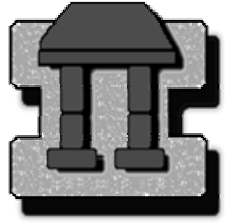


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA



**“Aspectos demográficos de *Strombocactus disciformis* y
Turbinicarpus pseudomacrochele (Cactaceae): una
contribución al conocimiento de su estado actual de
conservación”**

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

RICARDO XAVIER ALVAREZ ESPINO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. HECTOR GODINEZ ALVAREZ

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Ecología de la Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO) de la FES Iztacala bajo el financiamiento de la CONABIO (Proyecto V039).

Quiero dedicarlo con toda gratitud a mi mamá (Ma. Esther Espino), a mi papá (Raúl Alvarez), a mi abuelita (Rufina Hernández) y a mis tías (Gregoria y Lucia Espino) por apoyarme siempre que fue necesario. Por supuesto agradezco también a mis hermanos y a todos los integrantes de las familias Espino/Portilla, Ibarra y Aragón por la confianza brindada.

Agradezco el apoyo ofrecido para la realización de este trabajo a: Ulises Guzmán, por su colaboración en el trabajo de campo, a mis amigos Jennie Suárez, Andrés Rodríguez, Alberto Juárez, Raúl Carmolinga y a mi primo Xavier Espino por su valiosa cooperación durante el trabajo pesado en Hidalgo y Querétaro.

Se agradecen los comentarios y sugerencias realizadas por los miembros del jurado: Dra. Patricia Dávila, Dr. Rafael Lira, Biól. Antonio Meyrán y Biól. Marcial García.

Agradecimientos especiales merece el Dr. Héctor Godínez Alvarez, quien me otorgó apoyo absoluto y sin prejuicios en todas las etapas del trabajo de tesis, además de influir de forma importante en mi formación profesional, por ser una gran persona y un ejemplo a seguir.

Y por último gracias a Claudia Gijón por permanecer a mi lado a pesar de los momentos caóticos y por hacer la existencia más placentera.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Características de las Especies Estudiadas	7
Área de Estudio	8
Densidad, Estructura de Tamaños y Patrón de Distribución	9
Hábitat	11
Fenología Reproductiva y Visitantes Florales	12
Germinación y Supervivencia	12
RESULTADOS	15
Densidad, Patrón de Distribución y Estructura de Tamaños	15
Hábitat	18
Fenología Reproductiva y Visitantes Florales	24
Germinación y Supervivencia	30
DISCUSIÓN	35
REFERENCIAS	41

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron algunos aspectos demográficos de las cactáceas *Strombocactus disciformis* y *Turbinicarpus pseudomacroechele*, para obtener información actualizada sobre su estado de conservación. Además, con esta información se determinó si algunas etapas del ciclo de vida limitan la permanencia de sus poblaciones en condiciones naturales. El trabajo se realizó en varias localidades de los estados de Hidalgo y Querétaro en donde existen algunas poblaciones de estas especies. Los resultados obtenidos mostraron que ambas especies crecen agregadas en suelos desprovistos de vegetación o en grietas de rocas, en donde presentan densidades relativamente altas (*S. disciformis*: 13-39 ind/m², *T. pseudomacroechele*: 1-6 ind/m²). No obstante lo anterior, la estructura de tamaños de las dos especies mostró que existe un bajo reclutamiento de nuevos individuos en las poblaciones. La reproducción se presenta de enero a junio. Las flores son visitadas por varias especies de insectos y los frutos presentaron un número variable de semillas (*S. disciformis*: 624-690, *T. pseudomacroechele*: 25-33). El porcentaje de germinación en condiciones controladas fue de 25-82% para *S. disciformis* y de 37-67% para *T. pseudomacroechele*. La mortalidad de las plántulas en condiciones naturales es alta debido a que después de 250 días no existían sobrevivientes de ninguna de las dos especies. La información obtenida sugiere que la producción y germinación de las semillas, así como la sobrevivencia de las plántulas de *S. disciformis* y *T. pseudomacroechele*, son las etapas del ciclo de vida que podrían limitar el reclutamiento de nuevos individuos y, por tanto, el mantenimiento de las poblaciones.

INTRODUCCIÓN

México es actualmente el país con mayor diversidad de cactáceas ya que se estima que en el territorio nacional existen más de 500 especies repartidas en cerca de 48 géneros. Además de esta gran diversidad, existe un alto grado de endemismo a nivel genérico (73%) y específico (78%) (Hernández y Godínez-Alvarez, 1994).

Debido a esta gran diversidad y endemismo, muchas especies de cactáceas han sido constantemente comercializadas como plantas de ornato dentro y fuera del país, provocando que en la actualidad un alto número de especies presenten problemas de conservación. En este sentido, la mayoría de las especies que se encuentran amenazadas se caracterizan por presentar una distribución geográfica restringida y poblaciones pequeñas. Además de lo anterior, estas especies presentan crecimiento lento y ciclos de vida largos por lo que su habilidad para reestablecerse después de un evento de perturbación es limitada (Hernández y Godínez-Alvarez, 1994). Estudios sobre la demografía de las cactáceas han propuesto que la germinación y el establecimiento son las fases más críticas del ciclo de vida (Steenbergh y Lowe, 1969). La sobrevivencia en estas etapas depende tanto de las interacciones con otras especies de plantas y animales, así como de características específicas del microhábitat (Godínez-Alvarez *et al.*, 1999; Rojas-Aréchiga y Vásquez-Yanes, 2000). Debido a lo anterior, las cactáceas son un grupo de plantas altamente vulnerable a las perturbaciones ambientales.

La información existente sobre el estado de conservación de la mayoría de las especies de la familia Cactaceae es incompleta, debido a que los trabajos realizados hasta el momento han considerado solamente algunos aspectos tales como la densidad, el patrón de distribución y la estructura de tamaños de las poblaciones (Huerta y Escobar, 1998; Martínez *et al.*, 1993, 1994; Martínez *et al.*,

2001; Sutton *et al.*, 1997; Valverde *et al.*, 1999). Además, la mayoría de los estudios han sido realizados con cactáceas columnares por lo que se desconoce el estado actual de especies del grupo con otras formas de crecimiento. En este último grupo, existe un alto número de especies amenazadas que actualmente están sujetas a una gran presión de colecta como son: *Aztekium ritteri*, *Ariocarpus trigonus*, *Ariocarpus kotschoubeyanus*, *Lophophora diffusa*, *Mammillaria oteroi*, *Turbincarpus schmiedickeanus*, entre muchas otras (Hunt, 1999).

Recientemente, estudios realizados con distintas plantas amenazadas han sugerido que, para tener un mayor conocimiento sobre el estado de conservación de las especies, es necesario obtener información sobre las etapas más críticas del ciclo de vida y como influyen estas en la tasa de crecimiento poblacional (Palmer, 1987; Schemske *et al.*, 1994; Ehrlén y Groenendael, 1998). Algunas de las características que son importantes de evaluar incluyen variables vegetativas (*i.e.*, el número y/o tamaño de las plantas) y reproductivas (*i.e.*, el número de plantas que florecen y el número de flores o frutos por planta), las cuales son componentes necesarios para el conocimiento de la historia de vida de las plantas (Solbrig 1980; Palmer, 1987). De estas variables, el estudio de las semillas, plántulas y plantas jóvenes, junto con el monitoreo de los individuos reproductivos, son los mejores indicadores de los cambios demográficos en las poblaciones de plantas con problemas de conservación (Pavlik, 1997). Es necesario estudiar este tipo de características en distintas poblaciones, con el fin de obtener un mejor indicador del estado actual de conservación de las especies.

Strombocactus disciformis y *Turbincarpus pseudomacroechele* son dos cactáceas consideradas como amenazadas en las listas de CITES y la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAP, 2001; Hunt, 1999). Estas especies se encuentran en este rubro debido a diversas actividades humanas como el pastoreo y la extracción de materiales para construcción (Anderson *et al.*, 1994). Sin embargo, la mayor amenaza para sus poblaciones es la extracción ilegal para su venta como plantas

de ornato tanto en México, como en el extranjero. En relación a esto existen evidencias de la venta ilegal de plantas y semillas en varios países, entre los que destacan Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Italia, Japón y República de Checoslovaquia. Además, en años recientes se han asegurado cargamentos de estas plantas en varios estados de la república mexicana, así como en otros países (Benitez y Dávila, 2002).

En este trabajo se estudian algunos aspectos demográficos de *S. disciformis* y *T. pseudomacrole* en distintas poblaciones de los estados de Hidalgo y Querétaro, para obtener información actualizada que contribuya al conocimiento del estado de conservación de estas especies. Los aspectos demográficos analizados consideran distintas características como la densidad poblacional, el patrón de distribución y la estructura de tamaños. Asimismo, se estudió el hábitat que ocupaban las plantas y algunas etapas críticas del ciclo de vida como son la producción de flores y frutos (fenología reproductiva), la germinación de las semillas y la sobrevivencia de plántulas en el campo. Con esta información se conoce de manera general, si estas etapas del ciclo de vida afectan la persistencia de las especies en su hábitat.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de las especies estudiadas

Strombocactus disciformis (DC.) Britton y Rose es una especie cuyo nombre proviene del griego *strombo* que significa trompo y que hace alusión a la forma de su tallo. La especie presenta dos subespecies: *disciformis* y *esperanzae*. Son plantas con tallos globosos en forma de disco y de color verde grisáceo. Su diámetro es de 5-10 cm, con tubérculos romboidales que tienen 1-4 espinas cortas. Las flores aparecen en verano y son blanco-cremosas, con algunos segmentos amarillos. Los frutos tienen forma de barril y se abren longitudinalmente en su parte media para liberar cientos de semillas pequeñas y rojizas. Las semillas tienen un diámetro que oscila entre 0.03 y 0.05 mm, son tuberculadas y presentan estrofiolo (Glass y Foster, 1975; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Anderson *et al.*, 1994). La subespecie *esperanzae* presenta algunas diferencias en el tamaño de su tallo, así como en el color de las semillas y las flores (Glass y Arias, 1996). La distribución de la especie se restringe a algunas zonas de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato (Guzmán *et al.*, 2003). La subespecie *disciformis* se encuentra en Hidalgo en la Barranca de Tolimán, en Ixmiquilpan, en San Pedrito de Los Ángeles y cerca del Río Moctezuma (Sánchez-Mejorada, 1955, 1968; Otero, 1970; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). En Querétaro ha sido reportada en varios sitios de los valles intermontanos de Tolimán, Cadereyta y Peñamiller, particularmente al norte de Vizarrón e Higuierillas, en la cuenca del Río Extorax (Meyrán, 1971; Glass y Foster, 1975; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1978, 1991; Anderson *et al.*, 1994). La subespecie *esperanzae* se distribuye sólo al noreste de Guanajuato (Glass y Arias, 1996; Glass, 1998). El hábitat de esta especie es específico ya que sólo crece sobre laderas con pendientes inclinadas y suelo derivado de calizas, margas o lutitas (Glass y Foster, 1975; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Anderson *et al.*, 1994).

Turbinicarpus pseudomacrochele (Backeberg) F. Buxbaum y Backeberg es el representante del género que se localiza más al sur dentro del Desierto Chihuahuense. Se conocen 4 subespecies: *pseudomacrochele*, *krainzianus*, *lausseri* y *minimus*. (Guzmán *et al.*, 2003). Son plantas pequeñas de tallo globoso de 2-3 centímetros de diámetro y de color verde pálido u oscuro. Sus tubérculos son de 6-8 mm con 5-8 espinas cespitosas. Las flores son de 3-5 centímetros de diámetro de color blanco-rosado, blanco o amarillo-crema, los segmentos del perianto regularmente tienen una vena media oscura de color amarillo-rosado a púrpura. El fruto es ovoide o globoso de color rojizo cuando madura. Los frutos maduros se abren por una hendidura media longitudinal de la que salen las semillas, de color negro, tuberculadas de 1.7 mm de diámetro (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Anderson *et al.*, 1994). La distribución de esta especie se restringe únicamente a algunos sitios de los estados de Hidalgo y Querétaro, aunque existen registros en San Luis Potosí. En particular, se ha registrado a estas plantas cerca de las localidades de Bernal en Querétaro, Ixmiquilpan en Hidalgo y Loma Bonita en S. L. P. (Meyrán, 1971; Glass y Foster, 1977; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Anderson *et al.*, 1994; Guzmán, *et al.*, 2003). Esta cactácea se presenta solo en pequeñas colinas y crece en suelo y rocas de origen calcáreo.

Área de Estudio

Para el estudio de *S. disciformis* se consideraron tres localidades ubicadas en el estado de Querétaro, concretamente al norte de Vizarrón y entre los poblados de Higuierillas y Peña Blanca. Las localidades se denominaron para este trabajo como: 1) Vizarrón, 2) Peña Blanca 1 y 3) Peña Blanca 2; en las tres localidades se encuentra solo la subespecie *disciformis*. En términos generales, Vizarrón se localiza a 1897 msnm, Peña Blanca 1 a 1420 msnm y Peña Blanca 2 a 1432 msnm. Estos sitios se caracterizan por presentar una pendiente pronunciada, suelo de origen calcáreo y un clima semiárido templado (Hernández, 1992). La precipitación promedio anual varía entre 380 y 470 mm, la máxima precipitación se presenta de junio a septiembre y las temperaturas anuales son de 18 a 22° C

(García, 1973; Zamudio, *et al.*, 1992). El principal tipo de vegetación es el matorral xerófilo en el que algunas de las especies dominantes son: *Machaonia coulteri*, *Larrea tridentata*, *Prosopis grandulosa*, *Hechtia glomerata*, *Jatropha dioica*, *Echinocactus platyacanthus*, *Thelocactus leucacanthus*, *Astrophytum ornatum*, *Lophophora difusa*, *Coryphantha erecta*, *Fouquieria splendens*, *Opuntia microdasys*, *O. imbricata*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Stenocereus sp.* (Rzedowski, 1978; Anderson *et al.*, 1994).

