

GERMINACION Y SUPERVIVENCIA DE CINCO ESPECIES DE CACTACEAS DEL VALLE DE TEHUACAN: IMPLICACIONES PARA SU CONSERVACION

MARIA GUADALUPE ALVAREZ AGUIRRE

Y

CARLOS MONTAÑA

Instituto de Ecología, A.C.
Apartado postal 63
91000 Xalapa, Veracruz

RESUMEN

Se analizaron experimentalmente las condiciones de germinación y establecimiento de cinco especies de cactáceas del Valle de Zapotitlán Salinas (Puebla) susceptibles de ser cultivadas y comercializadas como ornamentales por campesinos de la región. Las especies estudiadas fueron *Cephalocereus chrysacanthus*, *Cephalocereus hoppenstedtii*, *Ferocactus latispinus*, *Stenocereus stellatus* y *Wilcoxia viperina*, todas endémicas de México y cuyos individuos juveniles son usados como plantas de ornato. Con el fin de diseñar una alternativa para el manejo conservacionista de estas especies, el objetivo del trabajo fue evaluar si los requerimientos para el establecimiento pueden cubrirse con prácticas de cultivo simples que estén dentro de las posibilidades económicas y tecnológicas de los campesinos del área.

Las semillas fueron sometidas a seis tratamientos simulando el paso por el tracto digestivo de vertebrados (escarificación química) y el arrastre por agua y viento (escarificación mecánica). *C. chrysacanthus* presentó la germinación más baja (36%), mientras que las otras cuatro especies promediaron 79%. Ningún tratamiento proporcionó mejor germinación que la de semillas no tratadas, mientras que la escarificación mecánica la disminuyó a la mitad. La supervivencia de plántulas se evaluó durante 11 meses simulando las condiciones de dos microhabitats (espacios abiertos y dosel denso de arbustos) con un diseño factorial que incluye dos tipos de suelo (suelo extraído de espacios abiertos y suelo extraído bajo la copa de *Mimosa luisana*) y dos condiciones de luz (luz de espacios abiertos y luz de casa de sombra). Las condiciones invernales afectaron severamente a *C. chrysacanthus* y *S. stellatus* en la casa de sombra, y provocaron una mortalidad total de *C. hoppenstedtii* en ambas condiciones de luz. *W. viperina* registró una supervivencia final (65%) mayor que las restantes tres especies (18.33% en promedio). La supervivencia final de las cuatro especies fue menor (25% en promedio) en casa de sombra que en luz de espacios abiertos (35% en promedio). También fue menor en suelos extraídos bajo el dosel de *M. luisana* (24.25% en promedio) que en los de espacios abiertos (34.75% en promedio). Como conclusión, se considera que el cultivo en condiciones rústicas por parte de los pobladores locales constituye una alternativa viable para cuatro de las cinco especies estudiadas, abriendo una ventana para la conservación *ex situ* y disminuyendo la presión sobre las poblaciones *in situ*.

ABSTRACT

Germination and establishment of five cacti species growing in the Valley of Zapotitlán de las Salinas (Puebla) were studied. The species, all endemic to Mexico and whose saplings and juveniles

are used as ornamental plants, were *Cephalocereus chrysacanthus*, *Cephalocereus hoppenstedtii*, *Ferocactus latispinus*, *Stenocereus stellatus* and *Wilcoxia viperina*. Aiming to develop conservative management practices, the objective of the work was to assess if the establishment requirements of the species could be provided by simple cultivation methods that can be economically and technologically affordable by local peasants.

Six treatments were applied to the seeds in order to simulate the passage by the digestive tract of vertebrates (chemical attack) and the abrasive effects of water or wind transport (mechanical abrasion). *C. chrysacanthus* had the lowest germination percentage (36%), whereas the other four species averaged 79%. Any of the treatments yielded higher germination percentages than the untreated control. In contrast, mechanical abrasion almost halved those percentages.

Seedling establishment was assessed in an 11-month period simulating the conditions of two microhabitats (open spaces and dense shrub cover) with a factorial design including two soil types (soil collected from open spaces and soil collected beneath the canopy of the shrub *Mimosa luisana*) and two light conditions (light from open spaces and light from a shadow-house). Winter conditions severely affected *C. chrysacanthus* and *S. stellatus* in the shadow-house, and decimated completely *C. hoppenstedtii* in both light conditions. *W. viperina* had a higher final survival (65%) than the other 3 species (18.33% on average). Survival of the four species was lower (25% on average) in the shadow-house than under the light conditions of the open spaces (35% on average). It was also lower in soils collected beneath the canopy of *M. luisana* (24.25% on average) than in soils of open spaces (34.75% on average). It is concluded that cultivation by local peasants under low-technology practices is viable for four out of the five species studied, and opens a realistic alternative for *ex situ* conservation and for lowering the collect pressure over *in situ* populations.

