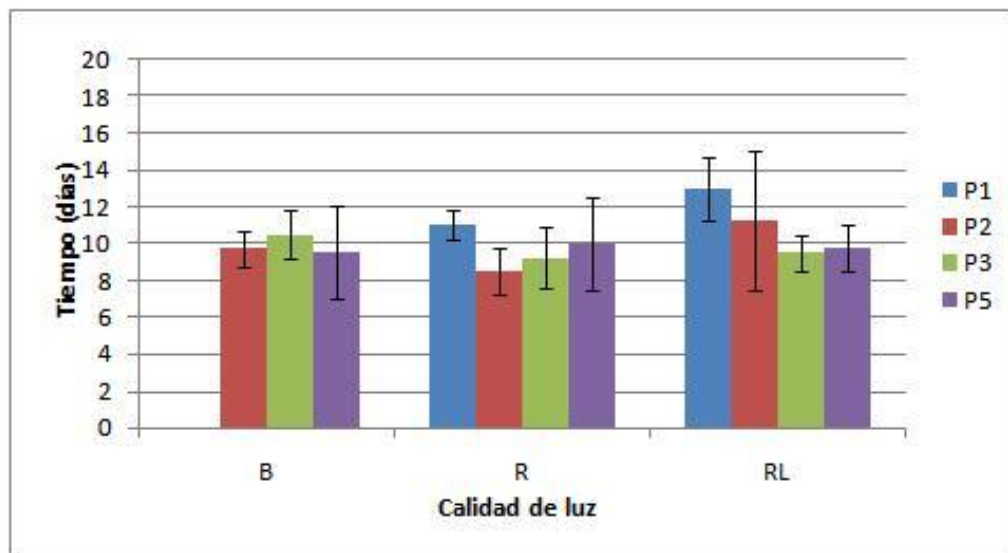
Entre los distintos tipos de luz se registraron diferencias significativas ( $F_{(3,76)}=32.6734$ ;  $p=0.0000$ ), de acuerdo a la prueba de Tukey sólo hubo diferencias significativas entre luz blanca, roja y rojo lejano con la oscuridad. Podemos observar en el diagrama de cajas (Fig. 11) el efecto de la temperatura de 20°C en los distintos tratamientos.



**Figura 11. Diagrama de cajas que muestra el efecto de la temperatura de 20°C en los diferentes tratamientos de luz.**

**G<sub>50</sub>**

En ninguna condición la población 4 alcanzó el 50% de germinación por lo que no se incluyó en el análisis. En luz blanca la población 1 no alcanzó el 50% de germinación, la población 2 lo alcanzó a los  $9.75 \pm 0.96$  días, la población 3 a los  $10.50 \pm 1.29$  días y la población 5 a los  $9.50 \pm 2.52$  días. En la luz roja la población 1 alcanzó el 50% de germinación a los  $11.00 \pm 0.82$  días, la población 2 a los  $8.50 \pm 1.29$  días, la población 3 a los  $9.25 \pm 1.71$  días y la población 5 a los  $10.00 \pm 2.58$  días. En la luz rojo lejano la población 1 alcanzó el 50% de germinación a los  $13.00$  días  $\pm 1.73$ , la población 2 a los  $11.25 \pm 3.77$  días, la población 3 a los  $9.50 \pm 1.00$  días y la población 5 a los  $9.75 \pm 1.26$  días (Fig. 12). No se registraron diferencias significativas ni entre poblaciones ni entre calidades de luz.



**Figura 12. G<sub>50</sub> de las distintas calidades de luz en las poblaciones 1, 2, 3 y 5.**

### ***Velocidad de germinación***

No se encontraron diferencias significativas en las velocidades de germinación entre los distintos tratamientos ni entre la interacción con las poblaciones, pero si entre éstas ( $F_{(4,55)}=8.5892$ ;  $p=0.0000$ ). Las poblaciones 1, 2, 3 y 5 se diferenciaron significativamente de la población 4, teniendo esta última la velocidad de germinación más baja. En las figuras 13, 14 y 15 se muestran las gráficas de la germinación acumulada ajustadas de las distintas poblaciones en las diferentes calidades de luz.

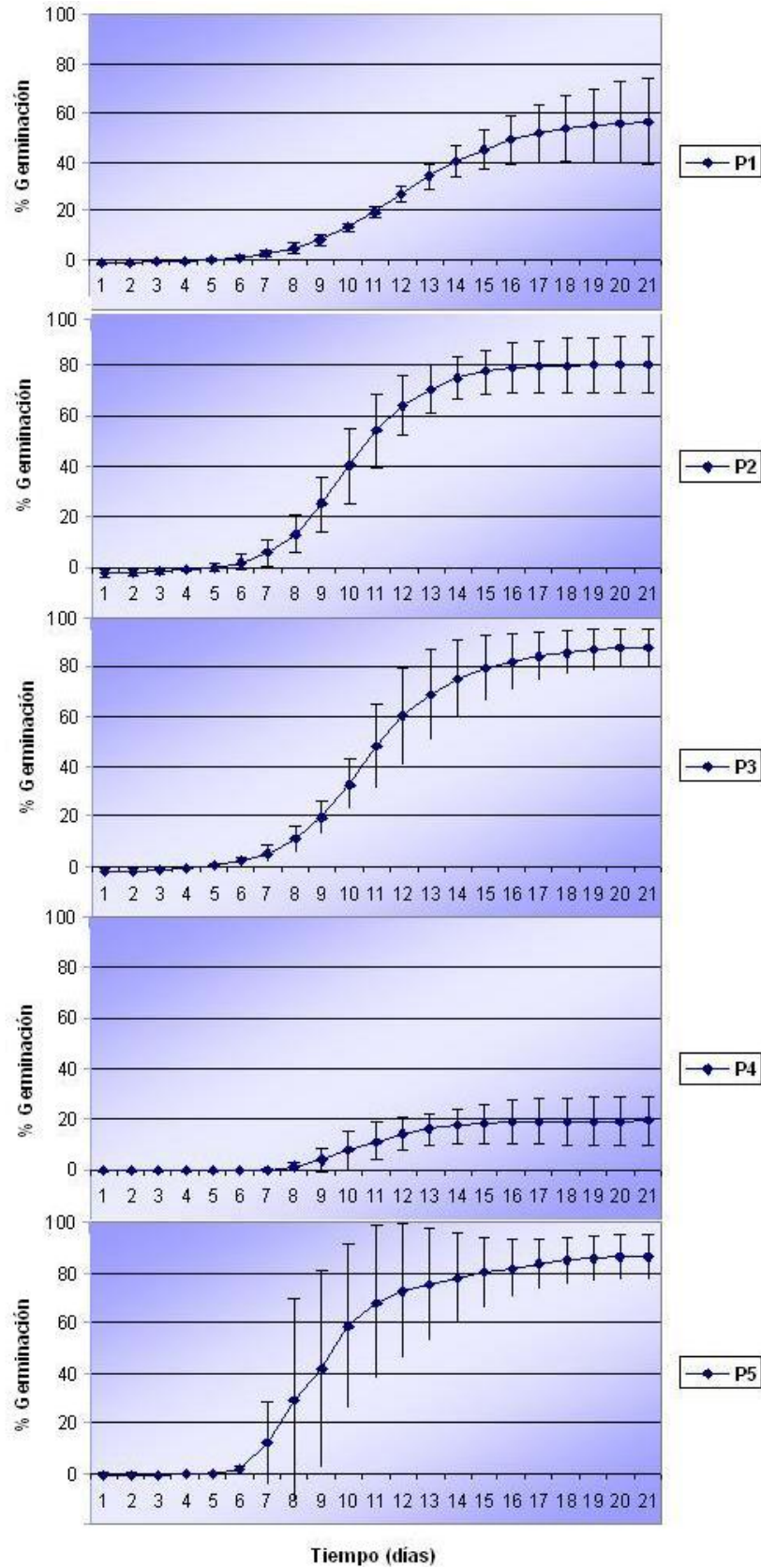


Figura 13. Germinación acumulada de las curvas ajustadas en las 5 poblaciones en luz blanca.