En el caso de *T. pseudomacrolele* también se consideraron tres localidades ubicadas en los estados de Hidalgo y Querétaro. Estas localidades se denominaron como: 1) Bernal (Querétaro), 2) Ixmiquilpan (Hidalgo) y 3) Zimapán (Hidalgo); en Bernal e Ixmiquilpan se localiza la subespecie *pseudomacrolele*, mientras que en Zimapán la subespecie *Krainzianus*. De manera general, los sitios se localizan a una altitud de 2092, 2077 y 1845 msnm, respectivamente. Bernal tiene un clima semiárido templado, mientras que Zimapán e Ixmiquilpan presentan un clima árido semicálido (Hernández, 1992). El periodo de máxima precipitación se presenta entre junio y octubre, la precipitación media anual varía de 350 a 570 mm y la temperatura promedio anual oscila entre 16.5 a 22° C (García, 1973; Zamudio *et al.*, 1992). El tipo de vegetación dominante es el matorral xerófilo con algunas especies dominantes como: *Agave americana*, *Echinocactus platyacanthus*, *Fouquieria splendens*, *Opuntia imbricata*, *Astrophytum ornatum*, *Mammillaria elongata* y *Mimosa sp.* (Rzedowski, 1978; Anderson, *et al.*, 1994).

Densidad, Estructura de Tamaños y Patrón de Distribución

Para conocer la situación actual de las poblaciones de *Strombocactus disciformis* y *Turbinicarpus pseudomacrolele* se estimó la densidad, estructura de tamaños y patrón de distribución espacial en las tres localidades seleccionadas para cada especie. Para esto, en cada localidad se realizaron 10-20 cuadrantes de 1m² tratando de abarcar la mayor proporción del área en la que se encontraban los individuos de estas especies. En cada cuadrante se contó el número total de

plantas y se midió con un vernier digital el diámetro de cada una de las ramas. El diámetro total de cada planta se estimó como la suma de los diámetros de todas las ramas. La densidad se estimó como el número de plantas por metro cuadrado en cada localidad y se comparó mediante una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias significativas.

Para estimar la estructura de tamaños de las poblaciones, las plantas se clasificaron en categorías de tamaño según su diámetro total. En *S. disciformis* las categorías empleadas fueron: 0-5 mm, 5-10 mm, 10-15 mm, 15-20 mm, 20-25 mm, 25-30 mm, 30-35 mm, 35-40 mm, 40-45 mm, 45-50 mm y >50 mm. Por otra parte, las categorías utilizadas para *T. pseudomacrochele* fueron: 0-10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm, 40-50 mm, 50-60 mm, 60-70 mm, 70-80 mm, 80-90 mm, 90-100 mm, 100-150 mm, 150-200 mm, 200-250 mm, 250-300 mm. En ambas especies, las categorías se definieron considerando el rango de los datos, así como el número de individuos por categoría de tamaño. Las estructuras de tamaño fueron comparadas mediante una prueba de χ^2 para establecer si existían diferencias significativas entre las distintas localidades de *S. disciformis*. Debido al bajo número de individuos muestreados en *T. pseudomacrochele* no fue posible realizar una prueba estadística confiable (Siegel, 1982).

Para evaluar el patrón de distribución espacial se utilizó el número de plantas por cuadrante de cada una de las localidades. El patrón de distribución de ambas especies se determinó con base en el coeficiente de dispersión (Greig-Smith, 1983) el cual se calculó como: $C. D. = s^2/\bar{x}$ en donde s^2 y \bar{x} son la varianza y la media del número de plantas por cuadrante para cada localidad. Esta prueba se basa en la igualdad de la varianza y la media de la distribución de Poisson. Si el C. D. es igual a 1 (*i. e.*, $s^2 = \bar{x}$) las plantas se distribuyen de forma azarosa, si es menor a 1 (*i. e.*, $s^2 < \bar{x}$) indica una distribución regular y si es mayor a 1 (*i. e.*, $s^2 > \bar{x}$) una distribución contagiosa o agregada. Para determinar si el valor del C. D. difería significativamente de la unidad, se calculó el índice de dispersión (I. D.) (Greig-Smith, 1983) multiplicando el C. D. por el número de cuadrantes - 1. El I. D. se

distribuye de manera similar a la distribución de probabilidades de *ji* cuadrada por lo que si el valor calculado se encontraba dentro de los límites 0.975-0.025 el I. D. no era diferente de la unidad. Si el valor calculado era mayor que el límite 0.025 entonces el I. D. era significativamente menor a la unidad mientras que si era mayor al límite 0.975 entonces el I. D. era significativamente mayor a 1.

Hábitat

El hábitat ocupado por *S. disciformis* y *T. pseudomacrochele* se determinó con base en censos realizados en campo para estimar la disponibilidad de distintos tipos de hábitat. Para esto, en cada localidad, se realizaron 2-4 líneas de Canfield de 10-30 metros de largo en las que se registró la longitud ocupada por los siguientes hábitats: a) Grietas presentes en rocas, b) Suelo desprovisto de vegetación, c) Suelo cubierto por hierbas y d) Suelo cubierto por árboles y arbustos. El número de líneas de Canfield y su longitud se determinó de acuerdo con el área disponible en cada localidad. Con base en la longitud ocupada por cada hábitat con respecto a la longitud total de las líneas de Canfield, se calculó la proporción de los distintos hábitats disponibles para cada una de las especies. Para conocer si las especies ocupaban el hábitat de manera proporcional a su disponibilidad, se contó el número de plantas presente en cada una de las distintas categorías consideradas. Utilizando la proporción disponible de los distintos hábitats en cada localidad y el número total de plantas contadas, se estimó el número de individuos que se esperaba encontrar si la distribución fuera al azar (*i. e.*, sin ninguna preferencia de hábitat).

Estos valores se compararon con el número de plantas observado en los distintos hábitats mediante una prueba de χ^2 , para determinar si existían diferencias significativas. La hipótesis nula consideró que no existían diferencias entre el número de plantas esperadas y observadas en los distintos hábitats.

Fenología Reproductiva y Visitantes Florales

Para determinar la época de floración y fructificación de ambas especies se realizaron censos en cada una de las poblaciones cada 2-4 semanas para registrar el número de botones, flores y frutos producidos por individuo. Estos monitoreos comenzaron en diciembre de 2001 y tuvieron una duración de 6-8 meses. El número de plantas marcadas en *S. disciformis* fue de 77-208 mientras que en *T. pseudomacrochele* se marcaron 21-74, según la localidad.

Durante la época de floración se realizaron observaciones para conocer los principales organismos que visitaban las flores de ambas especies. En cada localidad se seleccionaron grupos de 1-4 plantas con flores para registrar la hora en que se presentaban las visitas así como para coleccionar los visitantes florales. Las observaciones se realizaron de las 10:00 h a las 17:00 h, ya que durante este periodo las flores permanecían abiertas. Para cada una de las localidades, las observaciones fueron realizadas por dos personas a lo largo del día, totalizando 14 horas por localidad. Con los registros anteriores se estimó el número de visitas por hora y se determinó el grupo al que pertenecía cada organismo coleccionado.

Germinación y Sobrevivencia

Para evaluar la germinación y sobrevivencia de ambas especies, se realizaron experimentos en el laboratorio y en el campo. En el caso de la germinación, se coleccionaron frutos maduros de al menos 30 plantas distintas para contar el número de semillas/fruto. Estos datos se compararon mediante una prueba de Kruskal-Wallis para saber si existían diferencias significativas entre las localidades. Posteriormente, con estas semillas se llevaron a cabo experimentos de laboratorio para determinar el porcentaje de germinación. Las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 30% durante 5 minutos y se lavaron con agua corriente y agua destilada. La unidad experimental consistió en una caja Petri con papel filtro

(Whatman No.1) y 25 semillas cada una. Para cada localidad se realizaron ocho réplicas. Las cajas se colocaron en una cámara ambiental (Environmental Growth Chambers, model EGC TC2) con temperatura constante de 25° C, luz fluorescente y fotoperiodo de 12 horas luz / 12 horas oscuridad. Las cajas se revisaron diariamente para registrar el número de semillas germinadas y en caso de ser necesario para adicionar agua destilada para mantener una humedad constante. Una semilla se consideró germinada al observarse la emergencia de la radícula. Para conocer si existían diferencias significativas entre las distintas localidades se realizó un análisis de varianza de una vía. La proporción de semillas germinadas se transformó con el arcoseno (*i. e.*, $p' = \sin^{-1} \sqrt{p}$, en donde p = proporción de semillas germinadas) para cumplir con los supuestos del análisis de varianza (Sokal y Rohlf, 1995). La hipótesis nula consideró que no existían diferencias en la proporción de semillas germinadas entre las localidades. Adicionalmente, se estimó el índice de germinación de Scott (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996), el cual relaciona la velocidad de germinación con el número de semillas sembradas. La fórmula empleada para calcular este índice fue: $IG = \Sigma(n_i t_i) / N$, donde IG = índice de germinación, n_i = número de semillas germinadas el día i , t_i = número de días después de la siembra y N = total de semillas germinadas. Para cada especie, los índices de germinación de las tres poblaciones se compararon mediante una prueba de Kruskal-Wallis para saber si existían diferencias significativas.

La sobrevivencia de las plántulas se evaluó a través de experimentos en campo, el diseño experimental fue similar en ambas especies aunque con algunas variaciones. En el caso de *T.pseudomacrochele*, las plántulas obtenidas en el experimento de germinación se transplantaron a charolas de plástico que contenían suelo de cada localidad. En *S. disciformis*, el procedimiento fue distinto ya que las plántulas son de tamaño pequeño (~1 mm), lo cual dificulta el transplante. Por lo tanto, en este caso las semillas fueron sembradas directamente en charolas de plástico con suelo de cada localidad. Estas charolas se mantuvieron en condiciones de laboratorio hasta obtener las plántulas

necesarias para el experimento en campo. La unidad experimental consistió en una charola de plástico con 30 plántulas para *T. pseudomacrochele* y 50 plántulas para *S. disciformis*. Para cada localidad se utilizaron dos réplicas. Idealmente, las plántulas deberían haber sido llevadas a sus localidades correspondientes, sin embargo, para evitar problemas logísticos y tener mayor control sobre los factores que afectan la sobrevivencia, estas fueron trasladadas a una sola localidad. En *T. pseudomacrochele*, las plántulas se llevaron a la localidad de Zimapán (Hidalgo) en tanto que las de *S. disciformis* fueron trasladadas a Peña Blanca 1 (Querétaro). Las plántulas de ambas especies fueron colocadas debajo de arbustos, con el propósito de simular la sombra que brindan las grietas de las rocas en los primeros estadios. Los experimentos de campo comenzaron el 4 de Septiembre del 2002. Se realizaron censos de las plántulas cada 15-30 días para contar el número de plántulas vivas. Para cada especie, las curvas de sobrevivencia de cada localidad fueron comparadas a través del análisis de Peto y Peto (Pike y Thompson, 1986) para conocer si existían diferencias significativas.

RESULTADOS

Densidad, Patrón de Distribución y Estructura de Tamaños

La densidad de *S. disciformis* varió en las distintas localidades estudiadas aunque no se observaron diferencias significativas ($\text{Chi}^2 = 0.436$, g. l. 2, $p = 0.804$). La población de Vizarrón presentó la mayor densidad de individuos por metro cuadrado (39.8 ± 14.7 , 15; promedio \pm e. s., n), mientras que en Peña Blanca 1 se observó la menor densidad (13.0 ± 3.1 , 14). En la localidad de Peña Blanca 2 se obtuvieron valores de densidad intermedios (16.3 ± 3.8 , 10). En las tres localidades estudiadas se encontró que los individuos presentaron principalmente un patrón de distribución agregado (Tabla 1).

Los datos sobre la estructura de tamaños de *S. disciformis* mostraron que el número de individuos disminuye al aumentar el tamaño, con excepción de los individuos menores a 5 mm. Los individuos de esta categoría de tamaño estuvieron prácticamente ausentes en todas las poblaciones ya que representaron menos del 3.8% del total de los individuos (Fig. 1). No obstante que este comportamiento fue similar en todas las poblaciones, la prueba de Kruskal-Wallis mostró que existen diferencias significativas ($\text{Chi}^2 = 148.18$, g. l. 20, $p < 0.0001$). Estas diferencias se deben a que las poblaciones de Peña Blanca 1 y Peña Blanca 2 presentan una alta proporción de individuos mayores a 40 mm, en tanto que en la población de Vizarrón éstos individuos no existen (Fig. 1).

Por otra parte, en *T. pseudomacrochele* la densidad presentó diferencias significativas en las distintas poblaciones ($\text{Chi}^2 = 8.41$, g. l. 2, $p = 0.015$). Zimapán (5.53 ± 1.07 , 15) y Bernal (1.76 ± 0.3 , 13) presentaron el mayor y el menor número de individuos, mientras que Ixmiquilpan presentó valores intermedios (3.45 ± 0.56 , 22). Asimismo, el patrón de distribución fue agregado en Zimapán

e Ixmiquilpan, mientras que en Bernal fue aleatorio, probablemente debido al bajo número de plantas muestreadas en esta población (Tabla 2).