INTRODUCCION

La sobreexplotación de poblaciones naturales de cactáceas es una lamentable realidad que afecta a los ecosistemas semiáridos de México. La Convención sobre Comercio Internacional de Especies en Peligro de Extinción (CITES, 1990) estima que todas las especies de cactáceas están amenazadas si su comercio no es regulado y calcula que 36 de ellas están en peligro de extinción. En un estudio más reciente, Hernández y Godínez (1994) consideran que 197 especies mexicanas de esta familia (35% del total) están amenazadas. Entre las áreas más afectadas por este problema se encuentra la región de Tehuacán-Cuicatlán, para la que se han registrado 75 especies de cactáceas (Dávila et al., 1993). En esta área es común la colecta de plántulas o de ejemplares juveniles de diferentes especies de esta familia con el fin de comercializarlas como plantas ornamentales. Tal tipo de extracción es particularmente perjudicial porque altera la estructura de edades de las poblaciones eliminando a las clases de edad más pequeñas, y clausura, de este modo, las posibilidades de permanencia de las poblaciones en el largo plazo. Una alternativa para el manejo conservacionista de estas especies de valor ornamental es el cultivo a partir de semillas con tecnologías que puedan ser desarrolladas por los habitantes locales. De este modo se favorecería la conservación *in situ* al disminuir la extracción de ejemplares de las poblaciones naturales y la conservación *ex situ* al promover la supervivencia de ejemplares fuera de su medio natural (Primack, 1993).

En el presente trabajo se analizaron experimentalmente las condiciones de germinación y establecimiento de cinco especies de cactáceas susceptibles de ser cultivadas y comercializadas como ornamentales por campesinos del Valle de Zapotitlán. El objetivo general fue evaluar una práctica de cultivo que estuviera dentro de las

posibilidades económicas y tecnológicas de los habitantes del área. Los objetivos específicos fueron dilucidar si algún tipo de escarificación mejoraba los porcentajes de germinación y si la supervivencia y crecimiento de las plántulas se veían favorecidos por la presencia de sombras artificiales, como ha sido demostrado para otras especies de cactáceas (e.g. Steenbergh y Lowe, 1969; Nobel, 1988; Franco y Nobel, 1989; Valiente y Ezcurra, 1991).

MATERIAL Y METODOS

Area de estudio

El trabajo de campo se realizó en el Valle de Zapotitlán de las Salinas (18°20'N, 97°28'W), que se localiza en la porción suroeste del Valle de Tehuacán y en el centro de la región de Tehuacán-Cuicatlán, en el estado de Puebla, México. De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), el clima es semiárido del tipo BShw"(w)(e)g con una precipitación media anual de 380 mm. Las lluvias están concentradas entre junio y septiembre. La aridez que presenta se debe a la influencia de la Sierra Madre Oriental que impide el libre acceso de la humedad proveniente de los vientos alisios del Golfo de México (Byers, 1967). La temperatura media anual es de 21.4°C oscilando entre los 16.5°C en enero y los 24.2°C en mayo (García, 1973). El tipo de vegetación presente en la zona es el matorral xerófilo y de acuerdo con Zavala (1982) se reconocen cuatro unidades fisonómicas de vegetación: matorral espinoso, tetechera, cardonal e izotal. Los suelos son rocosos, originados de rocas sedimentarias y metamórficas; están representados por las siguientes categorías: calcáreos, salinocalcáreos, yesosos y calcáreo-yesíferos, los cuales son el producto del intemperismo *in situ* (Aguilera, 1970).

Especies utilizadas

Las cinco especies utilizadas son endémicas de México y sus plántulas son susceptibles de ser colectadas con fines ornamentales. De acuerdo con Bravo (1978) y Bravo y Sánchez-Mejorada (1991), sus binomios latinos y distribución por estados (mostrada entre paréntesis) son: *Cephalocereus chrysacanthus* (Weber) Britton et Rose (Puebla y Oaxaca), *Cephalocereus hoppenstedtii* (Weber) Schumann (Puebla), *Ferocactus latispinus* (Haworth) Britton et Rose (Hidalgo, México, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas), *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono (Morelos, Oaxaca y Puebla), *Wilcoxia viperina* (Weber) Britton et Rose (Puebla).

Germinación

Inmediatamente después de la recolección de los frutos se lavaron las semillas en agua corriente, se secaron a temperatura ambiente y se colocaron en frascos de vidrio transparente en un lugar fresco y seco.

Para la evaluación de la germinación se empleó un diseño experimental formado por un factorial de cinco especies por seis tratamientos pregerminativos, que trataban de simular los efectos del paso por el tracto digestivo de vertebrados herbívoros (escarificación química) o del arrastre por agua o por viento (escarificación mecánica). La unidad experimental consistió de una caja Petri con 50 semillas. Se realizaron cuatro réplicas por tratamiento, obteniéndose un total de 120 unidades experimentales. Las semillas se sometieron a los siguientes tratamientos pregerminativos:

- 1) Inmersión en una solución de ácido clorhídrico a una concentración 1 N durante una hora.
- 2) Inmersión en una solución de ácido clorhídrico a una concentración de 2 N durante una hora.
- 3) Inmersión en una solución de ácido clorhídrico a una concentración de 3 N durante una hora.
- 4) Imbibición en algodón humedecido durante 36 horas.
- 5) Escarificación mecánica con suelo del lugar de origen.
- 6) Semillas sin tratamiento pregerminativo (testigo).

Las semillas tratadas con las soluciones de ácido clorhídrico se colocaron en vasos de precipitado con 20 ml de la solución y después de una hora se lavaron en agua corriente durante 15 minutos. Para el tratamiento de imbibición con agua las semillas se colocaron sobre algodón humedecido en cajas Petri durante 36 horas en un lugar fresco y seco. La escarificación mecánica consistió en frotar las semillas con suelo colectado del lugar de estudio hasta que presentaran desgaste de la testa.