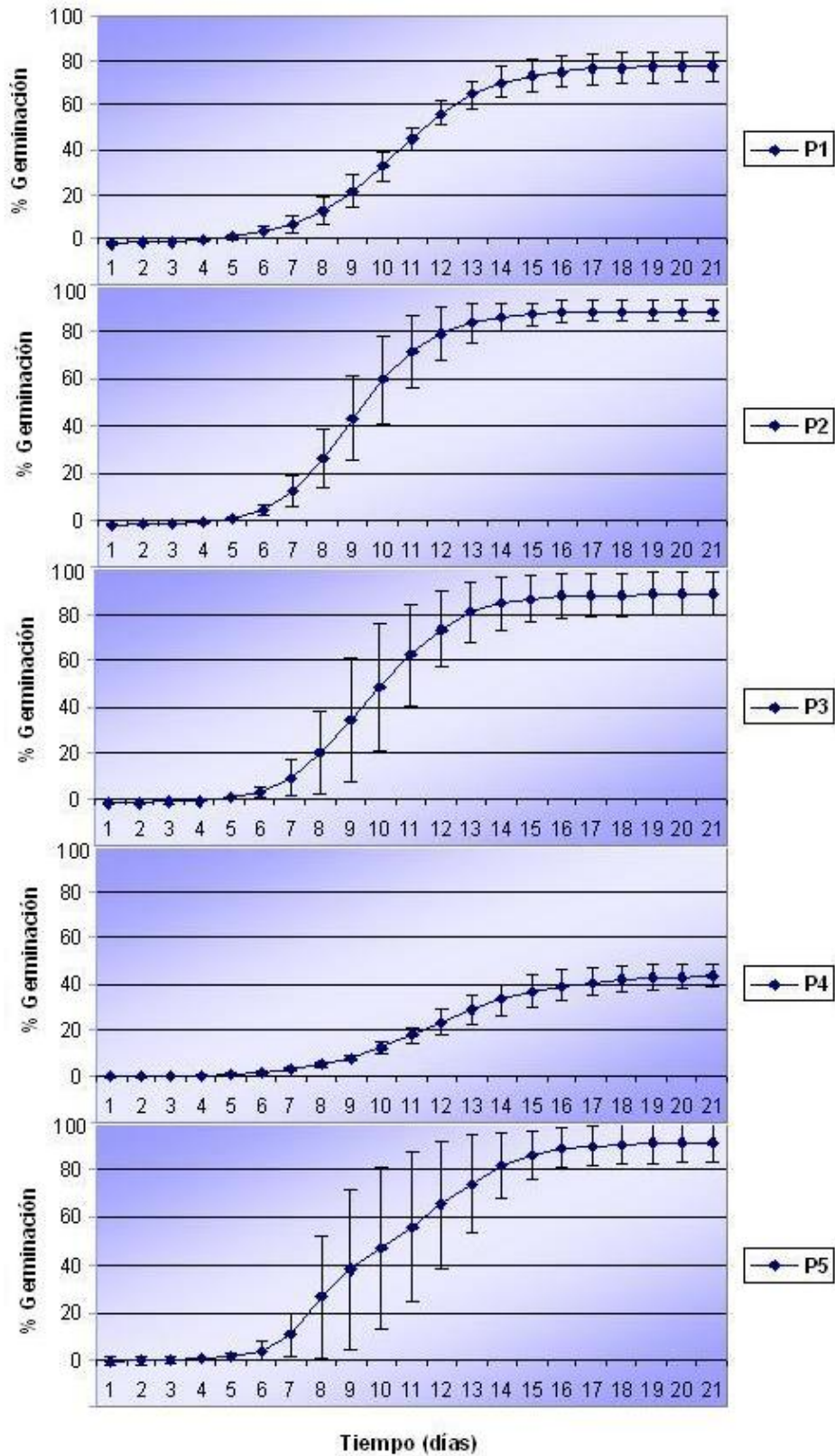


Figura 14. Germinación acumulada de las curvas ajustadas en las 5 poblaciones en luz roja.