La estructura de tamaños de *T. pseudomacrochele* fue diferente en todas las poblaciones analizadas. Sin embargo, debido al bajo número de individuos muestreados no fue posible realizar una prueba estadística confiable. En las poblaciones de Bernal e Ixmiquilpan las categorías de tamaño de 0-30 mm fueron las que presentaron el mayor número de individuos concentrando el 60-90 % de los individuos (Fig. 2). Por el contrario, la población de Zimapán presentó individuos en todas las categorías de tamaño, aunque la mayor proporción (60%) se observó también en las categorías de 0-30 mm. No obstante estas diferencias, en todas las poblaciones el número de individuos menores a 10 mm fue bajo.

Tabla 1. Patrón de distribución espacial de *S. disciformis* en tres localidades del estado de Querétaro.

LOCALIDAD	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN	N	ÍNDICE DE DISPERSIÓN	VALORES CRITICOS 0.975-0.025	PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN
Vizarrón	81.65	15	1143.1	6.57-23.68	Agregado
Peña Blanca 1	10.42	14	135.46	5.89-22.36	Agregado
Peña Blanca 2	8.84	10	79.56	3.32-16.92	Agregado

Tabla 2. Patrón de distribución espacial de *T. pseudomacrochele* en tres localidades de los estados de Hidalgo y Querétaro.

LOCALIDAD	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN	N	ÍNDICE DE DISPERSIÓN	VALORES CRITICOS 0.975-0.025	PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN
Bernal (Qro.)	0.96	13	11.5	5.23-21.03	Aleatorio
Zimapán (Hgo.)	3.12	15	43.7	6.57-23.68	Agregado
Ixmiquilpan (Hgo.)	2.17	21	43.4	10.85-31.41	Agregado

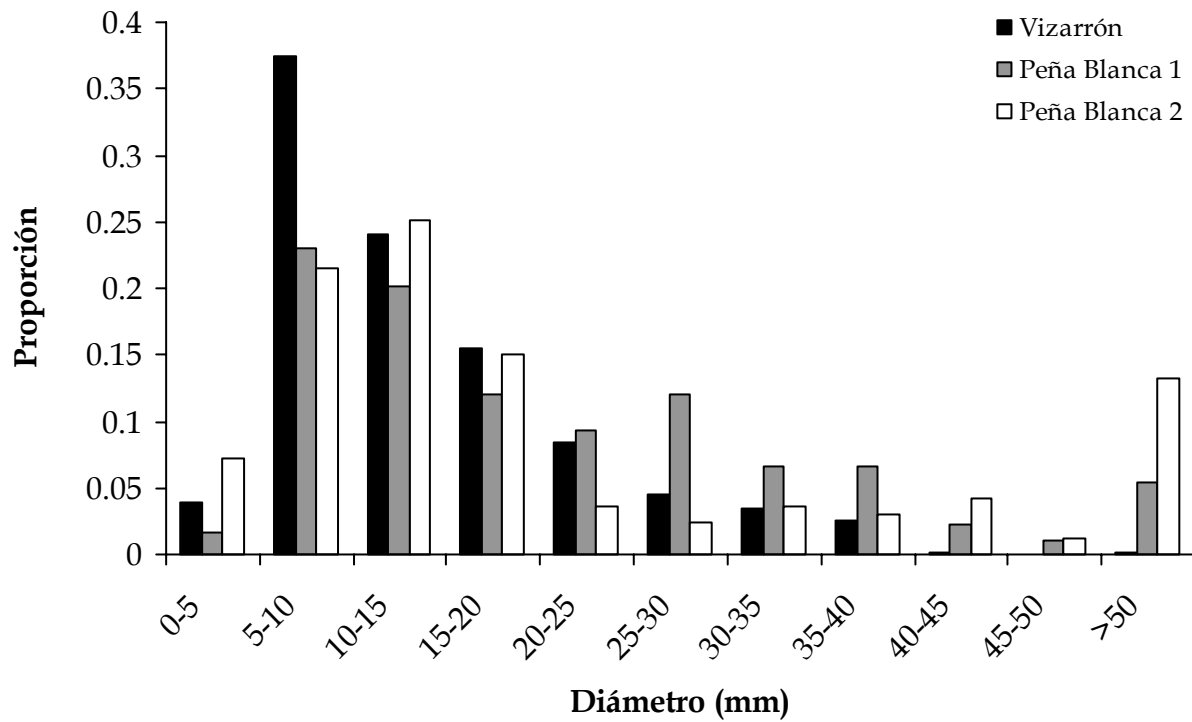


Figura 1. Frecuencia relativa de individuos por categoría de tamaño de *S. disciformis* en tres localidades distintas del estado de Querétaro.

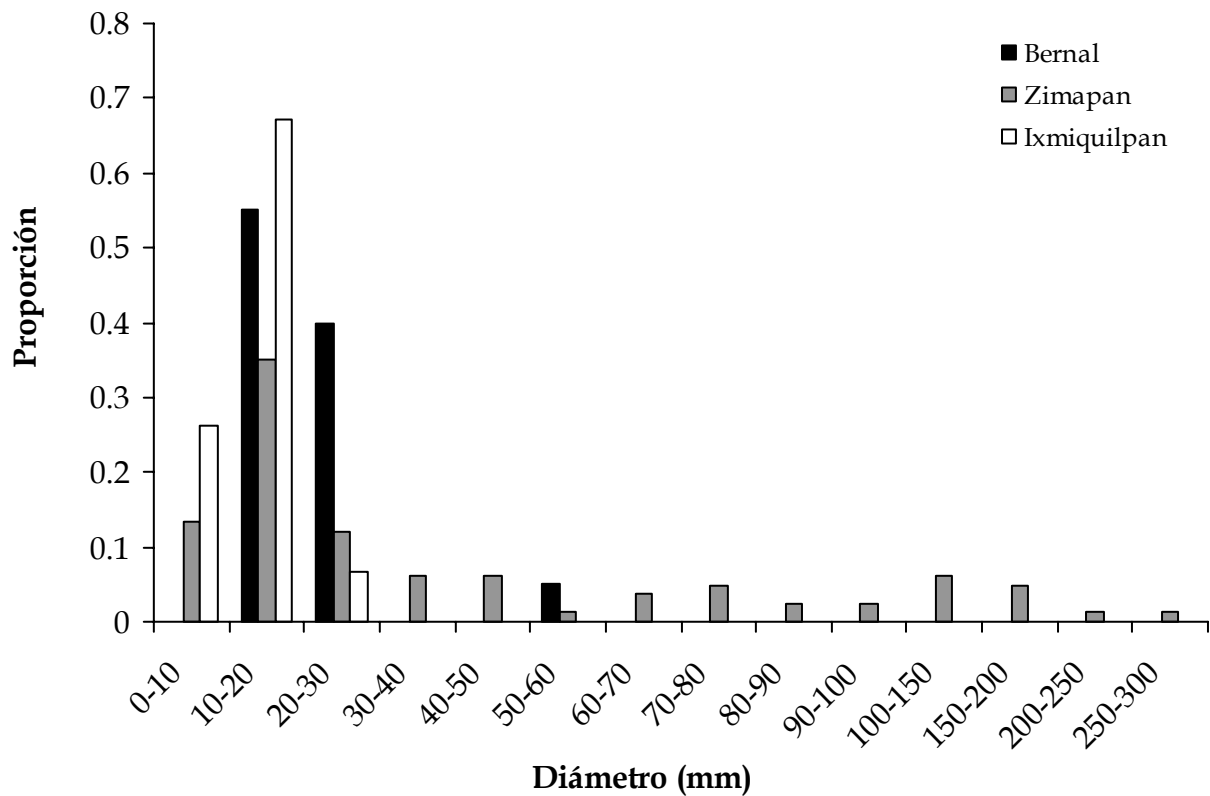


Figura 2. Frecuencia relativa de individuos por categoría de tamaño de *T. pseudomacrolele* en tres localidades distintas de los estados de Hidalgo y Querétaro.

Hábitat

Los resultados obtenidos en las tres localidades de *S. disciformis* muestran que la proporción que ocupan los distintos hábitats considerados (*i.e.*, grietas presentes en rocas, suelo desprovisto de vegetación, suelo cubierto por hierbas y suelo cubierto por árboles y arbustos), es similar en todas las localidades. El suelo desprovisto de vegetación presenta mayor proporción en comparación con los tres hábitats disponibles (Fig. 3). El número de plantas creciendo en suelo desprovisto de vegetación fue mayor que el número de plantas esperado, de acuerdo con la proporción ocupada por este tipo de hábitat (Fig. 4). Por el contrario el número de plantas observado en los otros hábitats fue menor de lo que se esperaba por azar (Vizarrón: $\chi^2 = 3678.62$, g. l. 3, $p < 0.001$; Peña Blanca 1: $\chi^2 = 488.51$, g. l. 2, $p < 0.001$; Peña Blanca 2: $\chi^2 = 122.12$, g. l. 2, $p < 0.001$).

Con respecto a *T. pseudomacrochele*, los datos obtenidos muestran que el hábitat disponible para su crecimiento, varía según las distintas localidades. En Bernal, el suelo cubierto por hierbas ocupó la mayor proporción del hábitat disponible seguido por el suelo cubierto por árboles y arbustos y el suelo desprovisto de vegetación (Fig. 5). Por otra parte, las grietas en rocas y el suelo desprovisto de vegetación fueron los hábitats que ocuparon la mayor proporción en Zimapán e Ixmiquilpan. El número de plantas observadas en los distintos hábitats fue distinto del esperado por azar (Bernal: $\chi^2= 38.8$, g. l. 3, $p < 0.001$; Zimapán: $\chi^2= 263.75$, g. l. 3, $p < 0.001$; Ixmiquilpan: $\chi^2= 32.7$, g. l. 3, $p < 0.001$). Esto sugiere que las plantas de esta especie crecen en ciertos hábitats. Así, en Bernal e Ixmiquilpan, la mayor parte de la población se encuentra creciendo sobre suelo desprovisto de vegetación y en Zimapán preferentemente sobre las grietas de las rocas (Fig. 6).

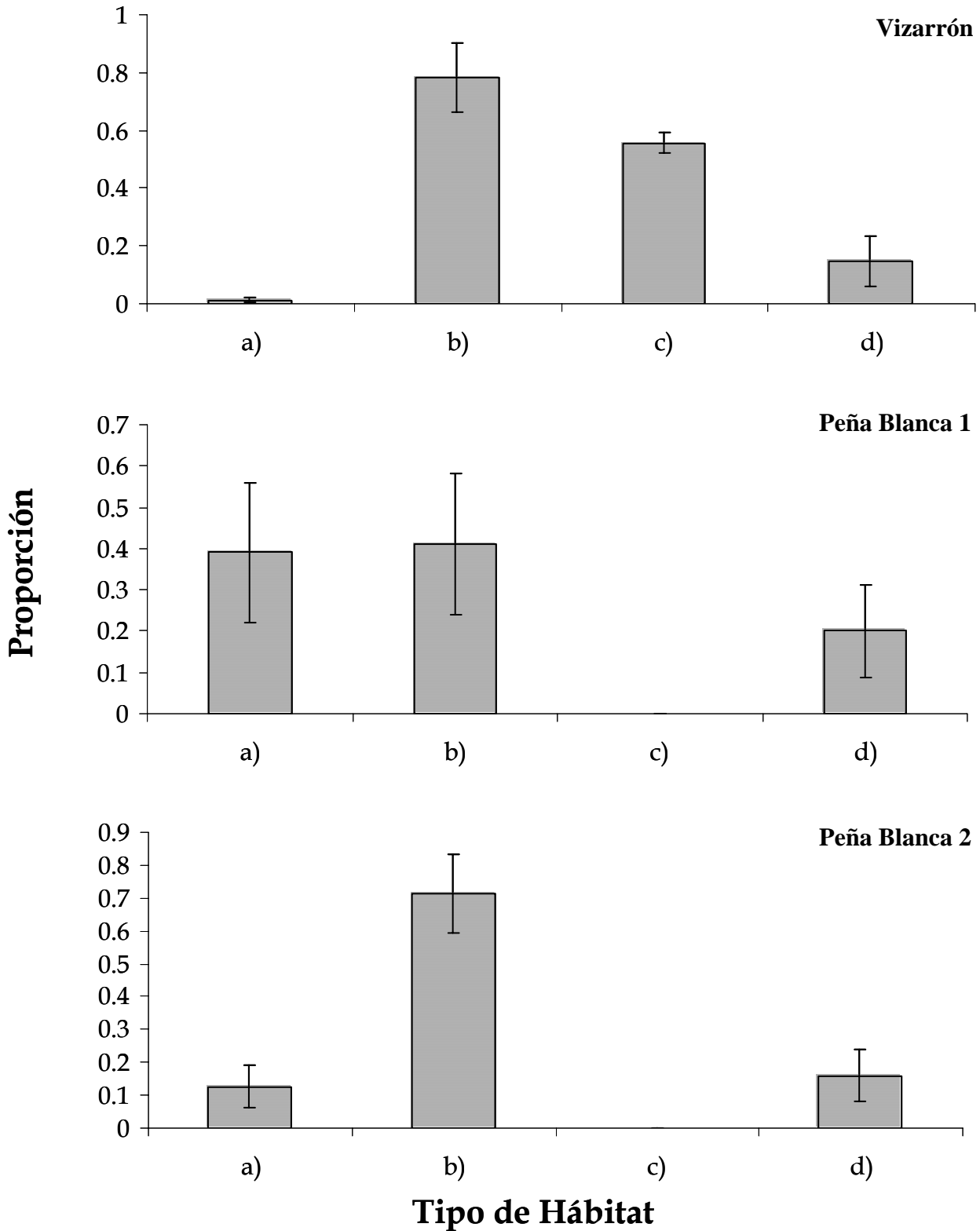


Figura 3. Proporción promedio (\pm error estándar) disponible de distintos tipos de hábitat: a) Grietas presentes en rocas, b) Suelo desprovisto de vegetación, c) Suelo cubierto por hierbas y d) Suelo cubierto por árboles y arbustos, en las localidades de *S. disciformis*.