Las semillas se colocaron en cajas Petri que contenían papel filtro humedecido diariamente con agua destilada y se instalaron en un germinador con un fotoperiodo de 12 horas a temperatura de 24°C y un periodo de obscuridad de 12 horas a 20°C. Las cajas se revisaron diariamente para cuantificar el número de semillas que habían germinado (cuya radícula fue visible). El periodo de observación fue de 15 días, debido a que al llegar a ese tiempo los porcentajes de germinación se estabilizaron.

Los resultados finales de germinación (porcentaje de semillas que germinaron en 15 días) se sometieron a un análisis de varianza de dos vías y comparaciones múltiples por el método de Tukey, previa transformación arcoseno de los datos (Sokal y Rohlf, 1981). Para tener en cuenta la influencia del factor tiempo, se realizó un análisis complementario considerando la evolución de la germinación en las distintas fechas de lectura. Para ello se utilizó la rutina de análisis de varianza con medidas repetidas del paquete BMDP (Dixon et al., 1988). Salvo indicación expresa en el texto, el nivel de significancia considerado para todos los análisis fue de 5%.

Supervivencia

Para evaluar la supervivencia de plántulas se utilizó un diseño experimental factorial de cinco especies por dos tipos de luz y por dos tipos de suelo con cinco repeticiones por tratamiento (es decir 100 unidades experimentales). La unidad experimental consistió de una maceta con 10 plántulas al inicio del experimento.

Los tipos de suelo utilizados fueron los de áreas desprovistas de vegetación y de áreas cubiertas por el dosel de *Mimosa luisana* Brandegees, el arbusto más común de la región. Las condiciones de luz fueron las correspondientes a espacios abiertos y sombra artificial. El tratamiento de sombra se estableció en un local (casa de sombra) formado por cuatro vigas de madera con techo (ubicado a 2.50 m del suelo) y paredes de carrizo. Los tratamientos experimentales de luz y suelo pretendieron reproducir las condiciones que se encuentran bajo un dosel denso de arbustos y en espacios desnudos con el fin de poner a prueba la hipótesis de que el establecimiento de estas especies es posible en espacios desnudos, siempre y cuando no haya limitaciones en la disponibilidad de agua. Simultáneamente, estos tratamientos proveerían información útil para diseñar las prácticas conservacionistas de cultivo. En efecto, el uso de suelo extraído debajo del dosel de arbustos puede considerarse como una práctica degradatoria debido a la alteración de un microambiente donde muchas especies ven favorecido su establecimiento (e.g. Turner et al., 1966) y es, por lo tanto, importante comparar su eficiencia relativa con la de los suelos de áreas desnudas. Por otra parte, es importante también comparar la eficiencia de casas de sombra como la implementada en este experimento (técnica que implica costos de construcción y mantenimiento de las instalaciones y que puede determinar una disminución importante de energía de radiación para el crecimiento de las plántulas).

La unidad experimental consistió en una maceta de plástico de 33x20x12cm con el piso perforado para permitir el drenaje del agua en exceso de la capacidad de campo. Se sembraron 50 semillas por cada unidad experimental para obtener 10 plántulas en cada una de ellas al inicio del experimento. Se eliminaron aleatoriamente las plántulas sobrantes. Las macetas fueron distribuidas al azar en dos mesas (una en la condición de luz de espacio abierto y otra en la condición de luz de casa de sombra). Cada una de las mesas se cubrió con un techo de plástico transparente (ubicado a 1.50 m por encima de las macetas y permitiendo la libre circulación del aire) con el fin de evitar las perturbaciones en el régimen de riego que se hubieran ocasionado por las lluvias. Las plántulas se regaron cada tercer día a la capacidad de campo durante todo el tiempo que duró el experimento. Los conteos del número de plántulas vivas se realizaron cada siete días durante los primeros dos meses, luego cada 15 días durante los siguientes cuatro meses y posteriormente una vez por mes, hasta completar 11 meses de observaciones.

El experimento se llevó a cabo en las afueras del pueblo de Zapotitlán de las Salinas, localizado a unos 30 kilómetros al sur de la ciudad de Tehuacán y las observaciones de supervivencia abarcaron el periodo comprendido entre el 25 de julio de 1992 y el 23 de junio de 1993.

La variabilidad en el porcentaje de supervivientes se analizó con los mismos modelos estadísticos utilizados para examinar los resultados de germinación: análisis de varianza de tres vías (previa transformación arcoseno de los datos) de los porcentajes de supervivencia final, comparaciones múltiples por el método de Tukey y, finalmente, análisis de varianza con medidas repetidas para tener en cuenta la influencia del tiempo.

Variables ambientales

Para conocer las diferencias físico-químicas entre los dos tipos de suelo se tomaron cinco muestras al azar de cada suelo y se realizaron los siguientes análisis (Aguilar et al.,

1987): pH (en agua relación 1:2.5), contenido de nitrógeno total (técnica de Kjeldahl), materia orgánica (método Walkley-Black), textura (técnica del hidrómetro de Bouyoucos), fósforo (técnica de Olsen), capacidad de intercambio catiónico (técnica de saturación con amonio y desplazamiento del amonio con cloruro de sodio) y contenido de cationes (Ca, Mg, K y Na, técnica del acetato de amonio, pH 7, 1 N). Las medias de cada parámetro en los dos tipos de suelos se compararon con una prueba de *t* (Sokal y Rohlf, 1981).