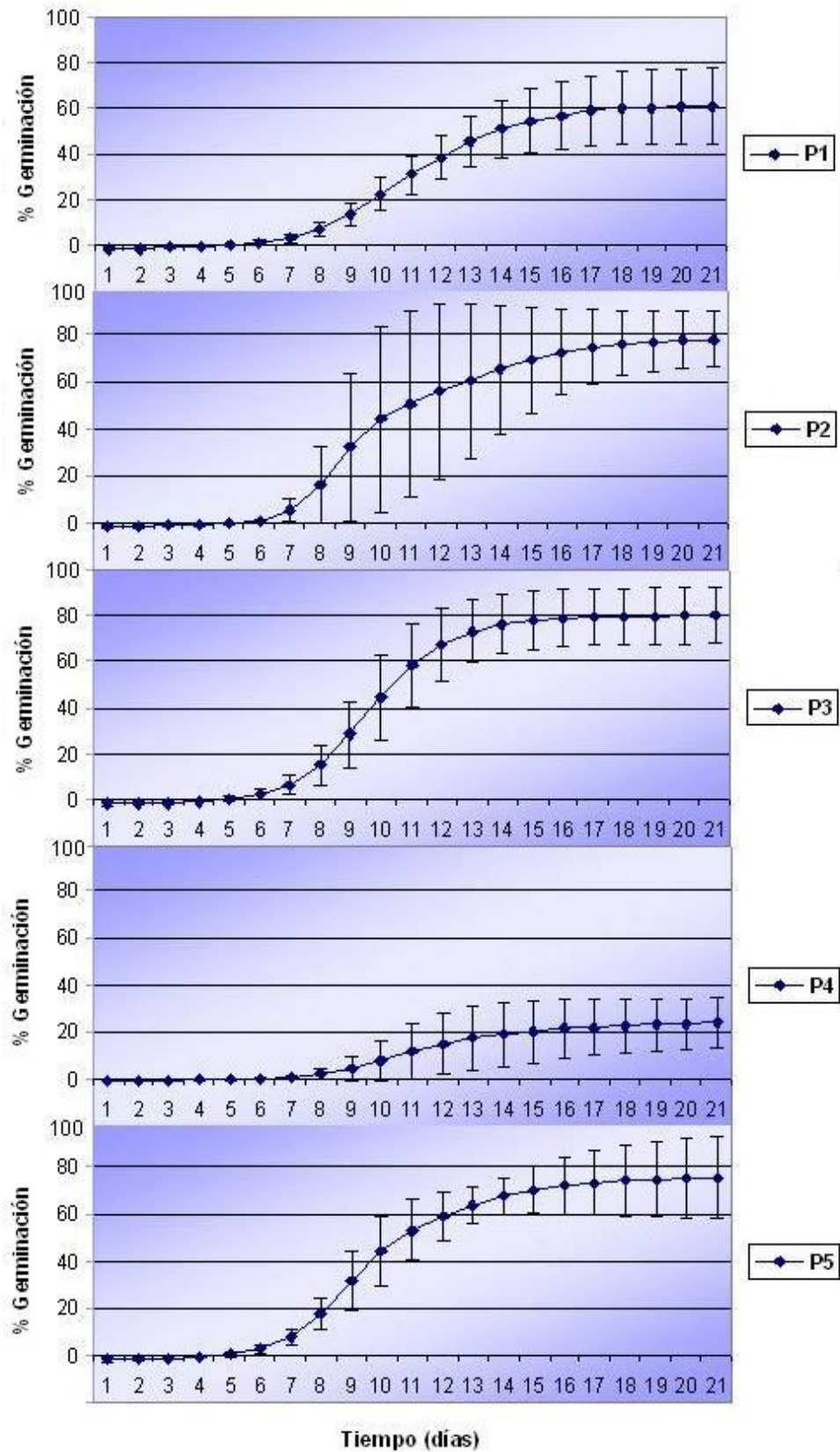


Figura 15. Germinación acumulada de las curvas ajustadas en las 5 poblaciones en luz rojo lejano.

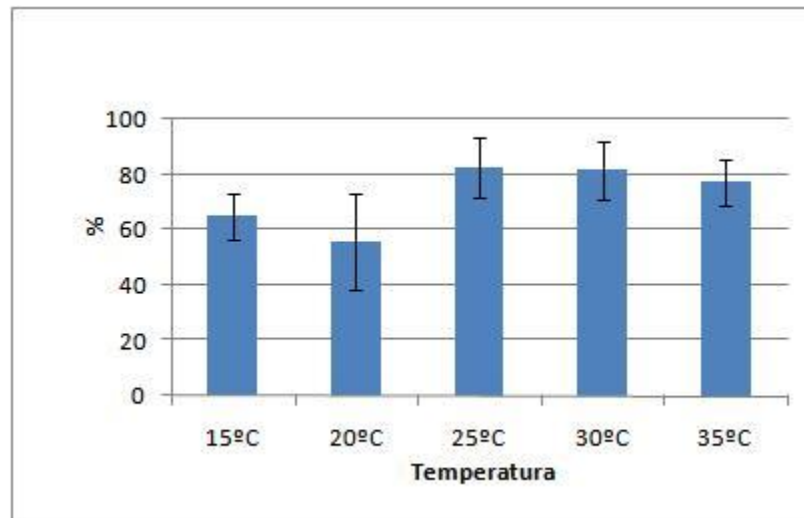


## Temperatura

### **Germinación máxima**

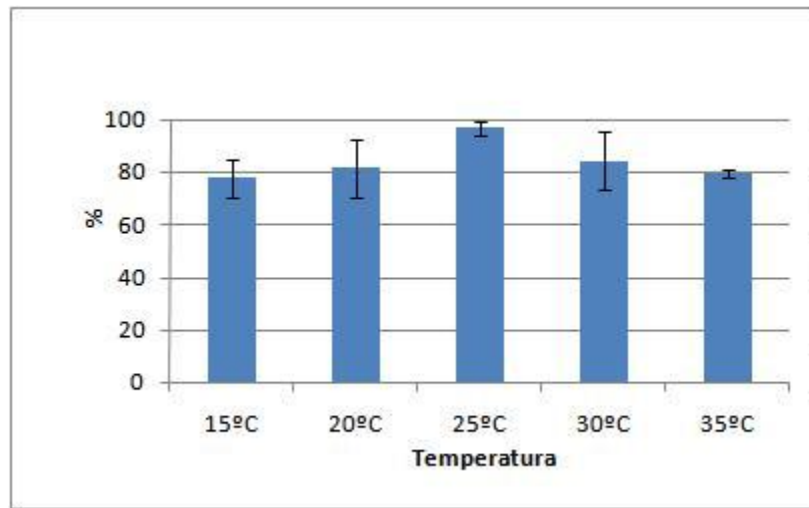
Por ser considerada *E. platyacanthus* una especie fotoblástica positiva se evaluó el efecto de las temperaturas constantes en la luz blanca. De manera general se observó que conforme aumentaba la temperatura el porcentaje de germinación se incrementaba, alcanzándose los máximos porcentajes en las temperaturas de 20° y 25°C .

En la población 1 el mayor porcentaje de germinación se registró en la temperatura de 25°C ( $82.5 \pm 11.01\%$ ) y el menor a los 20°C ( $55.83 \pm 17.29\%$ ) (Fig. 16).



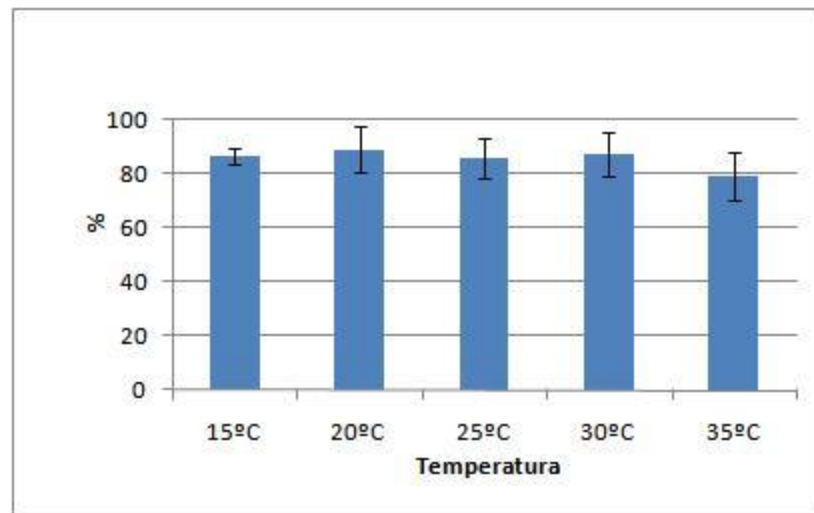
**Figura 16. Porcentaje de germinación máxima en la población 1 a las temperaturas de 15°, 20°, 25°, 30° y 35°C.**

En la población 2 el mayor porcentaje de germinación se registró en la temperatura de 25°C ( $96.66 \pm 2.72\%$ ) y el menor a los 15°C ( $77.5 \pm 7.39\%$ ) (Fig.17).



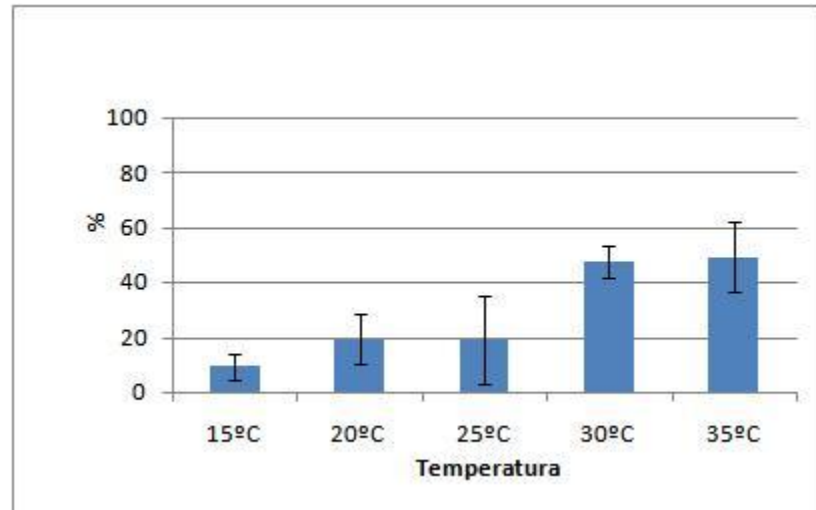
**Figura 17. Porcentaje de germinación máxima en la población 2 a las temperaturas de 15°, 20°, 25°, 30° y 35°C.**

En la población 3 el mayor porcentaje de germinación se registró en la temperatura de 20°C ( $89.16 \pm 8.33\%$ ) y el menor a los 35°C ( $79.16 \pm 8.77\%$ ) (Fig.18).