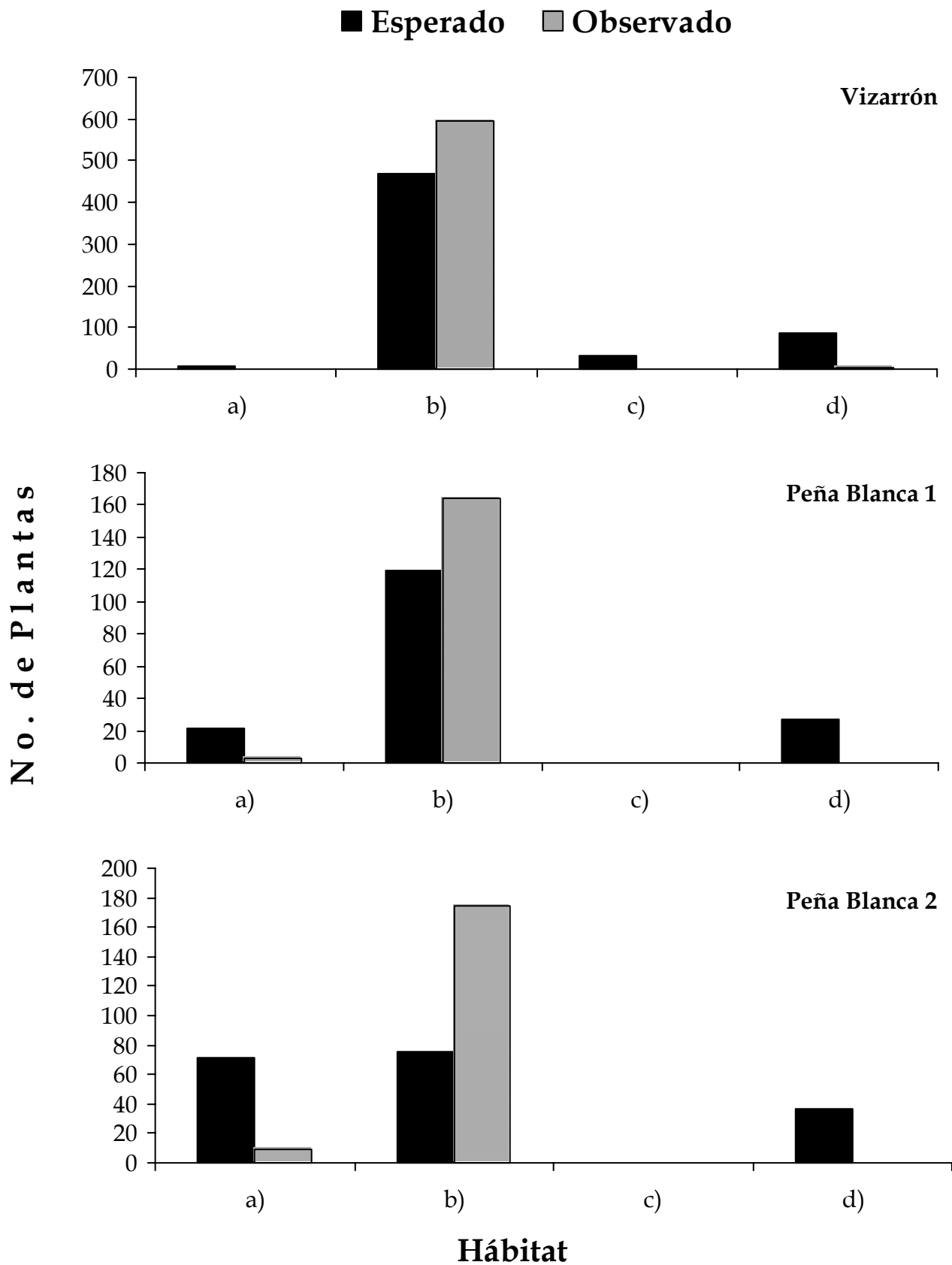


Figura 4. Número de plantas esperado y observado de *S. disciformis* en distintos tipos de hábitat: a) Grietas presentes en rocas, b) Suelo desprovisto de vegetación, c) Suelo cubierto por hierbas y d) Suelo cubierto por árboles y arbustos, presentes en cada localidad.

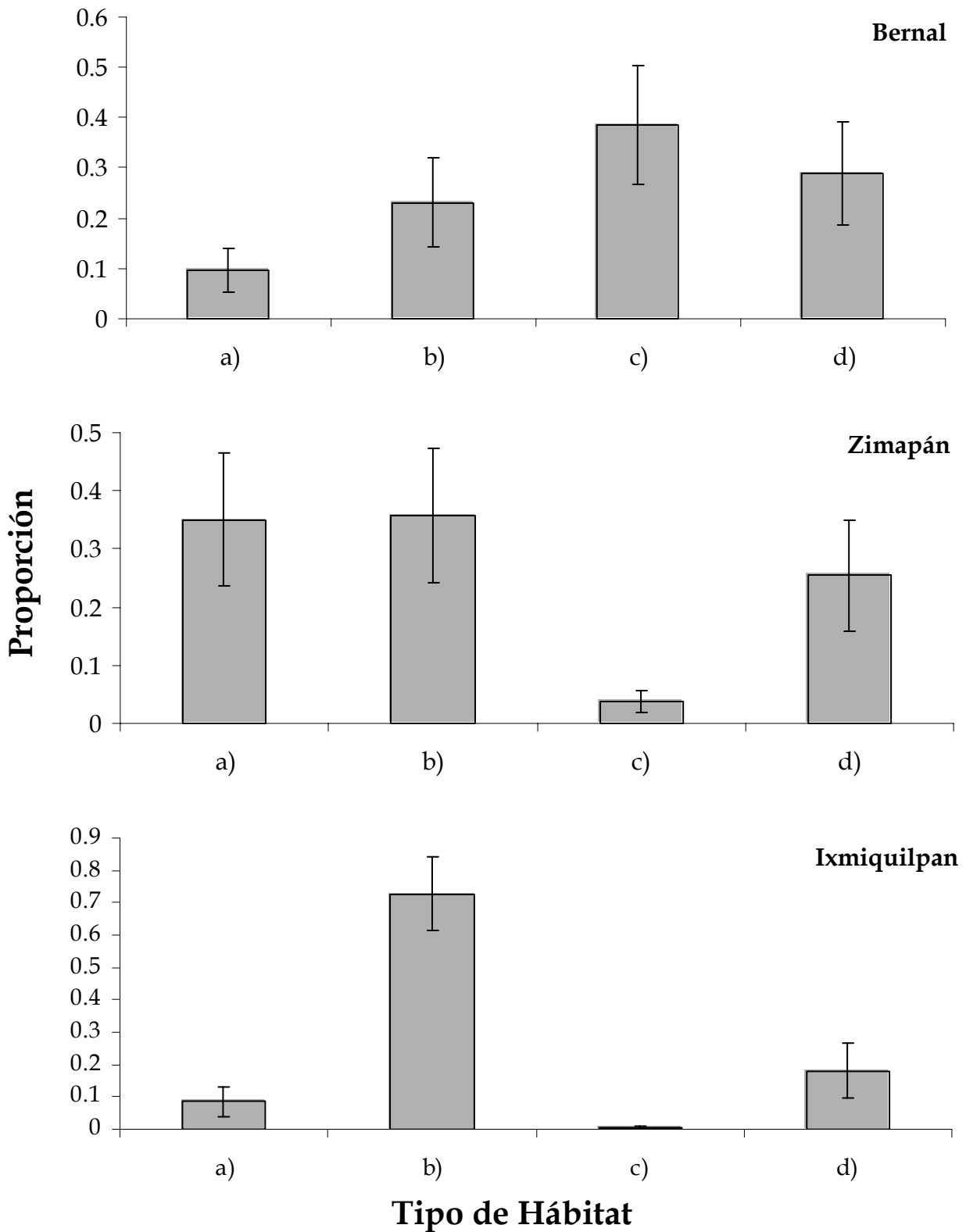


Figura 5. Proporción promedio (\pm e. s.) disponible de distintos tipos de hábitat:: a) Grietas presentes en rocas, b) Suelo desprovisto de vegetación, c) Suelo cubierto por hierbas y d) Suelo cubierto por árboles y arbustos, en las localidades estudiadas de *T. pseudomacroechele*.

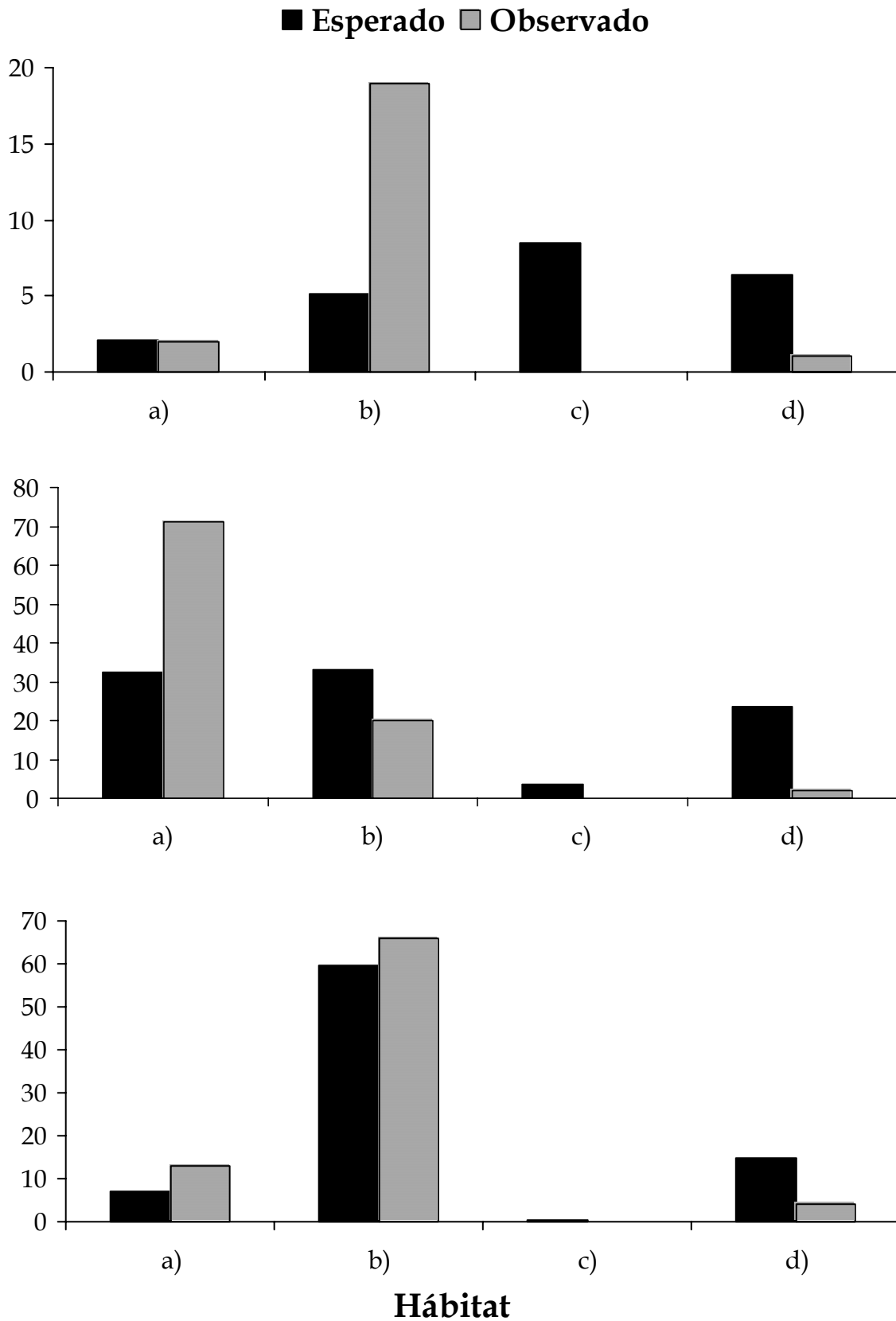


Figura 6. Número de plantas esperado y observado de *T. pseudomacrolele* en distintos tipos de hábitat: a) Grietas presentes en rocas, b) Suelo desprovisto de vegetación, c) Suelo cubierto por hierbas y d) Suelo cubierto por árboles y arbustos, presentes en cada localidad.