Las temperaturas en ambos tratamientos de luz se tomaron mensualmente con termómetros de máxima y mínima. Para cuantificar las diferencias de radiación recibida entre los tratamientos de luz se utilizaron sensores de radiación fotosintéticamente activa LICOR LI 190SA, conectados a un almacenador de datos LI 1000-32. Durante un día (abril 25, 1993), se tomaron medidas de radiación fotosintéticamente activa cada hora entre las 08:00 y las 17:00 horas con cinco repeticiones en ambos tratamientos.

RESULTADOS

Germinación

Los porcentajes de germinación finales variaron tanto entre especies, como entre métodos de escarificación y la interacción entre ambos factores fue significativa (Cuadro 1 y Fig. 1). La variabilidad explicada fue de 36% para especie, 29% para método de escarificación y de 12% para la interacción.

Cuadro 1. Análisis de varianza del número total de semillas que germinaron al final del experimento para las diferentes especies y tratamientos de escarificación.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	E	P
Especies	5.09	4	1.27	35.78	<0.001
Escarificación	4.04	5	0.80	22.73	<0.001
Especie x Escarificación	1.63	20	0.08	2.29	0.004
Error	3.20	90	0.35		
Total	13.96	119			

El análisis de comparaciones múltiples mostró que el porcentaje de germinación de *Cephalocereus chrysacanthus* (36%) fue el más bajo. Las otras cuatro especies no difirieron entre sí y promediaron 79% de germinación entre las cuatro. El tratamiento por escarificación mecánica difirió significativamente del resto de los tratamientos. La media de este tratamiento fue de 33.8% mientras la media general entre los otros cinco fue de 77.8%.

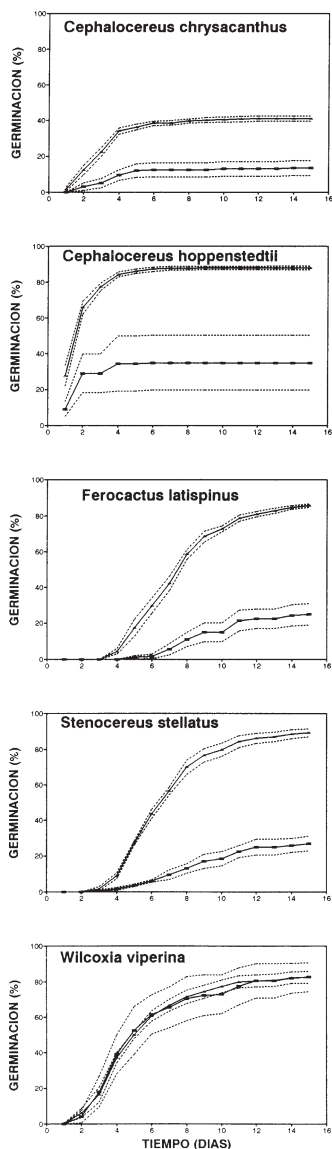


Fig. 1. Germinación de semillas de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán sometidas a distintos tratamientos de escarificación. Rectángulos: escarificación mecánica. Triángulos: promedio de cinco métodos de escarificación que no mostraron diferencias significativas en los porcentajes de germinación (tres con HCl a diversas concentraciones, uno con agua y un testigo sin escarificación). Se muestran los valores promedio de cada fecha (n=4 para cada método de escarificación) y los correspondientes intervalos de confianza de 95%.

La interacción significativa entre especies y tratamientos se debe a que la disminución en la germinación ocasionada por la escarificación mecánica varió mucho de una especie a otra. En *Wilcoxia viperina* la germinación bajo este tratamiento fue de 68.5%, mientras que en el resto de las especies no superó 35% (Fig. 1).

El análisis de varianza de medidas repetidas confirmó estos resultados teniendo en cuenta la variabilidad registrada a lo largo del tiempo. Como se ilustra en la figura 1, las diferencias entre fechas y la interacción fecha por especie fueron significativas ($P < 0.01$). Las especies de *Cephalocereus* fueron las más rápidas en germinar y en alcanzar el porcentaje máximo de este fenómeno.

Supervivencia

Ningún individuo de *Cephalocereus hoppenstedtii* sobrevivió al final del experimento (Fig. 2 y 3). El análisis de varianza de tres vías aplicado a los datos de supervivencia al final del experimento para las cuatro especies restantes señala que el factor especie explica el mayor porcentaje de variación con 48%; los factores suelo y luz explican 3.5% y 3.7%, respectivamente; mientras que las interacciones especie por suelo y especie por luz explican 6.5% y 7.6% de la variación total (Cuadro 2). La supervivencia promedio de estas cuatro especies al final del experimento fue de 25% en la casa de sombra y de 35% en luz de espacios abiertos (Fig. 2). La supervivencia promedio en suelos extraídos bajo el dosel de *M. luisana* fue 24.25%, mientras que en suelos de espacios abiertos fue 34.75% (Fig. 3).