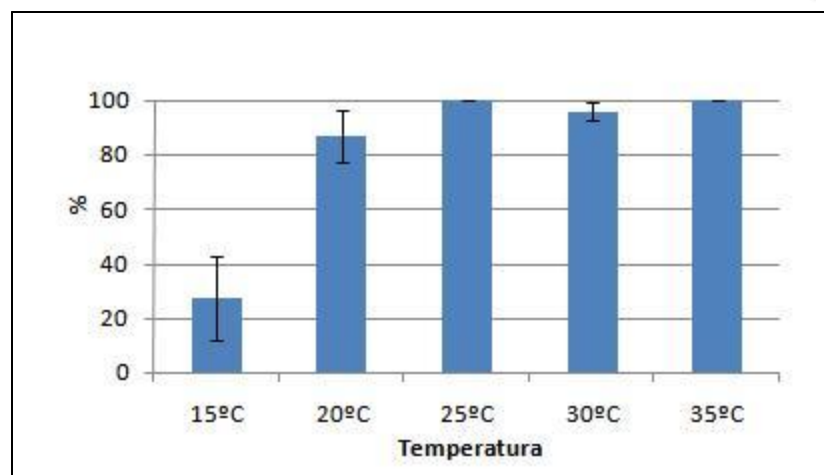
**Figura 18. Porcentaje de germinación máxima en la población 3 a las temperaturas de 15°, 20°, 25°, 30° y 35°C.**

En la población 4 (que presentó los porcentajes de germinación máximos más bajos de todas las poblaciones) se alcanzó el máximo a la temperatura de 35°C ( $49.16 \pm 12.87\%$ ) y el mínimo a los 15°C ( $9.16 \pm 5\%$ ) (Fig. 19).



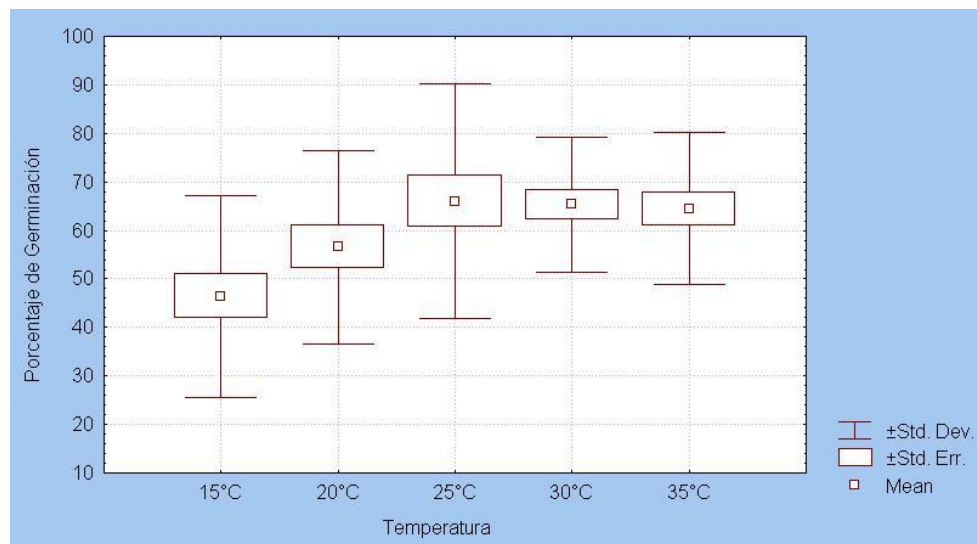
**Figura 19. Porcentaje de germinación máxima en la población 4 a las temperaturas de 15°, 20°, 25°, 30° y 35°C.**

En la población 5 el mayor porcentaje de germinación se registró a las temperaturas de 25°C y 35°C ( $100 \pm 0$ ) y el menor a los 15°C ( $27.5 \pm 15.49\%$ ) (Fig. 20).



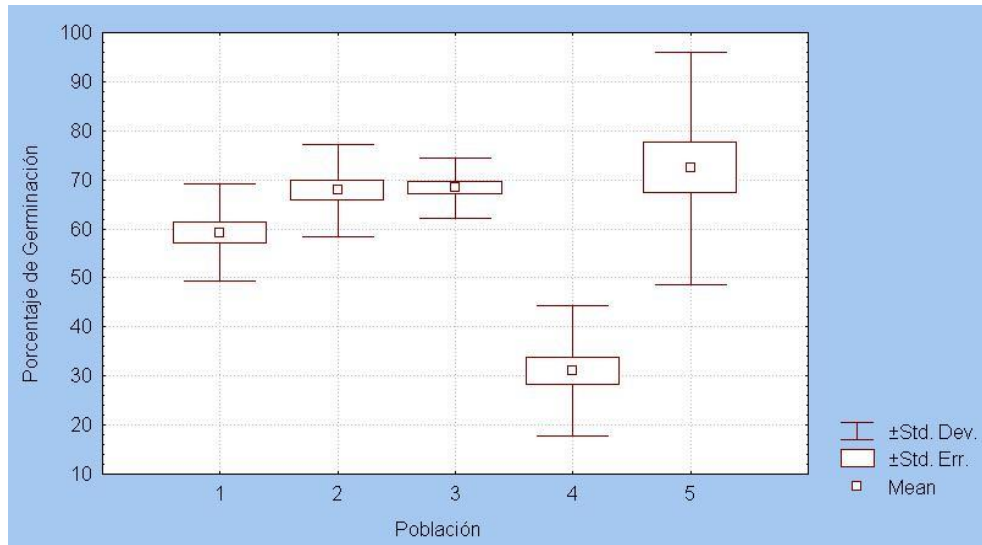
**Figura 20. Porcentaje de germinación máxima en la población 5 a las temperaturas de 15°, 20°, 25°, 30° y 35°C.**

El ANOVA indicó diferencias significativas entre las diferentes temperaturas constantes ( $F_{(4,95)}=3.7829$ ;  $p=0.0067$ ) y entre las distintas poblaciones ( $F_{(4,95)}=29.3238$ ;  $p=0.0000$ ). La interacción entre ambos factores fue también significativa ( $F_{(16,75)}= 9.7208$ ;  $p=0.0000$ ). La prueba de Tukey indicó que la temperatura de 15°C se diferenció significativamente de las de 25°, 30° y 35°C, que presentaron los mayores porcentajes de germinación máximo promedio para todas las poblaciones (Fig. 21).



**Figura 21. Diagrama de cajas que presenta el efecto de la temperatura de 15°, 20°, 25°, 30°C y 35°C en la germinación máxima.**

Al comparar la respuesta a la temperatura entre poblaciones la prueba de Tukey mostró que existen diferencias significativas entre las poblaciones 1, 2, 3 y 5 con la población 4 que presentó el porcentaje de germinación máxima promedio más bajo. También se encontraron diferencias significativas entre la población 1 y la 5 (Fig. 22).