Fenología Reproductiva y Visitantes Florales

Durante el estudio de la fenología reproductiva de *S. disciformis* se pudo apreciar que el número de estructuras reproductivas fue variable en las distintas poblaciones. Sin embargo, los registros obtenidos sugieren que el inicio y término de la época de floración y fructificación es similar, de finales de diciembre hasta finales de mayo, respectivamente (Fig. 8). Los primeros registros de botones florales aparecieron a principios de enero, observándose pequeños círculos rojos sobre la lana de la zona apical y diferenciándose después en estructuras más complejas. El mayor número de botones se observó a principios de febrero en los tres sitios. La máxima producción de flores se registró a mediados de febrero en las localidades de Vizarrón y Peña Blanca 1 (Fig. 8a y b), mientras que en Peña Blanca 2 ésta se presentó a finales de enero. Durante los monitoreos se observó que el tiempo aproximado para la maduración de las flores es de 30 días. Con respecto a la producción de frutos, los valores más altos se obtuvieron a principios de marzo y a finales de febrero en Vizarrón y Peña Blanca 1, respectivamente; mientras que en Peña Blanca 2 la máxima producción de frutos se presentó a finales de enero prolongándose hasta mediados de febrero. La maduración de los frutos sucede de manera relativamente rápida, aproximadamente 15-20 días. Se pudo observar que las semillas son esparcidas sobre el tallo de la planta. Del total de plantas marcadas en cada localidad, solo una parte de estas presentaron estructuras reproductivas. Las poblaciones de Vizarrón y Peña Blanca 2 fueron las que presentaron la mayor y menor proporción de plantas con estructuras reproductivas con 62.3% y 27.4% respectivamente, mientras que en Peña Blanca 1 se presentó una proporción de 50.5%.

En las tres localidades, la apertura de las flores se presenta de las 11:00 a las 16:00 h. Las flores se observaron totalmente abiertas a partir de las 12:00, coincidiendo con el mayor número de visitantes florales que se presentó entre las 11:30 y las 14:00 horas en cada localidad (Fig. 7). Los registros de la localidad

de Vizarrón se realizaron en un día nublado y las flores abrieron sólo al despejarse el cielo (alrededor de las 13:00 horas), por lo que el número de visitas florales fue bajo (Fig. 7).

Las flores de esta especie fueron visitadas a lo largo del día por un número variable de insectos pertenecientes a distintos taxa (Tabla 3). Durante los registros del número de visitantes por hora se pudo apreciar que las morfoespecies del orden *Hymenoptera* se presentan con mayor frecuencia que cualquier otro insecto. En todas las localidades se observaron pocas flores sin polinizar.

En *T. pseudomacrolele* el número de estructuras reproductivas por planta fue variable en las poblaciones estudiadas, aunque la época de floración y fructificación fue similar. La época reproductiva tiene una duración de 6 meses aproximadamente, comenzando en enero y terminando en junio (Fig. 9). Durante este periodo se presentaron uno o varios valores máximos en la producción de flores y frutos. En la población de Bernal la máxima floración se presentó a mediados de febrero (Fig. 9a), mientras que en Zimapán fue a finales de enero y mediados de abril (Fig. 9b). En Ixmiquilpan la máxima floración se presentó a finales de febrero (Fig. 9c). En las tres poblaciones la máxima producción de frutos se observó durante marzo. El tiempo necesario para la maduración de flores y frutos es de aproximadamente 30 días, ya que después de este tiempo, los frutos se abren longitudinalmente dispersando las semillas cerca de la planta.

Los datos muestran que del total de plantas marcadas, solo algunas presentaron estructuras reproductivas. En Bernal e Ixmiquilpan se presentaron la mayor y menor proporción de plantas con estructuras reproductivas con 77.3% y 26.8% respectivamente, mientras que en Zimapán se observó una proporción intermedia de 47%.

En esta especie la apertura de las flores comienza a las 11:00 y permanecen abiertas hasta las 15-17:00 horas. Durante este periodo, se registraron diversas morfoespecies pertenecientes a varios taxa de insectos visitando las flores (Tabla 4). En todas las localidades el mayor número de visitas florales se registró entre las 13:00 y las 14:00 horas (Fig. 10).

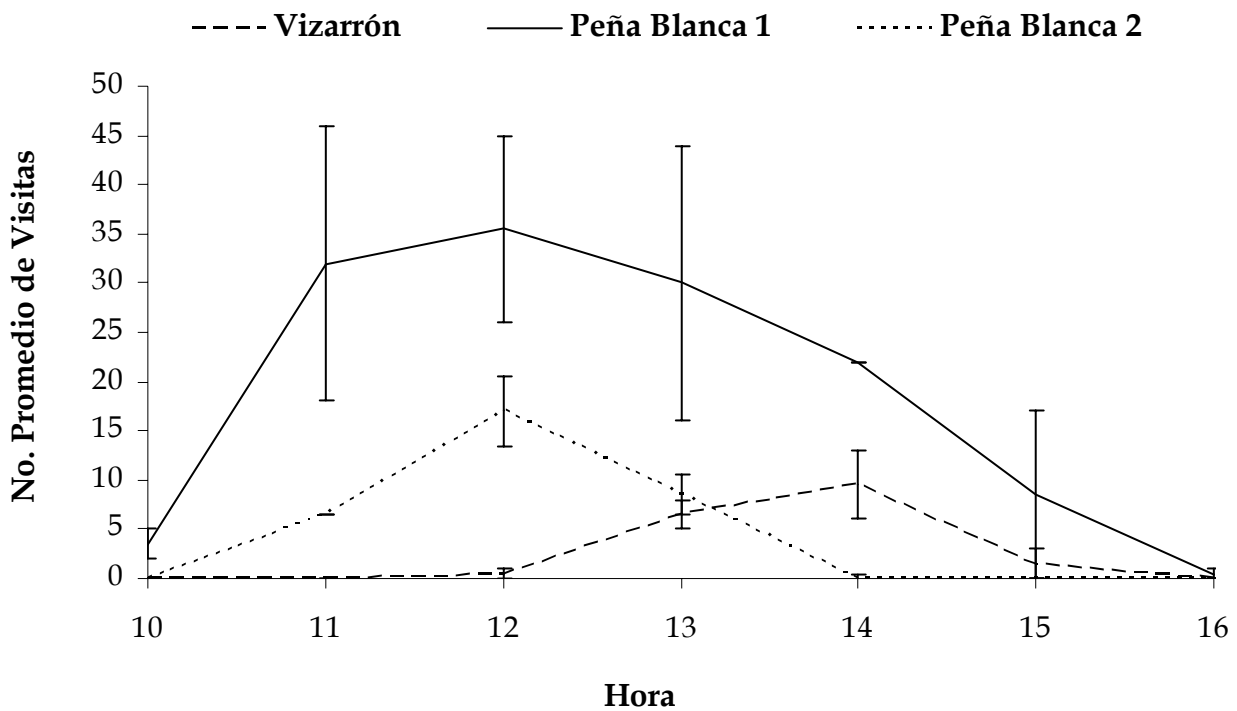


Figura 7. Número promedio (\pm e. s.) de visitas florales por planta en *S. disciformis* a lo largo del día en los sitios estudiados.

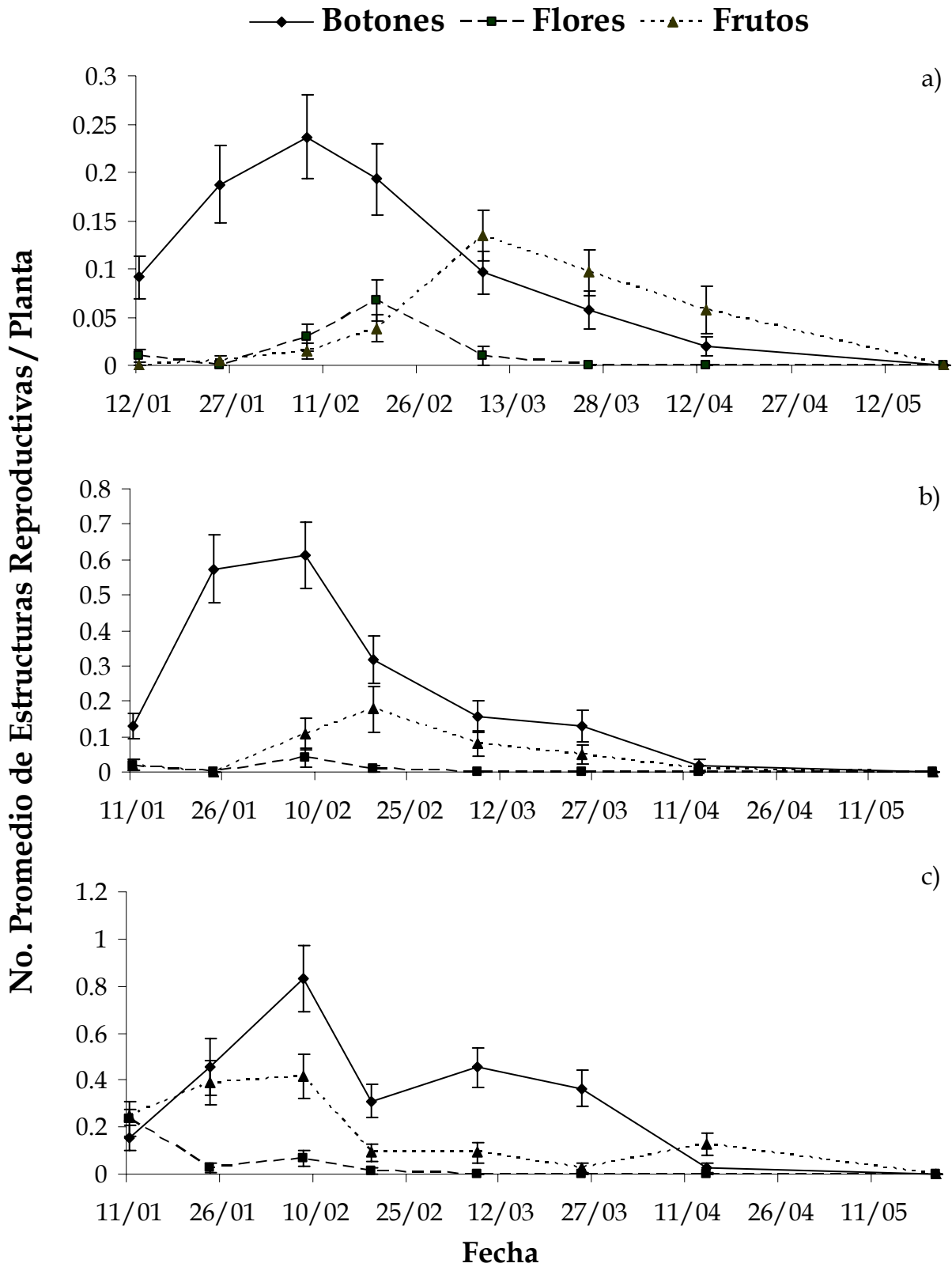


Figura 8. Fenología reproductiva de *S. disciformis* en distintas localidades: a) Vizarrón, b) Peña Blanca 1 y c) Peña Blanca 2.

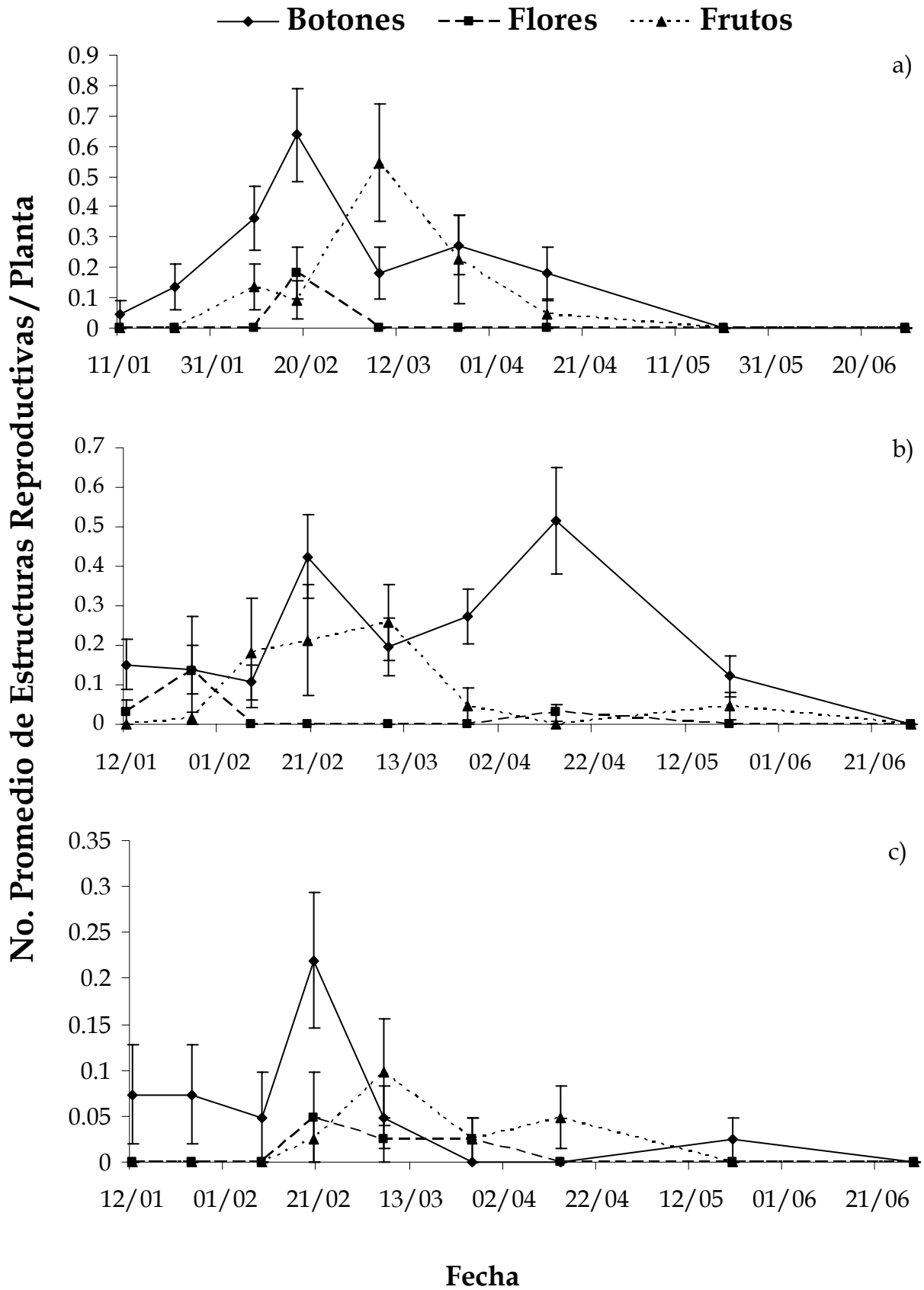


Figura 9. Fenología reproductiva de *T. pseudomacrolele* en distintas localidades: a) Bernal, b) Zimapán y c) Ixmiquilpan.