Cuadro 2. Análisis de varianza del número total de plántulas de las cuatro especies supervivientes al final del experimento.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Especies	6.57	3	2.19	35.54	<0.001
Suelo	0.48	1	0.48	7.85	<0.007
Luz	0.51	1	0.51	8.34	<0.005
Especie x suelo	0.89	3	0.29	4.82	<0.004
Especie x luz	1.05	3	0.35	5.66	<0.002
Luz x suelo	0.00	1	0.00	0.01	0.920
Error	4.13	67	0.61		
Total	13.63	79			

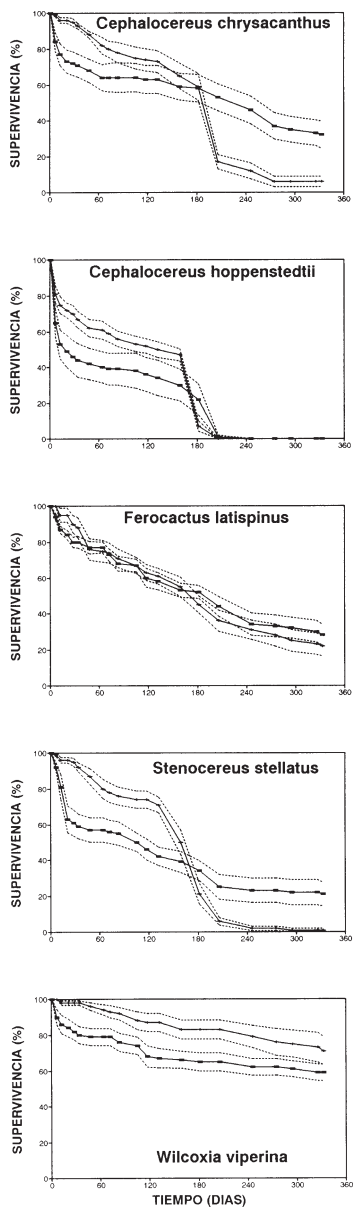


Fig. 2. Supervivencia de plántulas de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán cultivadas bajo dos condiciones lumínicas: casa de sombra (cruces) y espacios abiertos (rectángulos). Se muestran los valores promedio de cada fecha (n=10) y los correspondientes intervalos de confianza de 95%.

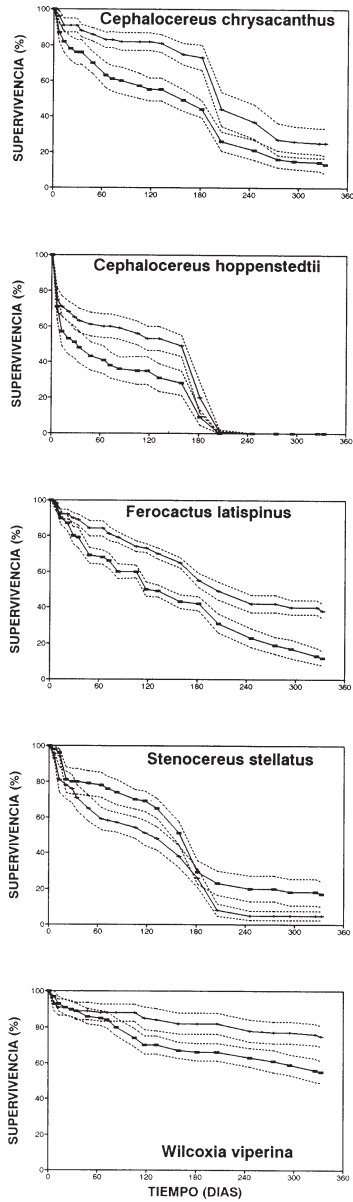


Fig. 3. Supervivencia de plántulas de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán cultivadas en dos tipos de suelos: suelos de espacios desprovistos de vegetación (cruces) y suelos extraídos de vegetación bajo la copa de *Mimosa luisana* (rectángulos). Se muestran los valores promedio de cada fecha (n=10) y los correspondientes intervalos de confianza de 95%.

Las comparaciones múltiples mostraron que la supervivencia de *Wilcoxia viperina* difiere significativamente de la de las tres especies restantes. Los valores finales fueron 65% para la primera y 18.33% en promedio para las otras tres.

La interacción significativa entre especie y luz se debe a que el porcentaje de supervivencia fue mayor en el tratamiento de luz de áreas descubiertas en tres de las cuatro especies, mientras que en la cuarta (*Wilcoxia viperina*) fue mayor en el tratamiento de luz de casa de sombra (Fig. 2).

La interacción significativa entre especie y suelo se debe a que la mayor supervivencia se obtuvo en suelo extraído entre arbustos en tres de las cuatro especies, mientras que en la cuarta (*Stenocereus stellatus*) fue mayor en suelos extraídos bajo la copa de *Mimosa luisana* (Fig. 3).

El análisis de varianza con medidas repetidas confirmó estos resultados y mostró que el efecto del tiempo también es significativo ($P < 0.01$). De manera general, se registró en los primeros seis meses de observación una mayor supervivencia en el tratamiento de casa de sombra (Fig. 2). Durante el mes de enero y la primera quincena de febrero hubo un aumento drástico en la mortalidad de *Cephalocereus hoppenstedtii*, hasta la muerte de todos los individuos, tanto en casa de sombra como en áreas descubiertas. *Cephalocereus chrysacanthus* y *Stenocereus stellatus* fueron afectados severamente por las condiciones invernales en la casa de sombra, lo que determinó una supervivencia final mayor en luz de espacios abiertos. *Ferocactus latispinus* mostró una mortalidad muy similar en las dos condiciones a lo largo del tiempo, mientras que *Wilcoxia viperina* siempre se vio favorecida en las condiciones provistas por la casa de sombra.