**Figura 22. Diagrama de cajas que presenta la respuesta de germinación máxima en las diferentes poblaciones.**

### **$G_{50}$**

Se encontraron diferencias significativas entre las distintas temperaturas ( $F_{(4,71)}=7.9210$ ;  $p=0.0000$ ) y también entre las poblaciones ( $F_{(4,71)}=13.3021$ ;  $p=0.0000$ ).

De manera general se observó una disminución en el número de días para alcanzar el 50% de la germinación de 15° a 35°C. La prueba de Tukey registró diferencias entre las temperaturas de 25°, 30° y 35°C con la temperatura de 15°C, presentando ésta el mayor número de días para alcanzar el 50% de la germinación.

Se encontraron a su vez diferencias entre la población 4 con las poblaciones 1, 2, 3 y 5. Presentando el mayor número de días ( $14 \pm 2$ ) para alcanzar el 50% de germinación la población 4. Existen también diferencias significativas entre las poblaciones 1, 2, 3 y 4 con la población 5 mostrando esta última el menor número de días ( $6.25 \pm 2.46$ ) para alcanzar el 50% de germinación.

### ***Velocidad de germinación***

No se encontraron diferencias significativas entre las distintas velocidades de germinación en las diferentes temperaturas. Sin embargo sí se encontraron diferencias significativas entre las velocidades de las distintas poblaciones ( $F_{(4,95)}=12.6539$ ;  $p=0.0000$ ). Las poblaciones 1, 2, 3 y 4 se diferenciaron significativamente de la población 5, teniendo ésta la velocidad de germinación más alta. En la figura 23 se muestran las curvas de la germinación acumulada ajustada para la población 5 en las distintas temperaturas.

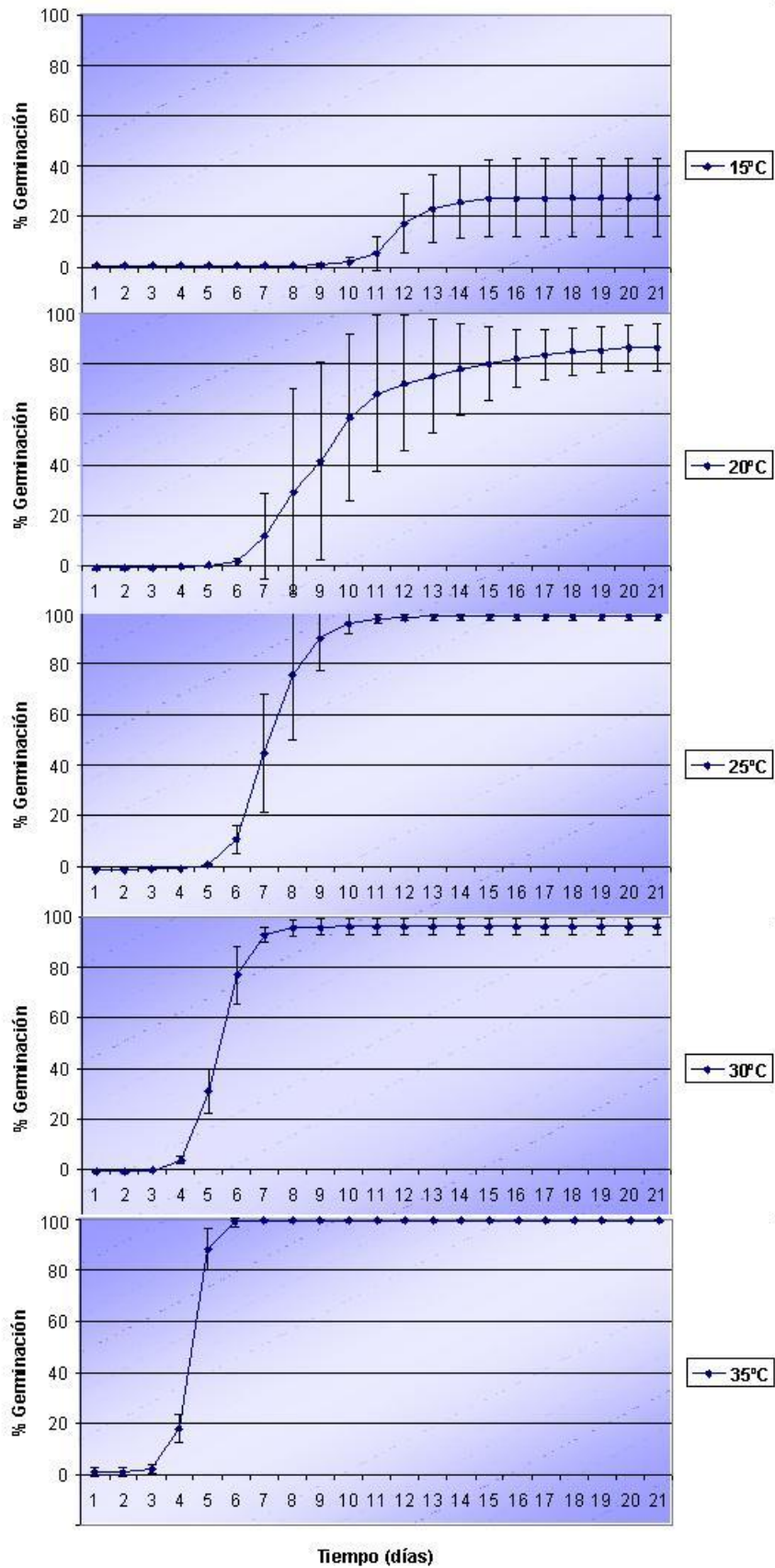


Fig. 23. Germinación acumulada de las curvas ajustadas para la población 5.

## DISCUSIÓN

### Calidad de luz por temperatura

Se ha observado que el requerimiento para germinar en algunas ocasiones se limita a ciertos rangos de temperatura (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). En el presente estudio ésto se comprobó ya que los mayores porcentajes de germinación en las luces blanca, roja y rojo lejano que se presentaron en la población de Metztitlán (P5) se dieron en el rango de temperatura de 25° a 35°C. Es interesante observar que en la población de Vizarrón (P4) los menores porcentajes se presentaron bajo la luz blanca, roja y roja lejana y a una temperatura de 15°C.

### Efecto de la calidad de luz

Se ha observado que en algunas especies de cactáceas las semillas deben pasar por un periodo de reposo para germinar como en el caso de *Opuntia rastrera* y *Sclerocactus polyancistrus* (May, 1994; Mandujano *et al.*, 1997; Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Las semillas de las cinco poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* estudiadas no lo presentaron ya que en casi todas las condiciones hubo respuesta germinativa a pesar de que las poblaciones 1 y 2 de Tehuacán y la de Vizarrón (P4) fueron colectadas y almacenadas un año antes que las poblaciones de Metztitlán (P5) y la 3 de Tehuacán. Estos periodos de reposo usualmente se asocian con los mecanismos endógenos en las plantas y también con factores del ambiente entre los que destaca la calidad espectral de la luz, asociado a su vez con las características del lugar en el que las plantas se han adaptado para establecerse (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

La presencia de latencia en las semillas influye en la dinámica poblacional optimizando la distribución de la germinación en el espacio y en el tiempo. Está también asociada a la



capacidad de formar bancos de semillas. Aunque existe poca información sobre la formación de éstos en cactáceas, y Mandujano *et al.* (1997), Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes (2000) y Rojas-Aréchiga y Batis (2001) destacan que *E. platyacanthus* no forma bancos de semillas y que su presencia en el suelo es efímera debido a la gran depredación de sus semillas, recientemente López-López (2005) ha encontrado que pueden formar bancos aéreos compuestos por semillas retenidas dentro del fruto incluso en la planta madre así como también por semillas dispersas en las costillas de la planta o en el ápice.