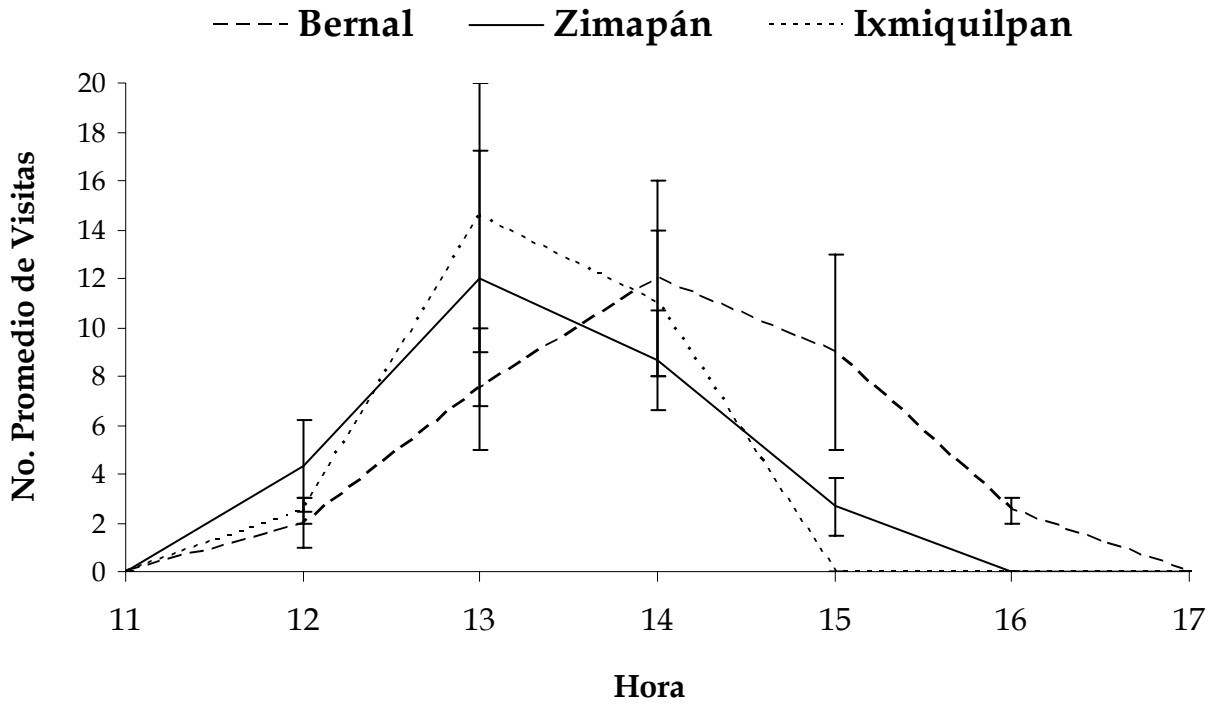


Figura 10. Número promedio (\pm e. s.) de visitas por planta en *T. pseudomacrochele* a lo largo del día en los sitios estudiados.

Tabla 3. Visitantes florales de *S. disciformis* en Vizarrón, Peña Blanca 1 (P. B. 1) y Peña Blanca 2 (P. B. 2).

			Vizarrón	P. B. 1	P. B. 2	
Orden	Familia	Especie				
Coleoptera	Anobiidae	Morfoespecie 1	●			
	Leiodidae	Morfoespecie 1	●			
Diptera		Morfoespecie 1		●		
Hemiptera	Reduviidae	Morfoespecie 1		●		
Hymenoptera	Halictidae	<i>Augochlorella sp.</i>		●		
		<i>Lasioglossum sp.</i>		●	●	
		<i>Mexalictus sp.</i>		●		
	Megachilidae	<i>Ashmeadiella sp.</i>		●	●	
	Andrenidae	<i>Perdita sp.</i>	●	●	●	
	Formicidae	<i>Forelius sp.</i>			●	
		<i>Azteca sp.</i>	●			
		<i>Paratrechina sp.</i>	●			

Tabla 4. Visitantes florales de *T. pseudomacrochele* en tres localidades de los estados de Hidalgo y Querétaro.

			Bernal (Qro.)	Zimapán (Hgo.)	Ixmiquilpan (Hgo.)
Orden	Familia	Especie			
Coleoptera	Buprestidae	Morfoespecie 1		●	
	Nitidulidae	Morfoespecie 1			●
Hymenoptera	Andrenidae	<i>Perdita sp</i>	●		
	Formicidae	<i>Paratrechina sp.</i>	●		
	Halictidae	<i>Augochlorella sp.</i>	●		
		<i>Lasioglossum sp.</i>	●	●	●
	Megachilidae	<i>Ashmeadiella sp.</i>		●	

Germinación y Sobrevivencia

El número promedio de semillas por fruto de *S. disciformis* fue diferente en las distintas poblaciones ($\text{Chi}^2 = 10.23$, g. l. 2, $p = 0.006$). Las localidades con el mayor y el menor número fueron Peña Blanca 1 (990.3 ± 119.6 , 10) y Vizarrón (624.1 ± 62.3 , 10). Peña Blanca 2 presentó valores intermedios (857.3 ± 74.1 , 10). Con respecto a la germinación en condiciones de laboratorio, este proceso inició después del cuarto día de comenzar el experimento y terminó el día 15 cuando el número de semillas germinadas se mantuvo constante (Fig. 11). Las semillas de Peña Blanca 2 presentaron la mayor germinación (82%), mientras que la menor se presentó en Vizarrón (25%). En Peña Blanca 1 se obtuvo una proporción intermedia (56%). Todas estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($F = 66.48$, g. l. 2, 21, $p < 0.0001$). De la misma manera, el índice de

germinación mostró que las poblaciones varían en la velocidad de germinación ($\chi^2=20.17$, g. l. 2, $p<0.001$). El índice de germinación promedio fue mayor en Peña Blanca 2 (4.9) y menor en Vizarrón (1.45), mientras que Peña Blanca 1 presentó valores intermedios (3.3).

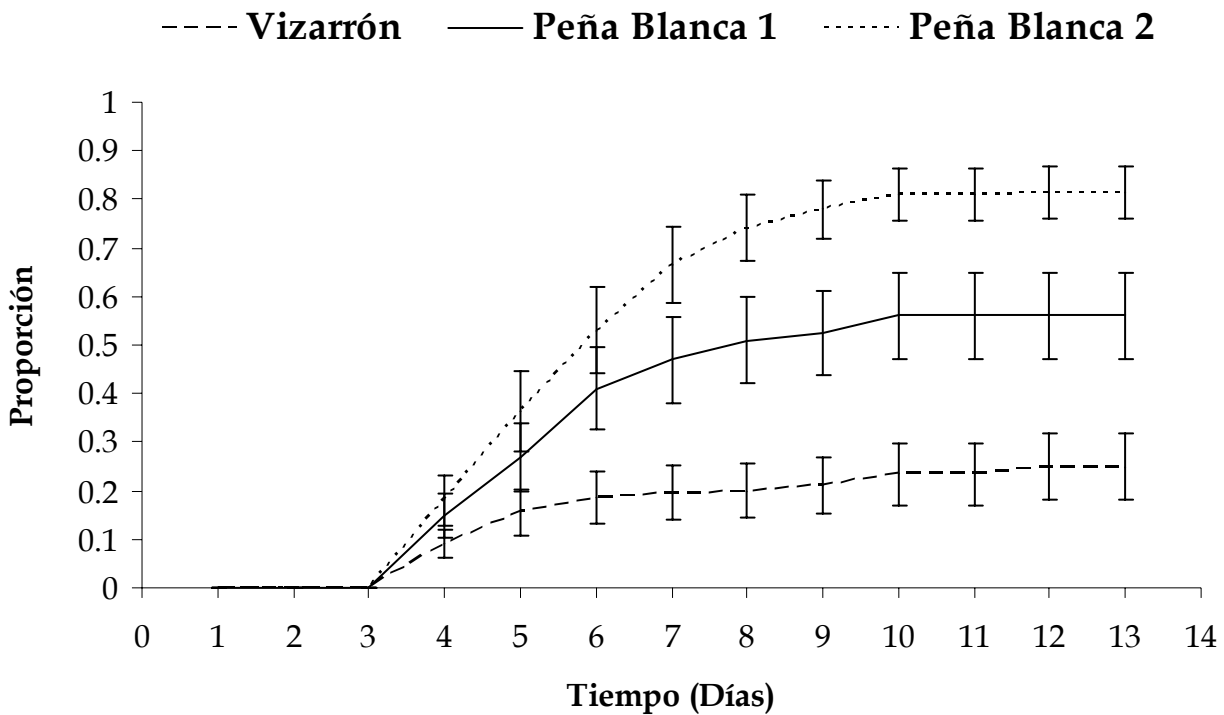


Figura 11. Proporción promedio (\pm e. s.) de semillas germinadas de *S. disciformis* de tres poblaciones del estado de Querétaro.

Con respecto a la sobrevivencia de las plántulas de *S. disciformis* en condiciones naturales, los datos obtenidos mostraron que después de 4 días, solo el 19-26% de éstas permanecían vivas. Después de 18 días la sobrevivencia fue prácticamente nula (Fig. 12) a pesar de que las plántulas se colocaron debajo de arbustos para protegerlas contra la radiación excesiva. No existen diferencias significativas en la sobrevivencia de las plántulas para las tres poblaciones (LR = 1.1, g. l. 2, $p >0.05$).

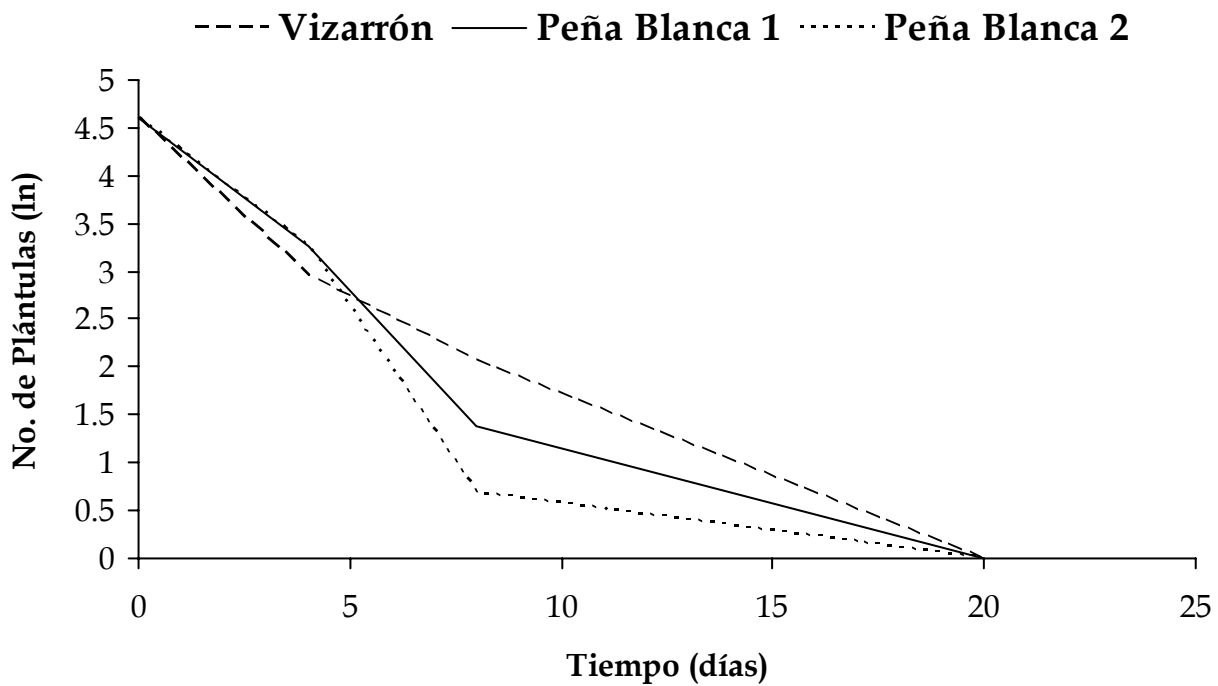


Figura 12. Curvas de Supervivencia de las plántulas de *S. disciformis* de tres poblaciones distintas. Todas las plántulas independientemente de su población crecieron en Peña Blanca 1.