Desde el inicio de las observaciones se registró una mayor supervivencia en suelo extraído de entre arbustos en cuatro de las cinco especies estudiadas. Únicamente *Stenocereus stellatus* sobrevivió mejor en suelo extraído bajo la copa de *Mimosa luisana* (Fig. 3). A pesar de la alta mortalidad invernal, estas tendencias se mantuvieron hasta el final del experimento, excepto en *Cephalocereus hoppenstedtii*, en la que todos los individuos murieron en invierno, independientemente del tipo de suelo.

Análisis de suelos, medición de la temperatura y radiación fotosintéticamente activa

Los análisis estadísticos aplicados a los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de suelo mostraron diferencias significativas en cuanto al pH, materia orgánica, arena y en la capacidad de intercambio catiónico. De manera general el suelo extraído en espacios abiertos resultó ser ligeramente más alcalino, con mayor porcentaje de arena, y con menor cantidad de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (Cuadro 3).

Las temperaturas mínimas fueron similares tanto en la casa de sombra como en la condición de espacios abiertos. En cambio, las temperaturas máximas fueron más bajas en la casa de sombra a lo largo del año (Fig. 4).

La medición de la radiación fotosintéticamente activa tomada durante un día soleado de primavera mostró la diferente cantidad de la radiación que recibieron ambos tratamientos de luz (Fig. 5). Integradas durante el periodo de medición, las radiaciones totales fueron de 35.49 moles/hora/m² para el área descubierta y de 2.43 moles/hora/m² en la casa de sombra, por lo que las plántulas localizadas en la casa de sombra recibieron alrededor de 7% de la radiación que llegó a las plántulas de áreas descubiertas.

Cuadro 3. Resultados de los análisis físico-químicos realizados a los dos tipos de suelo. Los datos corresponden al promedio (n=5; ±E.S.) de las muestras. La significancia de la diferencia entre las medias de cada variable en ambos tipos de suelo fue determinada por la prueba de t.

Análisis	Suelos espacios abiertos	Suelos bajo <i>Mimosa luisana</i>	P
pH	8.15 (±0.066)	7.94 (±0.028)	<0.001
N total (%)	0.12 (±0.014)	0.17 (±0.027)	0.146
Materia orgánica (%)	3.08 (±0.056)	3.98 (±0.084)	<0.001
Arcilla (%)	21.60 (±0.400)	23.80 (±0.200)	<0.001
Limo (%)	37.16 (±0.438)	37.56 (±0.438)	0.580
Arena (%)	41.24 (±0.357)	38.44 (±0.438)	0.002
P (ppm)	32.74 (±1.460)	32.36 (±1.974)	0.893
K meq/100 g	0.32 (±0.020)	0.29 (±0.003)	0.224
Na meq/100 g	0.29 (±0.024)	0.27 (±0.009)	0.595
Ca meq/100 g	17.84 (±0.759)	20.20 (±0.287)	0.031
Mg meq/100 g	3.02 (±0.440)	2.90 (±0.421)	0.871
CIC (*) meq/100 g	13.73 (±0.176)	19.49 (±0.906)	<0.001

(*) CIC = Capacidad de intercambio catiónico.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los experimentos de germinación muestran que la mayoría de los tratamientos no influyen de manera significativa en los porcentajes de semillas que germinaron y que la variación depende principalmente de la especie. A diferencia de los resultados obtenidos por Godínez (1991) y McDonough (1964) con otras especies de cactáceas, la inmersión en HCl a distinta normalidad no influyó en los porcentajes de germinación. Por otra parte, el tratamiento de escarificación mecánica resultó perjudicial para todas las semillas, excepto las de *W. viperina*. La testa de las semillas de esta especie, que es sensiblemente más gruesa que la de las otras especies, probablemente impidió que el embrión resultara dañado durante este tratamiento de escarificación. McDonough (1964) obtuvo un resultado similar cuando fragmentó la testa de semillas de *Carnegiea gigantea* y *Stenocereus thurberi* y la germinación disminuyó 3%. Godínez (1991) también registró un bajo número de semillas que germinaron al escarificar con arena las semillas de ocho especies de cactáceas.

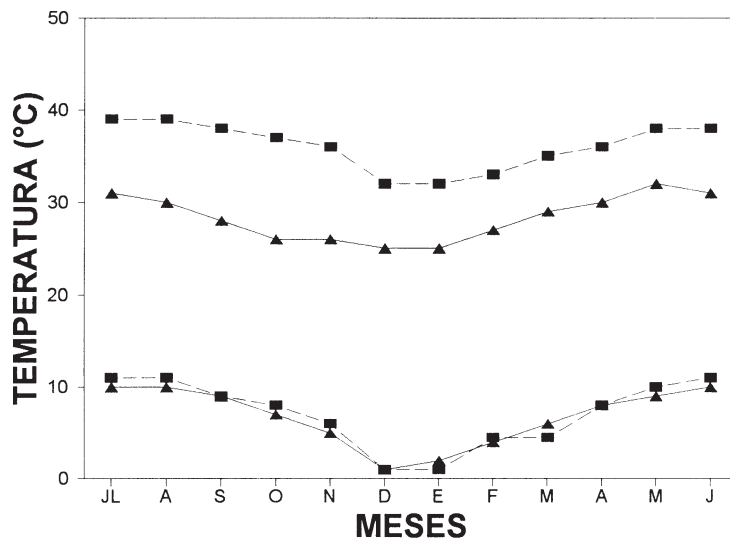


Fig. 4. Marcha de las temperaturas máximas y mínimas mensuales registradas en las dos condiciones de luz utilizadas en el experimento en Zapotitlán Salinas. Area descubierta: líneas punteadas y rectángulos; casa de sombra: líneas continuas y triángulos.