La luz es un factor ambiental que juega un papel muy importante en la germinación, las semillas sensibles a la luz activan su germinación a través de cambios en la permeabilidad de las membranas celulares al ser irradiadas. En las cactáceas se ha observado una amplia respuesta a las distintas calidades de luz ya que algunas requieren específicamente de luz mientras que otras pueden germinar en la oscuridad, siendo indiferentes a la luz (Pimienta-Barrios y Del Castillo, 2002). Esta respuesta la observamos en las distintas poblaciones de *E. platyacanthus* ya que en todas las calidades de luz y en la mayoría en oscuridad hubo germinación aunque en esta última el porcentaje de germinación máximo fue muy bajo. De las distintas respuestas observadas, la población de Metztlán, Hgo. (P5) presentó los porcentajes de germinación más altos al ser irradiada con luz blanca mientras que la población de Vizarrón, Qro. (P4) presentó los valores más bajos en la luz rojo lejano.

Asociada a la forma de vida globosa, Rojas-Aréchiga *et al.* (1997) han descrito a *E. platyacanthus* como una especie fotoblástica positiva, ésto se comprobó al observar la respuesta de la germinación en el presente estudio ya que aunque germinaron en la oscuridad los porcentajes fueron tan bajos que no se puede determinar que sea una especie indiferente a la luz, posiblemente las semillas de *E. platyacanthus* germinaron en la

oscuridad porque al momento de sembrarlas no fueron recién cosechadas disminuyendo los requerimientos de luz para germinar el periodo de reposo al que fueron sometidas. Maiti *et al.* (1994) han observado en otras cactáceas un efecto similar de respuesta a la luz.

A los 20°C observamos diferencias entre las calidades de luz, en general se diferenciaron la luz blanca, roja y roja lejana de la oscuridad, presentando las tres primeras los mayores porcentajes de germinación. Sin embargo el efecto de la luz no se vio reflejado ni en el número de días para alcanzar el 50% de germinación ni en la velocidad de germinación.

En zonas desérticas la germinación, una de las fases más críticas debido a las condiciones ambientales extremas y al efecto de los depredadores en el suelo, se afecta tanto en su dinámica como establecimiento influyendo de forma importante en la regulación poblacional debido a que tiene efecto en la abundancia y distribución de las especies (Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 1998). En algunas especies de cactáceas se han observado diferencias dentro de la misma especie, en las distintas poblaciones de *E. platyacanthus* se observaron diferencias en los porcentajes de germinación. La población de Vizarrón (P4) presentó los menores porcentajes de germinación en las distintas calidades de luz y en la oscuridad comparándola con las poblaciones de Tehuacan (P1, P2, P3) y Metztitlán (P5) que en general presentaron porcentajes promedio muy parecidos.

La población de Vizarrón presentó también las velocidades de germinación más bajas y no alcanzó el 50% de germinación, diferenciándose de las poblaciones de Tehuacán (P1, P2 y P3) y Metztitlán (P5).

Considerando que las plantas nodrizas juegan un papel esencial en la germinación de muchas cactáceas, al modificar con su sombra la calidad de luz sobre las semillas atenuando la radiación solar, se puede explicar porque las poblaciones de *E. platyacanthus*

de Tehuacan, Vizarrón y Metztitlán presentaron los mayores porcentajes de germinación máxima en luz roja.

### **Temperatura**

Los cambios metabólicos que se presentan en la germinación se relacionan en gran medida con la temperatura (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997), en el presente estudio observamos que las semillas de *E. platyacanthus* presentaron una amplia respuesta a la temperatura. En general observamos que a mayor temperatura el porcentaje de germinación también aumentó y que el número de días para alcanzar el 50% de la germinación disminuyó.

En la revisión de Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes (2000) se llega a la conclusión que las cactáceas presentan un amplio rango de respuestas a la temperatura. Se observa que generalmente encuentran el rango más favorable entre los 17° y 34°C. En *E. platyacanthus* aun en las temperaturas de 15° y 35°C se observó una respuesta germinativa por lo que el rango de respuesta a la temperatura es más amplio. Específicamente en las poblaciones de Tehuacan, Vizarrón y Metztitlán los mayores porcentajes de germinación se observaron en el rango de temperaturas de 20° a 30°C. Para determinar la temperatura máxima y mínima en las cinco poblaciones sería necesario agregar al diseño experimental la temperatura de 5°, 10°, 40° y 45°C.

En esta amplia respuesta a la temperatura en la germinación de diferentes especies de cactáceas se ha encontrado que frecuentemente la óptima es a los 25°C (Alcorn y Kurtz, 1956; Zimmer 1967, 1970, 1971; Bowers, 2000; Rojas- Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Encontramos que en la mayoría de las poblaciones los porcentajes más altos se encontraron entre los 20° y 25° C, como en la mayoría de las especies tropicales.

La respuesta observada en las cactáceas, además de estar asociada con el incremento de la capacidad germinativa, está también asociada a la velocidad de germinación la cual aumenta con la temperatura, alcanzando sus máximos a los 25°C (Ruedas *et al.*, 2000). La velocidad de germinación en este tipo de especies es determinante debido a que una germinación rápida puede facilitar que las semillas germinen cuando el agua en el suelo está disponible. Rojas-Aréchiga (1995) menciona, a su vez, que la velocidad de germinación aumenta con las temperaturas altas y disminuye hacia las temperaturas bajas. En *E. platyacanthus* se observaron diferencias principalmente entre las temperaturas de 15° y las de 20°, 30° y 35°C, estas últimas presentaron los porcentajes de germinación máxima más altos, sin embargo no cambió significativamente la velocidad de germinación entre las distintas temperaturas.

La germinación y su velocidad al ser reguladas por la temperatura se relacionan a su vez con la distribución geográfica de las especies. Estas características son adaptaciones a los hábitats en los que las plantas se desarrollan, y pueden variar de acuerdo con la distribución geográfica que presenten (Carrillo-García *et al.*, 2000). Comparando la respuesta en las distintas poblaciones observamos que la población de Vizarrón (P4) presentó los porcentajes de germinación más bajos. Esta se diferenció de las poblaciones de Tehuacán (P1, P2 y P3) y de Metztitlán (P5). Observamos que la población de Metztitlán (P5) presentó el menor número de días en alcanzar el 50% de germinación, ésta población presentó a su vez las velocidades de germinación más altas.

## CONCLUSIONES

- Las semillas de las 5 poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* no presentaron algún tipo de latencia a pesar de que estuvieron almacenadas.
- En las 5 poblaciones hubo respuesta germinativa en las luces blanca, roja y rojo lejano así como en oscuridad, aunque en esta última la germinación máxima generalmente fue inferior al 50%.
- En las poblaciones de Tehuacán (Puebla) y la de Metztitlán (Hidalgo) el porcentaje de germinación máximo en las diferentes calidades de luz fue mayor (30% a 60%) que en la población de Vizarrón (Querétaro).
- El número de días para alcanzar el 50% de germinación ( $G_{50}$ ) fue menor en la población de Metztitlán que en las de Tehuacán, y en ambos casos fue mayor en la luz rojo lejano que en la luz blanca y oscuridad. En la población de Vizarrón no se alcanzó el 50% de germinación.
- Las 5 poblaciones presentaron un amplio rango de respuesta a las diferentes temperaturas, el porcentaje de germinación máximo se incrementó, generalmente, con el aumento de la temperatura. La población de Vizarrón presentó los menores porcentajes de germinación máximo, y sus mayores respuestas fueron a 30° y 35°C. En las poblaciones de Tehuacán los mayores porcentajes fueron a 25° y 30°C y en la de Metztitlán a 25° y 35°C.
- De manera general se observó una disminución en la temperatura de 15° a 35 °C en el número de días para alcanzar el 50% de germinación.