Por otra parte, el número de semillas por fruto de *T. pseudomacrolele* fue variable en las distintas localidades, aunque no se presentaron diferencias significativas ($\text{Chi}^2 = 1.43$, g. l. 2, $p = 0.488$). Las poblaciones con mayor y menor número de semillas fueron Ixmiquilpan (33.4 ± 4.3 , 16) y Zimapán (25.8 ± 1.9 , 22). Bernal presentó valores intermedios (31.1 ± 3.8 , 17). Los experimentos de laboratorio mostraron que las semillas empiezan a germinar después del tercer día (Fig. 13) y que la proporción de semillas germinadas fue diferente en las tres poblaciones ($F = 19.90$, g. l. 2, 21; $p < 0.001$). Las semillas de Zimapán presentaron la mayor proporción (67%) y las de Ixmiquilpan la menor (37.5%). La población de Bernal presentó valores intermedios (49%). De igual forma se observaron diferencias significativas entre en los índices de germinación ($\text{Chi}^2 = 17.20$, g. l. 2, $p < 0.001$). El índice de germinación promedio fue mayor en Zimapán (5.9) y menor en Ixmiquilpan (2.5), Bernal presentó valores intermedios (3.07).

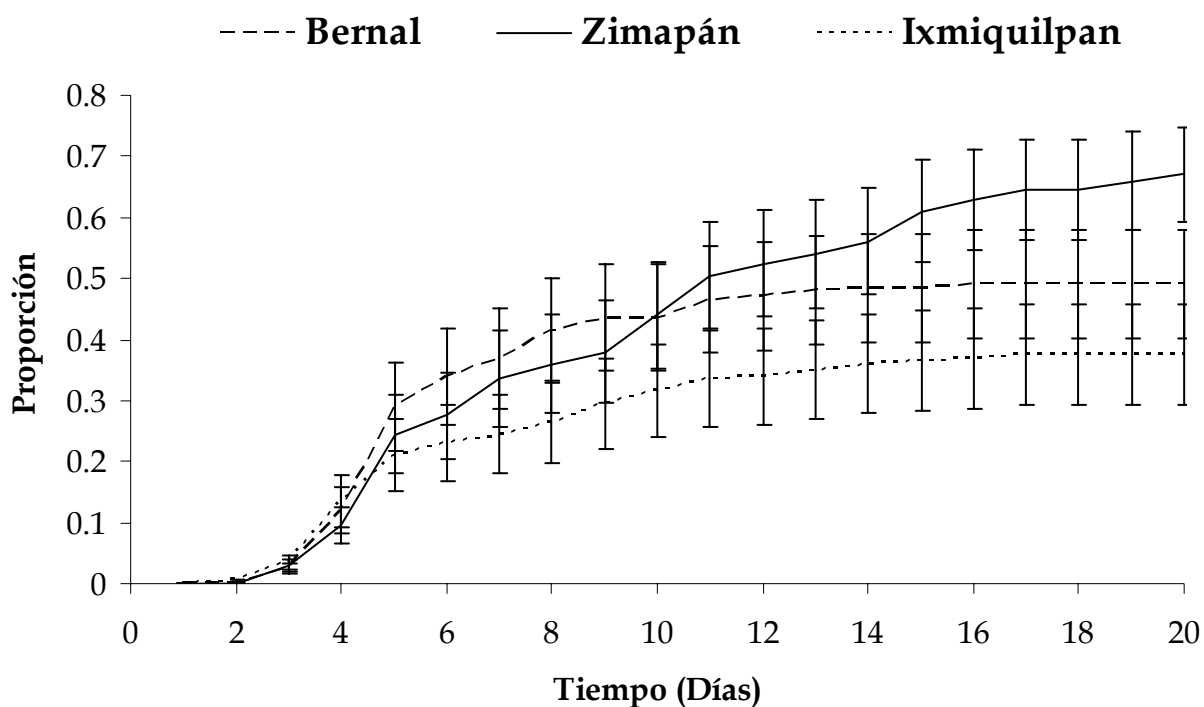


Figura 13. Proporción promedio (\pm e. s.) de semillas germinadas de *T. pseudomacrolele* de tres poblaciones de los estados de Hidalgo y Querétaro.

En relación a la sobrevivencia de las plántulas de *T. pseudomacrolele*, existen diferencias significativas (LR =115.2, g. l. 2, $p < 0.001$) entre las poblaciones estudiadas. El número de plántulas sobrevivientes decreció de forma constante hasta que 250 días después de comenzar el experimento, el porcentaje de sobrevivencia en campo fue de 0. Las curvas de sobrevivencia muestran que la mortalidad es relativamente más rápida en las plántulas de Zimapán en comparación con las otras localidades (Fig. 14).

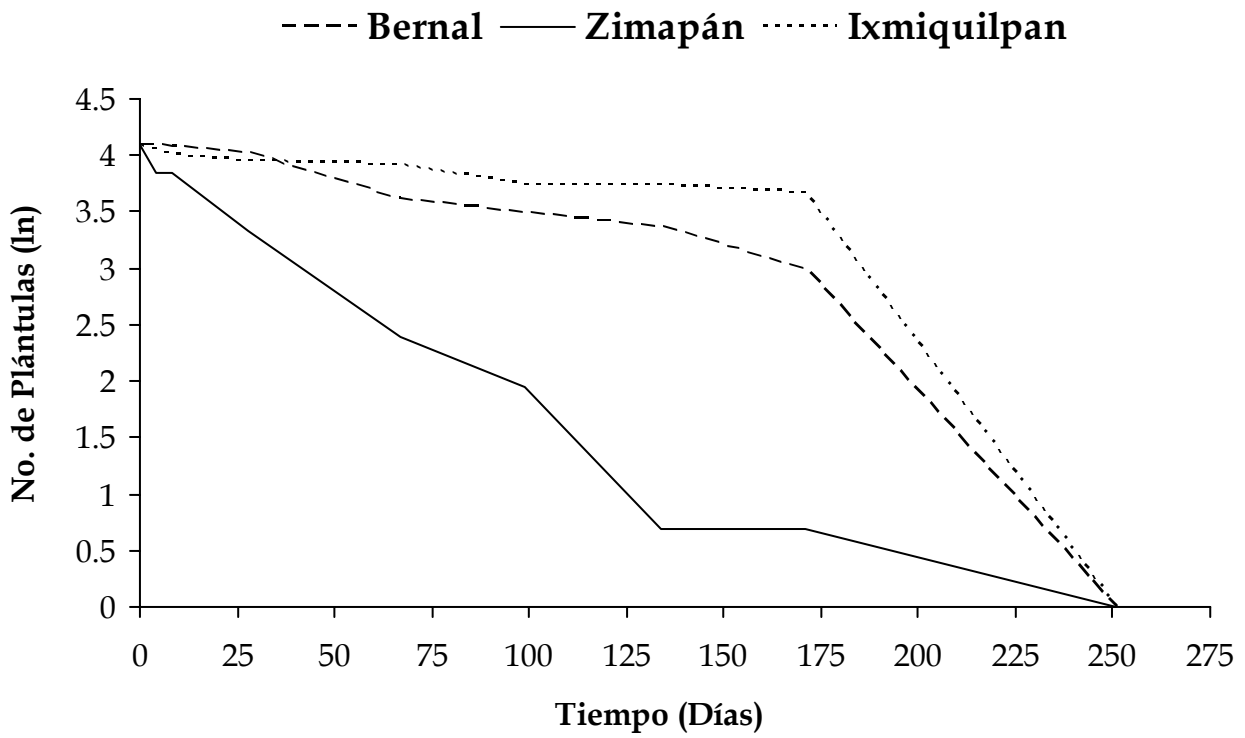


Figura 14. Curvas de sobrevivencia de las plántulas de *T. pseudomacrochele* de tres poblaciones distintas. Todas las plántulas independientemente de su población crecieron en Zimapán.

DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar algunos aspectos demográficos de *S. disciformis* y *T. pseudomacroechele* para obtener información actualizada sobre su estado de conservación. Además, con esta información se pretende determinar si algunas etapas del ciclo de vida limitan la permanencia de sus poblaciones en condiciones naturales. En general, los resultados obtenidos sugieren que estas especies ocupan hábitats particulares en donde crecen en parches con densidades relativamente altas. Sin embargo, las estructuras de tamaños indicaron que el reclutamiento de nuevos individuos en todas las poblaciones analizadas fue bajo.

Con respecto a la densidad, los estudios realizados con otras especies de cactáceas muestran que esta característica es variable y aparentemente no depende de la forma de vida de las plantas (Navarro y Flores-Martínez, 2002; Godínez-Alvarez *et al.*, en prensa). Así, las densidades registradas para algunas especies pueden oscilar desde 0.053 ind/m² para *Mammillaria oteroi* (Martínez *et al.*, 2001), 0.73 ind/m² para *Ferocactus histrix* (Huerta y Escobar, 1998) hasta 1.13 ind/m² para *Echinocereus pulchellus* (Navarro y Flores-Martínez, 2002). En comparación con estos datos, las densidades estimadas para *S. disciformis* y *T. pseudomacroechele* (13-39.8 ind/m² y 1.8-5.5 ind/m², respectivamente) pueden considerarse como relativamente altas. Sin embargo, es importante señalar que la distribución de estas especies no es continua, restringiéndose a pequeños parches de aproximadamente 100 m². Inclusive, en *T. pseudomacroechele* las poblaciones estudiadas se encuentran separadas por más de 50 kilómetros de distancia y a distintas altitudes (1845, 2077 y 2092 msnm).

Los resultados del patrón de distribución espacial apoyan la idea anterior debido a que en ambas especies el patrón fue generalmente agregado. Este mismo patrón ha sido reportado frecuentemente en otras especies de cactáceas con diferente forma de vida como *Ariocarpus trigonus* (Martínez *et al.*, 1993), *Mammillaria gaumeri* (Leirana-Alcocer y Parra-Tabla, 1999), *M. magnimamma*

(Valverde *et al.*, 1999), *Coryphantha pallida* (Valiente-Banuet *et al.*, 1991) y *Ferocactus histrix* (Huerta y Escobar, 1998), entre otras. Este patrón de distribución puede estar relacionado con una distribución agregada de las condiciones ambientales necesarias para el establecimiento y el crecimiento de las plantas (Huerta y Escobar, 1998; Leirana-Alcocer y Parra-Tabla, 1999; Godínez-Alvarez *et al.*, en prensa) o bien, con una dispersión limitada de las semillas. En este sentido, diversos autores (Van Rheede y Van Rooyen, 1999; Rojas-Aréchiga y Vásquez-Yanes, 2000) han sugerido que las semillas de *S. disciformis* son dispersadas por hormigas. Sin embargo, no existe información que apoye esta idea. Las observaciones realizadas en el campo mostraron que las semillas maduras de *S. disciformis* y *T. pseudomacrolele* se localizan frecuentemente sobre el tallo de la planta madre o en sitios cercanos a ésta. Lo anterior sugiere que la dispersión de las semillas en ambas especies podría ocurrir simplemente por gravedad.

La información sobre el hábitat ocupado por *S. disciformis* y *T. pseudomacrolele* sugiere que ambas especies crecen preferentemente en suelo descubierto de vegetación y en grietas presentes en rocas (Figs. 4 y 6). En *S. disciformis*, las plantas solamente se encontraron creciendo en laderas con pendientes pronunciadas por lo que las condiciones necesarias para la sobrevivencia y crecimiento de los individuos son particulares. Otras cactáceas globosas como *Echinocereus pulchellus*, *Mammillaria gaumeri*, *M. magnimamma* y *Turbincarpus pseudopectinatus* (Leirana-Alcocer y Parra-Tabla, 1999; Martínez *et al.*, 1994; Navarro y Flores-Martínez, 2002; Valverde *et al.*, 1999), también han sido encontradas creciendo comúnmente en grietas de rocas. Las condiciones ambientales en estos sitios podrían disminuir la radiación solar e incrementar la humedad favoreciendo la germinación de las semillas y la sobrevivencia de las plántulas (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998; Rojas-Aréchiga y Vásquez-Yanes, 2000). Sin embargo, en *M. magnimamma* se ha sugerido que los altos niveles de radiación solar en los espacios desprovistos de vegetación incrementan la tasa fotosintética y el crecimiento de las plantas adultas (Ruedas *et al.*, 2000).

Las estructuras de tamaños de ambas especies mostraron que el reclutamiento de nuevos individuos en las poblaciones es escaso. Los eventos de reclutamiento en las cactáceas son poco frecuentes y dependen de condiciones climáticas muy particulares, tales como la ocurrencia de años lluviosos (Parker, 1989; Esparza-Olguín *et al.*, 2002). Además, otras características intrínsecas como la producción de semillas, la germinación y la sobrevivencia de plántulas también pueden afectar la composición de las poblaciones.

Con respecto a la reproducción, la época de floración y fructificación de las dos especies comienza durante el invierno y tiene una duración aproximada de cinco meses. Esto es semejante a lo que se presenta en otras cactáceas de los géneros *Ancistrocactus*, *Gymnocalycium*, *Mammillaria*, *Notocactus* y *Turbinicarpus* (Martínez *et al.*, 1994; Sutton *et al.*, 1997; Schlindwein y Wittmann, 1995; Valverde *et al.*, 1999). Las flores de *S. disciformis* y *T. pseudomacrolele* son visitadas principalmente por abejas (*Hymenoptera: Apoidea*) pertenecientes a los géneros *Ashmeadiella*, *Augochlorella*, *Lasioglossum* y *Perdita*. Estos géneros también han sido reportados como visitantes florales de *Ancistrocactus tobuschii*, *Echinomastus erectocentrus* y *Opuntia rastrera* (Johnson, 1992; Lockwood, 1995; Schlindwein y Wittmann, 1995; Mandujano *et al.*, 1996). Es probable que las abejas registradas en este trabajo sean polinizadores efectivos ya que el número observado de flores sin polinizar fue bajo, aunque es necesario realizar estudios más detallados. En *O. rastrera* se han registrado abejas de los géneros *Ashmeadiella*, *Lasioglossum* y *Perdita* como polinizadores efectivos en el desierto Chihuahuense (Mandujano *et al.*, 1996) y se han reportado también como especies oligoléticas de algunas cactáceas del Valle de Tehuacán (Vergara, 1997).