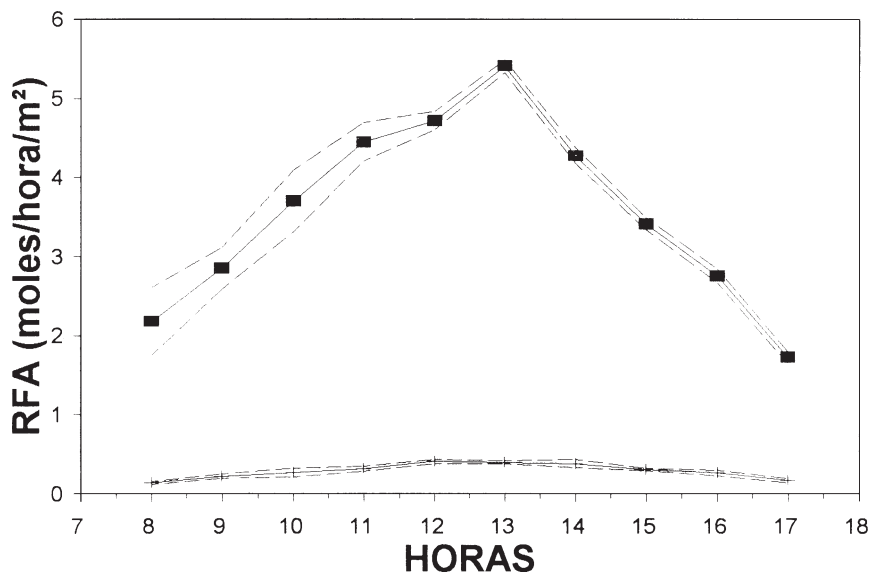


Fig. 5. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) recibida en un día de primavera en las 2 condiciones de luz utilizadas en el experimento de Zapotitlán Salinas. Areas descubiertas: rectángulos; casa de sombra: cruces. Se muestran los valores promedio ($n=5$) y los intervalos de confianza de 95%.

Los altos porcentajes de germinación obtenidos con el tratamiento por imbibición y en el grupo testigo indican que las semillas sólo necesitan de la presencia de agua para activar la germinación. Se ha mencionado que la hidratación sensibiliza a las semillas para que puedan responder a otros factores ambientales (Heydecker, 1977), ya que la entrada de agua desencadena los procesos de germinación que conducen al desarrollo del embrión y a la posterior emergencia de la radícula a través de la testa (Mayer y Shain, 1974).

El bajo porcentaje de germinación de semillas de *Cephalocereus chrysacanthus* en todos los tratamientos puede deberse a algún mecanismo de latencia, como se ha observado en otras suculentas. Baskin y Baskin (1972) encontraron que la temperatura óptima para la germinación de una especie de crasulácea variaba con respecto a la fecha de colecta de las semillas. Martínez (1983) menciona que las semillas hidratadas de *Stenocereus griseus* necesitan de la activación del fitocromo mediante la irradiación con luz roja. Por otra parte, Williams y Arias (1978) detectaron la presencia de sustancias inhibitoras, entre ellas el ácido abscísico en semillas recién cosechadas de esta misma especie.

Por lo que respecta a la supervivencia de plántulas, los resultados indican que la cantidad de radiación fotosintéticamente activa y el tipo de suelo influyen en la misma. Sin embargo, las diferencias en los porcentajes de supervivencia entre los tratamientos son, para ambas variables, del orden de 10%. Dos especies (*Cephalocereus chrysacanthus* y *Ferocactus latispinus*) sobreviven mejor en condiciones de espacios desprovistos de vegetación (luz y suelo de espacios abiertos), mientras que ninguna lo hace en las condiciones aportadas por la combinación de suelos extraídos debajo de la copa de arbustos y de radiación de la casa de sombra. *Stenocereus stellatus* presenta mayor porcentaje de supervivencia en suelo extraído debajo de *Mimosa luisana* (17% contra 5% en suelos de espacios abiertos), pero en el tratamiento de luz de áreas descubiertas; mientras que *Wilcoxia viperina* presenta la mayor supervivencia en casa de sombra (71% contra 59% en luz de espacios abiertos), pero en suelo extraído de espacios abiertos.

La mayor supervivencia en suelos extraídos de áreas desprovistas de vegetación de cuatro de las cinco especies estudiadas es difícil de interpretar, ya que la mayoría de los análisis físico-químicos realizados no muestran una variación importante que indique la preferencia por este tipo de suelos. Se observó que aquellos extraídos en espacios entre arbustos son ligeramente más alcalinos, poseen 4% más de arena y presentan una menor cantidad de materia orgánica, así como una menor capacidad de intercambio catiónico; pero estas diferencias son mínimas. Turner et al. (1966) obtuvieron un resultado similar al colocar plántulas de saguaro (*Carnegiea gigantea*) en cuatro condiciones diferentes de suelo y dos tipos de riego. En otro trabajo, Turner et al. (1969) realizaron un estudio sobre la mortalidad de plántulas de saguaro y encontraron que en algunos casos el sombreado, la mayor cantidad de materia orgánica así como de agua, no influían en la supervivencia de esta especie, por lo que concluyeron que la relación entre la supervivencia de las plántulas, los nutrientes del suelo y la irrigación no es del todo clara.