- Se registraron diferencias significativas en la velocidad de germinación entre poblaciones, la población de Vizarrón fue más baja que en las de Tehuacán y Metztitlán.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCORN, S. y E. KURTZ. 1956. Some factors affecting the germination of seed of the saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*). American Journal of Botany 46 (7): 526-529
- ALVAREZ, M. G. y C. MONTAÑA. 1997. Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán: Implicaciones para su conservación. Acta Botánica Mexicana 40: 43-53
- ANDERSON, F. 2001. The Cactus Family. Timber Press Inc. Portland, Oregon. 776 pp.
- ANTESBERGER, H. 1991. *Melocactus laui* a new species from Araba, Netherland Antilles. Cactus and Succulent Journal 63: 241-243
- ARREOLA, H. 1997. Legislación y conservación. En: C. Valles y L. Rodríguez [eds.]. Suculentas mexicanas/ Cactáceas. 101-111. CVS Publicaciones. México.
- ARIAS, S. 1993. Cactáceas: conservación y diversidad en México. Res. Soc. Méx. Hist. Nat. XLIV: 109-115
- ARIAS, T. A. 2000. Las plantas de Zapotitlán de las Salinas, Puebla: Un folleto de divulgación sobre botánica y conservación. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 11 pp
- ARIAS, S., S. GAMA y L. GUZMÁN. 1997. Flora del Valle de Tehuacán–Cuicatlán. Fascículo 14 Cactaceae A. J. Juss. UNAM. México 146 pp
- ARIAS S., U. GUZMÁN, M. MANDUJANO, M. SOTO y J. GOLUBOV. 2005. Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción I. Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001 (México), La Lista Roja (UICN) y CITES. Cactáceas y suculentas mexicanas. 50(4): 100-125.

- BARTHLOTT, W., S. POREMBSKI, M. KLUGE, J. HOPKE y L. SCHMIDT. 1997. *Selenicereus wittii* (Cactaceae): an epiphyte adapted to Amazonian Igapó inundation forest. *Pl. Syst. Evol.* 206: 175-185
- BATIS, A. y M. ROJAS-ARÉCHIGA. 2002. El peyote y otros cactus alucinógenos de México. *Biodiversitas* 40: 12-17
- BEWLEY, J. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9:1055-1066
- BEWLEY, J. y M. BLACK. 1994. *Seeds. Physiology of development and germination.* Plenum Press. Nueva York. E.U. 445 pp
- BIDWELL, R. G. 1993. *Fisiología Vegetal.* AGT Ed. México. 784.pp
- BOWERS, J. 2000. Does *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae) have a between-year seed bank?. *Journal of Arid Environments* 45: 197-205
- BRADBEER, J. W. 1988. *Seed dormancy and germination.* Chapman and Hall Press. Nueva York, 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. II.* UNAM. México. 404 pp
- BRAVO-HOLLIS, H. y L. SCHEINVAR. 1995. *El interesante mundo de las cactáceas.* CONACYT- FCE. México, D. F. 233 pp
- BRAVO-HOLLIS, H., L. SCHEINVAR y H. SÁNCHEZ-MEJORADA. 1970. Estudio comparativo del Género *Neobuxbaumia* Backeberg. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 15(4): 75-82



- BRAVO-HOLLIS, H., L. SCHEINVAR y H. SÁNCHEZ-MEJORADA. 1971. Estudio comparativo del Género *Neobuxbaumia* Backeberg. II *Neobuxbaumia macrocephala* (Web.) Daws. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 16(1): 3-14
- BRAVO-HOLLIS, H., L. SCHEINVAR y H. SÁNCHEZ-MEJORADA. 1973. Estudio comparativo del Género *Neobuxbaumia* Backeberg. IV *Neobuxbaumia multiareolata*. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 18(3): 59-66
- BREGMAN, R. y F. BOUMAN. 1983. Seed germination in Cactaceae. Botanical Journal of the Linnean Society 86:357-374
- BREGMAN, R. 1988. Forms of seed dispersal in Cactaceae. Acta Bot. Neerl. 37 (3): 395-402
- CAMACHO, M. 1994. Dormición de semillas, causas y tratamientos. Trillas. México. P 18-20
- CARRILLO-GARCÍA, A., Y. BASHAN y G. BETHLENFALVAY. 2000. Resource-island soils and the survival of the giant cactus, cardon, of Baja California Sur. Plant and Soil 218: 207-214
- D.O.F (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2002. Norma Oficial NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental- especies nativas de México de flora y fauna silvestre- categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, marzo de 2002.
- DUBROVSKY, J. 1996. Seed hydration memory in Sonora desert cacti and its ecological implication. American Journal of Botany 83(5): 624-632
- DUBROVSKY, J. 1998. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonora Desert. Journal of the Torrey Botanical Society 125 (1): 33-39

FEARN, B. 1981. Seed germination: the modern approach. *Cactus and Succulent Journal* 43:13-16

FLORES, J. y O. BRIONES. 2001. Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environment* 47: 485-497

FLEMING, T. y J. HOLLAND. 1998. The evolution of obligate pollination mutualism: senita cactus and senita moth. *Oecologia* 114: 368-375

FRANCO, A. y P. NOBEL. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77: 870-886

FRANCO, I. 1997. Legislación y conservación. En: C Valles y L Rodríguez (Eds.). *Suculentas mexicanas/ Cactáceas*. 101-111. CVS Publicaciones. México.

GIBSON, A. y P. NOBEL. 1986. *The Cactus Primer*. Harvard University Press. Cambridge. 285 pp

GODÍNEZ-ALVAREZ H. 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

GONZÁLEZ-ZERTUCHE L. y A. OROZCO-SEGOVIA. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58:15-30

GUZMÁN, U., S. ARIAS y P. DÁVILA. 2003. *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México. 315 pp

HARPER, J. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press. UK. 892 pp

- HERNÁNDEZ, H. y H. GODINEZ. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52
- INSKIPP T. y M. J. GILLIETT (Eds.) 2003. Check list of CITES species. A reference to the Appendices to the Convention World Conservation Monitoring Center.
- JORDAN, P. y P. NOBEL. 1981. Seedling establishment of *Ferocactus acanthodes* in relation to drought. *Ecology* 62 (4): 901-906
- LEÓN DE LA LUZ, J. y VALIENTE-BANUET. 1994, Las cactáceas: un recurso natural diverso y predominantemente mexicano. *Ciencia y Desarrollo* 117:58-65
- LÓPEZ-LÓPEZ JOSÉ VÍCTOR. 2006. Banco de Semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto (Cactaceae) y especies asociadas en una región semiárida de la Reserva de la Biosfera “Barranca de Metztitlán”, Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 54 pp.
- MAITI, R., J. HERNÁNDEZ-PIÑERO y M. VALDEZ-MARROQUIN. 1994. Seed ultrastructure and germination of some species of Cactaceae. *Phyton* 55:97-105
- MANDUJANO, M., J. GOLUBOV y C. MONTAÑA. 1997. Dormancy and endozoochorous dispersal of *Opuntia rastrera* seeds in the southern Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 36: 259-266
- MANDUJANO, M., J. GOLUBOV y J. REYES. 2002. Lo que usted siempre quiso saber sobre las cactáceas y nunca se atrevió a preguntar. *Biodiversitas* 40: 4-7
- MAY, R. 1994. The ecology of *Sclerocactus polyancistrus* (Cactaceae) in California and Nevada. *Desert Plants* 11(1): 6-22
- NOBEL, P. 1984. Extreme temperatures and thermal tolerance for seedlings of desert succulents. *Oecologia (Berlin)* 62: 310-317