El número de semillas por fruto fue diferente para las distintas especies estudiadas. El promedio de semillas por fruto en *S. disciformis* es alto (621.1-990.3), mientras que en *T. pseudomacrolele* fue bajo (25.8-33.4). No obstante lo

anterior, este promedio de semillas es similar al que presentan otras cactáceas globosas con problemas de conservación (*Coryphantha robbinsorum*, *Echinocereus pulchellus*, *Echinomastus erectocentrus*, *Mammillaria crucigera* y *Turbinicarpus pseudopectinatus*), las cuales producen menos de 100 semillas por fruto (Johnson, 1992; Martínez *et al.*, 1994; Schmalzel *et al.*, 1995; Contreras y Valverde, 2002; Navarro y Flores-Martínez, 2002).

La germinación de las semillas en ambas especies es un proceso que se presenta entre el segundo y cuarto día, por lo que es posible suponer que éstas solamente requieren de condiciones adecuadas de temperatura, humedad y luz. Esta situación coincide con lo observado en muchas otras especies de cactáceas (Nobel, 1984; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998; Rojas-Aréchiga y Vásquez-Yanes, 2000). Sin embargo, los porcentajes de germinación obtenidos son relativamente bajos (25-56%) en casi todas las poblaciones. Esta situación puede ser crítica para el mantenimiento de las poblaciones debido a que se tiene evidencia que indica que la germinación en condiciones naturales puede disminuir de forma muy drástica. Por ejemplo, los porcentajes de germinación de *M. crucigera* y *Neobuxbaumia macrocephala* en campo oscilan entre 0 y 0.25%, a pesar de presentar valores de 60-85% en condiciones controladas (Contreras y Valverde, 2002; Esparza-Olguín *et al.*, 2002). La variación en el porcentaje de germinación encontrado en las distintas localidades de *S. disciformis* y *T. pseudomacroechele* puede deberse a factores intrínsecos a la biología de las especies, tales como la diversidad genética que existe dentro y entre las poblaciones, así como a diferencias microclimáticas del hábitat.

La sobrevivencia de las plántulas de *S. disciformis* y *T. pseudomacroechele* puede considerarse como tipo III y II, respectivamente (*sensu* Pearl, 1928). Es decir, en *S. disciformis* las plántulas mueren rápidamente durante los primeros 20 días, en tanto que en *T. pseudomacroechele* sobreviven por un tiempo prolongado (> 200 días). Este patrón de sobrevivencia es similar a lo registrado en otras especies amenazadas como *E. pulchellus*, *M. crucigera* y *N. macrocephala*

(Contreras y Valverde, 2002; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Navarro y Flores-Martínez, 2002).

A pesar de que en las poblaciones estudiadas de *T. pseudomacrolele* los resultados en general fueron similares, la población de Zimapán presenta diferencias notables en su estructura de tamaños y en la curva de sobrevivencia. Cabe destacar que los individuos de esta población pertenecen a la subespecie *Krainzianus*, mientras que los individuos encontrados en Bernal e Ixmiquilpan pertenecen a la subespecie *pseudomacrolele*.

Finalmente, los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que el bajo reclutamiento de nuevos individuos en las poblaciones de *S. disciformis* y *T. pseudomacrolele* podría estar relacionado con la producción y germinación de las semillas, así como con la sobrevivencia de las plántulas. En el caso de *S. disciformis*, la sobrevivencia es el principal factor que podría limitar el mantenimiento de las poblaciones. Las plántulas recién emergidas presentan un tamaño pequeño (<2 mm) que determina una alta mortalidad. Además, las observaciones en campo mostraron que esta especie tiene una alta especificidad del hábitat (*i. e.*, grietas en paredes de roca caliza), por lo que las condiciones necesarias para la sobrevivencia de las plántulas podrían ser muy particulares. Por otra parte, el escaso reclutamiento observado en *T. pseudomacrolele* puede deberse a una baja producción y germinación de las semillas. Adicionalmente, la baja sobrevivencia de las plántulas también podría contribuir a la lenta regeneración de las poblaciones.

Los datos anteriores sugieren que ambas especies se encuentran amenazadas, ya que presentan problemas en fases importantes de su ciclo de vida de las que dependen el mantenimiento y regeneración de las poblaciones. Sin embargo, sería importante realizar estudios detallados sobre los factores que afectan el reclutamiento y establecimiento. En las poblaciones estudiadas podría implementarse un esquema de manejo apoyado en técnicas de conservación *ex situ*, con el fin de favorecer el reclutamiento de nuevos

individuos, ya sea a través de la introducción activa de plántulas y juveniles o incrementando las posibilidades de sobrevivencia de individuos establecidos.

Es importante considerar que además de las características propias de las especies, existen otros factores externos como la colecta ilegal y el cambio en el uso del suelo, los cuales afectan negativamente a las especies. En este contexto, es imprescindible que las especies permanezcan protegidas por las agencias de conservación y por organizaciones gubernamentales como son la CITES, IUCN y SEMARNAT; además de que es importante la preservación de estas especies tanto en jardines botánicos como en bancos de germoplasma.

REFERENCIAS

- Anderson, E. F., Arias, S. y Taylor, N. P. 1994. Threatened cacti of México. Vol. II. Royal Botanic Gardens Kew, U.K.
- Benitez, H. y Dávila, P. 2002. Las Cactáceas Mexicanas en el contexto de la CITES. Biodiversitas **40**. CONABIO <http://www.conabio.gob.mx>.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- _____ . 1991. Las Cactáceas de México. Vol. 2. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Contreras, C. y Valverde, T. 2002. Evaluation of the conservation status of rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. Journal of Arid Environments **51**: 89-102.
- Ehrlén, J. y Groenendael, J. V. 1998. Direct perturbation analysis for better conservation. Conservation Biology **12**: 470-474.
- Esparza-Olguín, L., Valverde, T. y Vilchis-Anaya, E. 2002. Demographic analysis of rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Mexico. Biological Conservation **103**: 349-359.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3a Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Glass, C. E. y Foster, R. 1975. *Strombocactus disciformis* (D.C.) Br. & R. Cactus & Succulent Journal **47**: 105.
- _____ . 1977. Revision of the genus *Turbinicarpus* (Backbg.) Buxb. & Backbg. Cactus & Succulent Journal **49**: 161-173.
- Glass, C. E. y Arias, S. 1996. A new subspecies of *Strombocactus* from the Sierra Gorda in the State of Guanajuato, México. British Cactus & Succulent Journal **14**: 200-204.
- Glass, C. E. 1998. Guía para la identificación de cactáceas amenazadas de México. Vol. 1. CONABIO. Ediciones Cante, México.

- Godínez- Alvarez, H., Valiente-Banuet, A. y Valiente, B. L. 1999. Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Canadian Journal of Botany* **77**: 203-208.
- Godínez- Alvarez, H., Valverde, T. y Ortega-Baes. en prensa. Demographic Trends in Cactaceae. *Botanical Review*.
- González-Zertuche, L. y Orozco-Segovia, A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachia*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**: 15-30.
- Greig-Smith, P. 1983. *Quantitative Plant Ecology*. University of California Press, U.S.
- Guzmán, U., Arias, S., y Dávila, P. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. UNAM. CONABIO. México.
- Hernández, C. M. 1992. *Climas áridos de México*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM, México.
- Hernández, M., H. y Godínez-Alvarez. H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* **26**: 33-52.
- Huerta, M. F. y Escobar, S. V. 1998. Estatus ecológico actual de *Ferocactus histrix* (DC) Lindsay en los llanos de Ojuelos, Jalisco-Zacatecas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **43**: 57-64.
- Hunt, D. 1999. CITES. Cactaceae Checklist. Royal Botanic Gardens Kew & International Organization for Succulent Plant Study, U.K.
- Johnson, R. A. 1992. Pollination and reproductive ecology of acuña cactus, *Echinomastus erectocentrus* var. *acunensis* (Cactaceae). *International Journal of Plant Science* **153**: 400-408.
- Leirana-Alcocer, J. y Parra-Tabla, V. 1999. Factors affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri*, an endemic cactus of coastal Yucatan, México. *Journal of Arid Environments* **41**: 421-428.

- Lockwood, M. W. 1995. Notes on life history of *Ancistrocactus tobuschii* (Cactaceae) in Kinney Country, Texas. *The Southwestern Naturalist* **40**: 428-430.
- Mandujano, M. C., Montaña, C. y Eguiarte, L. E. 1996. Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan desert: Why sexually derived recruitments so rare? *American Journal of Botany* **83**: 63-70.
- Martínez, A. J., Suzan, A. H. y Salazar, O. C. 1993. Aspectos ecológicos y demográficos de *Ariocarpus trigonus* (Weber) Schumann. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **38**:30-38.
- _____ . 1994. Aspectos ecológicos y demográficos de *Neolloydia pseudopectinata* (Backeberg) E. F. Anderson. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **39**: 27-33.
- Martínez, D., Flores-Martínez, A., López, F. y Manzanero, G. 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass & R. Foster en la región Mixteca de Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **46**: 32-39.
- Meyrán, J. 1971. Las cactáceas del estado de Querétaro. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **16**: 20.
- Navarro, C. M. y Flores-Martínez, A. 2002. Aspectos demográficos de *Echinocereus pulchellus var. pulchellus* en el municipio de Chignahuapan Puebla. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **47**: 24-32.
- Nobel, P. S. 1984. Extreme temperatures and thermal tolerances for seedlings of desert succulents. *Oecologia* **62**: 310-317.
- Otero, F. 1970. Excursión a la Barranca de Tolimán, Hidalgo. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **15**: 64-66.
- Palmer, M. E. 1987. A critical look at rare plant monitoring in the United States. *Biological Conservation* **39**: 113-127.
- Parker, K. C. 1989. Height structure and reproductive characteristics of senita, *Lophocereus schotii* (Cactaceae) in Southern Arizona. *The Southwestern Naturalist* **34**: 392-401.

- Pavlik, M. B. 1997. Perspectives, tools and institutions for conserving rare plants. *The Southwestern Naturalist* **42**: 375-383.
- Pearl, R. 1928. *The rate of living*. Knopf, New York.
- Pike, A. D. y Thompson, N. J. 1986. Statistical analysis of survival and removal rate experiments. *Ecology* **67**: 240-245.
- Rojas-Aréchiga, M. y Vásquez-Yanes, C. 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* **44**: 85-104.
- Rojas-Aréchiga, M. y Vásquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A. 1998. Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecology* **135**: 207-214.
- Ruedas, M., Valverde, T. y Castillo, A. S. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **66**: 25-35.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México.
- Sánchez-Mejorada, H. 1955. Resultado de 10 años de exploraciones cactológicas a lo largo del camino Pachuca-Meztitlán. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **1**: 9-24.
- _____ . 1968. Las cactáceas del estado de Hidalgo. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **13**: 13-18.
- Schemske, D. W., Husband, B. C., Ruckelshaus, M. H., Goodwillie, C., Parker, I. M. y Bishop, J. G. 1994. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology* **75**: 584-606.
- Schlindwein, C. y Wittmann, D. 1995. Specialized solitary bees as effective pollinators of South Brazilian species of *Notocactus* and *Gymnocalycium* (Cactaceae). *Bradleya* **13**: 25-34.
- Schmalzel, R. J., Reichenbacher, F. W. y Rutman, S. 1995. Demographic study of the rare *Coryphantha robbinsorum* (Cactaceae) in southeastern Arizona. *Madroño* **42**: 332-348.

- Semarnap. 2001. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2001. Diario Oficial de la Federación 2a Sección. México.
- Siegel, S. 1982. Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta. Ed. Trillas, México.
- Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. 1995. Biometry, 3rd edition. Mc. Graw-Hill, U.S.
- Solbrig, O. T. (ed.). 1980. Demography and evolution in plant populations. Blackwell Scientific, U.K.
- Steenbergh, W. H. y Lowe, C. H. 1969. Critical factors during first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at the Saguaro National Monument, Arizona. *Ecology* **50**: 823-834.
- Sutton, K., Baggus, J. T. y Traweek, M. S. 1997. Habitat of *Ancistrocactus tobuschii* (Tobusch fishhook cactus, Cactaceae) on the Edwards Plateau Central Texas. *The Southwestern Naturalist* **42**: 441-445.
- Valiente-Banuet, A., Bolongaro-Crevenna, A., Briones, O., Ezcurra, E., Rosas, M., Nuñez, H., Barnard, G. y Vasquez, E. 1991. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semi-arid environment in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* **2**: 15-20.
- Valverde, T., Trejo, M. L. y Castillo, S. 1999. Patrón de distribución y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del pedregal de San Ángel, México D. F. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **44**: 64-74.
- Van Rheede, V. O. y Van Rooyen, W. 1999. Dispersal biology of desert plants. Springer. Germany.
- Vergara, C. H. 1997. Abejas y Cactáceas en el Valle de Zapotitlán de las Salinas. *Revista de Divulgación y Educación Científica. Universidad de las Américas (UDLA-P)*. Alephzero v2.0 <http://aleph.cs.buap.mx/>.
- Zamudio, R. S., Rzedowski, J., Carranza, E. y Calderón, G. 1992. La Vegetación del estado de Querétaro: Panorama preliminar. Centro Regional del Bajío. Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro, Patzcuaro, Mich. México.