En general, la supervivencia se vio negativamente afectada durante los meses de diciembre y enero en las condiciones de luz de la casa de sombra. Probablemente niveles de radiación insuficientes para alcanzar el punto de compensación lumínico (cfr. Fig. 5) pudieron haber afectado a las plántulas de *C. chrysacanthus* y *S. stellatus*, dado que sus altas mortalidades se registraron sólo en casa de sombra. Por otro lado, todas las plántulas

de *C. hoppenstedtii* murieron tanto dentro como fuera de la casa de sombra, sugiriendo una alta sensibilidad al frío, independientemente de las condiciones de sombra.

Para los objetivos de cultivo se concluye que no es necesario ningún tratamiento especial para obtener los mejores porcentajes de germinación en cualquiera de las cinco especies. El aporte de agua constante es suficiente para este fin. Teniendo en cuenta la supervivencia, la especie más aconsejable para su cultivo es *Wilcoxia viperina*, ya que en todas las condiciones experimentadas fue la que presentó un mayor número de plántulas vivas después de 11 meses de cultivo.

Los resultados del trabajo muestran que el cultivo de especies de valor ornamental bajo condiciones tecnológicas y económicas accesibles a las poblaciones locales es una alternativa viable que puede contribuir a la conservación de esas especies al reducir la presión de extracción sobre individuos establecidos en las poblaciones naturales. El único impacto sobre las poblaciones sería el de la colecta de semillas. La construcción de casas de sombras rústicas y los requerimientos de riego del cultivo a escala familiar están al alcance de los pobladores locales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT por el financiamiento recibido a través del Proyecto 1192-N903; a E. Ezcurra por el libre acceso al vivero que el Centro de Ecología (UNAM) posee en Zapotitlán y por útiles discusiones; a Ninfa Portilla por su asesoramiento en los análisis de suelos; a Eberardo Castillo por su ayuda en el trabajo de campo; a Luis Eguiarte, María del Carmen Mandujano, Oscar Briones, Rodolfo Dirzo, Héctor Godínez, Alfonso Valiente y Víctor Rico por útiles discusiones y sugerencias. Dos revisores anónimos contribuyeron a clarificar el texto.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, A., J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 217 pp.
- Aguilera H., N. 1970. Suelo de las zonas áridas de Tehuacán, Pue. y sus relaciones con las cactáceas. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 15: 51-63.
- Baskin, J. M. y C. C. Baskin. 1972. Germination characteristics of *Diamorpha cymosa* seeds and an ecological interpretation. Oecologia (Berlin) 10: 17-28.
- Bravo, H. 1978. Las cactáceas de México Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 pp.
- Bravo, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 404 pp.
- Byers, D. S. 1967. Climate and hydrology. In: Byers, D.S. (ed.). The prehistory of the Tehuacan Valley. I. Environment and subsistence. Univ. of Texas Press. Austin. pp. 48-65.
- CITES. 1990. Appendices to the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. U. S. Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior. Washington, DC. 25 pp.

- Dávila, P., J. L. Villaseñor, R. Medina, A. Ramírez, A. Salinas, J. Sánchez y P. Tenorio. 1993. Listados florísticos de México. X. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 195 pp.
- Dixon, W. G., M. B. Brown, L. Engelman, M. A. Hill y R. I. Jennrich. (eds.). 1988. BMDP Statistical software manual. Vol. 1. University of California Press. Los Angeles, California. 619 pp.
- Franco, A. C. y P. S. Nobel. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77: 870-886.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 246 pp.
- Godínez, H. 1991. Propagación de cactáceas por semilla: una experiencia para su cultivo y conservación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 47 pp.
- Hernández, H. M. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.
- Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination: an agronomic view. In: Khan, I. (ed.). *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. Elsevier. Amsterdam. 428 pp.
- Martínez, E. 1983. Germinación de semillas de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxbaum (pitayo de mayo). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 28: 51-55.
- Mayer, A. M. y Y. Shain. 1974. Control of seed germination. *Annual Review of Plant Physiology* 25: 167-193.
- McDonough, W. T. 1964. Germination responses of *Carnegiea gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*. *Ecology* 45: 155-159.
- Nobel, P. S. 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, Massachusetts. 270 pp.
- Primack, R. B. 1993. *Essentials of conservation biology*. Sinauer Ass. Inc. Sunderland, Massachusetts. 564 pp.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1981. *Biometry*. W. H. Freeman & Co. San Francisco, California. 859 pp.
- Steenbergh, W. H. y C. H. Lowe. 1969. Critical factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at the Saguaro National Monument, Arizona. *Ecology* 50: 825-834.
- Turner, R. M., S. M. Alcorn, G. Olin y J. A. Booth. 1966. The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette* 127: 95-102.
- Turner, R. M., S. M. Alcorn y G. Olin. 1969. Mortality of transplanted saguaro seedlings. *Ecology* 50: 835-844.
- Valiente, A. y E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neubuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- Williams, P. M. y I. Arias. 1978. Physio-ecological studies of plant species from the arid and semiarid regions of Venezuela. I. The role of endogenous inhibition in germination of the *Cereus griseus* (Haw.) Britton et Rose (Cactaceae). *Acta Científica Venezolana* 29: 83-92.
- Zavala, J. A. 1982. Estudios ecológicos en el valle semiárido de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 200 pp.