- NOBEL, P. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. Nueva York. 270 pp
- NOBEL, P (Ed.). 2002. Cacti; biology and uses. University of California Press. California, 280 pp
- NOLASCO, H., F. VEGA-VILLASANTE y A. DIAZ-RONDERO. 1997. Seed germination of *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) under different solar irradiation levels. Journal of Arid Environments 36 123-132
- PIMIENTA-BARRIOS E. y R. DEL CASTILLO. 2002. Reproductive Biology. In: Nobel, P. (Ed). Cacti; biology and uses. University of California Press. California. 280 pp
- RAVEN P. H., R. F. EVERET y S. E. EICHHORN. 1999. Biology of Plants. Freeman and Company Worth Publishers. 6<sup>th</sup> Edition. E.U. 944 pp
- RODRÍGUEZ, L. (Ed). 1997. Cactáceas: suculentas mexicanas. CVS Publicaciones. México. 143 pp
- ROJAS- ARÉCHIGA, M. 1995. Estudios sobre la germinación de cactáceas del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). UNAM. México. 125 pp
- ROJAS-ARÉCHIGA, M. y A. BATIS. 2001. Las semillas de cactáceas..¿forman bancos en el suelo?. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 46 (4): 76-82
- ROJAS-ARÉCHIGA, M. y C. VÁZQUEZ-YANES. 2000. Cactus seed germination: a review. Journal of Arid Environments 44: 85-104
- ROJAS-ARÉCHIGA, M., A. OROZCO-SEGOVIA y C. VÁZQUEZ-YANES. 1997. Effect of light on germination of seven species of cacti from the Zapotitlán Valley in Puebla, México. Journal of Arid Environments 36: 571-578

- ROJAS-ARÉCHIGA, M., A. OROZCO-SEGOVIA y C. VÁZQUEZ-YANES. 1998. Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecology* 135: 207-214
- ROSAS-LÓPEZ, U. 2002. Anatomía fisiológica de plántulas de cactáceas bajo estrés hídrico. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 110 pp
- ROSAS-LOPEZ U. Y M. COLLAZO-ORTEGA. 2004. Conditions for the germination of *Polaskia chichipe* (Goss.) Backeberg and *Echinocactus platyacanthus* Link and Otto fa. Grandis (Rose) Bravo-Hollis (Cactaceae). *Phyton* 2004 (1): 213-220
- RUEDAS, M., T. VALVERDE y S. CASTILLO. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 66: 25-35
- SÁNCHEZ, B., E. GARCÍA, T. TERRAZAS y A. REYES. 2005. Hidratación discontinua sobre la germinación de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 50 (1): 4-14
- SILVIUS, K. 1995. Avian Consumers of Cardón Fruits (*Stenocereus griseus*: Cactaceae) on Margarita Island, Venezuela. *Biotropica* 27(1): 96-105
- SIMPSON, R., M. LECK y V. PARKER 1989. Seed banks: general concepts and methodological issues. En: Leck M., V. Parker y R. Simpson (Eds.). *Ecology of Seed Banks*. Academic Press, Inc. Nueva York. p 3-8
- STEENBERGH, W. y C. LOWE. 1969. Critical Factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at Saguaro National Monument, Arizona. *Ecology* 50(5): 825-834

- VALIENTE-BANUET, A. y M. ARIZMENDI. 1997. Interacción entre cactáceas y animales: polinización, dispersión de semillas y nuevos individuos. En: C. Valles y L. Rodríguez (Eds). *Suculentas mexicanas/ Cactáceas*. 101-111. CVS Publicaciones. México
- VALIENTE-BANUET, A. y E. EZCURRA. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetezo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology* 79: 961-971
- VÁZQUEZ-YANES, C. y A. OROZCO-SEGOVIA. 1984. Ecophysiology of seed germination in the tropical humid forests of the world: a review. En: E. Medina, H. A. Mooney y C. Vázquez-Yanes (Eds.). *Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics*. Dr. W. Junk Publishers. Holanda. p 37–50
- VÁZQUEZ-YANES, C. y A. OROZCO-SEGOVIA. 1996. Physiological ecology of seed dormancy and longevity. En: S. Mulkey, R. L. Chazdon y A. P. Smith. (Eds.). *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman and Hall Press. E.U. p 535–558.
- VAZQUEZ-YANES, C., A. OROZCO, M. ROJAS, M. SANCHEZ y M. CERVANTES. 1997. La reproducción de las plantas. Semillas y meristemos. SEP- FCE- CONACYT. México. D. F. 167 pp
- VILLASEÑOR, J., P. DÁVILA y F. CHIANG. 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 50: 135-149
- VLEESHOUWERS, L., H. BOUWMEESTER y C. KARSSSEN. 1995. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology* 83: 1031-1037
- ZIMMER, K., 1967. Temperatur und Keimung bei verschiedenen Kakteen. *Kakteen und andere Sukkulente* 18: 31–33

ZIMMER, K., 1969. Über die Keimung von Kakteensamen I. Quellung und Keimung bei konstanten Temperaturen. *Kakteen und andere Sukkulente* 20: 105–107

ZIMMER, K., 1970. Über die Keimung einiger bolivianischer und peruanischer Kakteenarten. *Kakteen und andere Sukkulente* 21: 177–178

ZIMMER, K., 1971. Ein weiterer Beitrag zur Keimung von Kakteensamen. *Kakteen und andere Sukkulente* 22: 153–155

ZIMMER, K., 1973a. Zur Keimung von *Maihuenia poeppigii*. *Kakteen und andere Sukkulente* 24: 13–14

ZIMMER, K., 1973b. Zur Keimung von *Selenicereus grandiflorus* (Linee) Britton & Rose. *Kakteen und andere Sukkulente* 24: 227–228

ZIMMER, K., 1980. Einflub der Temperatur auf die Keimung von Kakteensaatgut. X. Keimung einiger *Ferocactus*-Arten. *Gartenbauwissenschaft* 45: 121–123

ZIMMER, K. y SCHULTZ, A., 1975. Untersuchungen über den Einflub der Temperatur auf die Keimung von Kakteensaatgut. IX. Zur Veränderung des Temperaturbereichs für die Keimung in Abhängigkeit vom Samenalter. *Gartenbauwissenschaft* 3: 120–125

### **Recursos electrónicos**

Consejo Estatal de Ecología (COEDE). 2003. Página en red: <http://www.coedehgo.gob.mx>

Instituto Nacional de Ecología (INE).2003. Página en red: <http://www.ine.gob.mx>

IUCN. 2004. IUCN Red List of Threatened Species, 2004. Página en red: <http://www.redlist.org>