



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Ciencias Naturales

Licenciatura en Biología

Análisis de las condiciones bióticas y abióticas relacionadas a la distribución espacial de *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum (Cactaceae).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
BIBLIOTECA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

## TESIS

Que para obtener el TÍTULO de:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

Presenta:

**AXINI SÁNCHEZ GREGORIO**

Director de Tesis: Dr. Humberto Suzán Azpiri

Santiago de Querétaro, Qro., Agosto 2008



No. ADQ. CNT00190

No. TITULO 170

CLASIFI 583.56

5211g

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
BIBLIOTECA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES



# Índice

Dedicatoria .....	3
Agradecimientos .....	4
I. Resumen/Summary .....	5
II. Introducción .....	7
III. Antecedentes .....	10
IV. Hipótesis .....	17
V. Objetivo general .....	17
VI. Materiales y Métodos .....	18
6.1 Sitio de estudio .....	18
6.2 Caracterización de la población de <i>A. kotschoubeyanus</i> .....	19
6.3 Caracterización de la estructura vegetal .....	19
6.4 Índices de biodiversidad .....	20
6.5 Caracterización de suelos .....	20
6.5.1 Caracterización física del suelo .....	21
6.5.2 Caracterización química del suelo .....	21
6.6 Caracterización de las condiciones ambientales .....	22
6.7 Análisis de distribución espacial .....	23
VII. Resultados .....	26
7.1 Estructura vegetal .....	26
7.1.1 Caracterización de la población de <i>A. kotschoubeyanus</i> .....	26
7.1.2 Caracterización de la Vegetación .....	26
7.2 Caracterización del suelo .....	29
7.3 Superficie cubierta por rocas .....	31
7.4 Caracterización de las condiciones ambientales .....	32
7.4.1 Temperaturas registradas al amanecer. Amortiguamiento ante congelación .....	32
7.4.2 Radiación y temperatura en la temporada de lluvias .....	34
7.4.3 Radiación y temperatura en la temporada de sequías .....	37
7.5 Distribución espacial .....	40
7.5.1 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE). Patrones de distribución .....	40
7.5.2 Mapas de distribución espacial .....	45
7.6 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE). Asociaciones Espaciales .....	50
7.6.1 Mapas de asociación espacial .....	51
VIII. Discusión .....	53
IX. Conclusiones .....	72
X. Perspectivas .....	73
XI. Referencias .....	74
Apéndice I .....	81

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo con mucho cariño a dos grandes hombres, mis abuelos: Don Ausencio Sánchez Martínez y Don Francisco Gregorio Miranda que con su ejemplo y amor a la naturaleza hicieron crecer en mí la inquietud por conocer más de la biología.

A mis padres, que con esfuerzos y cariño me han brindado incondicionalmente su apoyo, cariño, educación, recursos económicos y su amistad a lo largo de mi vida. Gracias a ellos tuve esta maravillosa oportunidad de aprender sobre la biología y darle este emocionante curso a mi vida. Gracias por todo su apoyo y cariño.

A mis hermanos, por ser ejemplos de lucha por sobresalir en todo y trabajar duro siempre. Hermanos y a la vez padres y amigos que siempre me aconsejaban salir adelante y tomar buenas decisiones.

A todas las personas que son su ejemplo, apoyo y cariño renovaban mis fuerzas e inquietudes necesarias para terminar esta etapa de mi vida.

A mis maestros de toda la vida, desde mi maestra Mari que me enseñó a leer mis primeras palabras en la primaria, hasta cada uno de mis excelentes maestros que me han enseñado lecciones de escuela y valiosas lecciones de vida, tanto dentro como fuera de las aulas en todos estos años de estudios. Gracias a todos ellos.

## **Agradecimientos**

Al Dr. Humberto Suzán, mi director, por su ayuda, conocimientos y asesoría durante el desarrollo de esta investigación y por haber sido una parte fundamental en esta gran experiencia de investigación científica.

A la Doctora Lupita Malda por su apoyo, amistad, asesoría y sugerencias que contribuyeron enormemente en este trabajo.

Al Dr. Rolando Bárcenas por su ayuda en la determinación de cactáceas del área estudiada, sus aportaciones y por su biblioteca que siempre puso a mi disposición.

Al M en C. Oscar García por su incondicional ayuda, apoyo y asesoría en todo momento y mayor aún por su gran amistad que hacía más sencillo acercarme a él para expresar sus conocimientos y lograr buenos planteamientos y discusiones que permitieron planear y desarrollar este proyecto de investigación.

Patricia Balderas y Alejandro Cabrera del Herbario Jerzy Rzedowski de la Universidad Autónoma de Querétaro por su incondicional ayuda y apoyo en la determinación de plantas, además de su valiosa amistad.

A CONACYT por su programa: Apoyo para Investigadores Nacionales para el fortalecimiento de actividades de tutoría y asesoría de estudiantes de nivel licenciatura que a través del Dr Humberto Suzán, se recibió el apoyo económico no. 102089 para financiar parte de esta investigación.

Agradecimientos a la Dra. Sara Solís Valdez del Centro de Geociencias UNAM Campus Juriquilla por permitirme trabajar en su laboratorio la parte de suelos. Y al Ing. Gregorio Solorio Munguía por su paciencia y asesoría para completar los análisis edafológicos.

Agradecimientos a la M en C. Araceli Aguilera Barreyro y al M en C. Konisgmar Escobar García del Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Naturales (UAQ, Juriquilla) por la facilitación del equipo, ayuda y asesoría en la determinación de fósforo total.

Y por su puesto, las más sinceras gracias a mi familia:

A mi papá Andrés por llevarme a campo todas las veces que así se lo pedí y por sus conocimientos tradicionales de los nombres comunes de las plantas, hidrología y suelos del área de estudio, mi mami Tere por su ayuda en la toma de datos en campo y por llevar siempre deliciosos lonches que hacían que toda mi familia quisiera acompañarnos y por lo tanto ayudarme en campo.

Gracias a mis hermanos Abif, Nancy, Janely y sobre todo a David por su valiosísima ayuda en campo que a pesar de que las temperaturas a medio día llegaban a los 40°C, me ayudaron incansablemente a tomar mis datos con la bellísima condición de comprarles un "bolis" congelado al terminar el trabajo de campo.

## I. Resumen/ Summary

*Ariocarpus kotschoubeyanus*, es una especie endémica de México, considerada oficialmente como especie en peligro, sujeta a protección especial. Es una especie amenazada por la extracción ilegal debido a que es altamente cotizada por coleccionistas como planta silvestre de ornato impactando negativamente a sus poblaciones. En este estudio se utilizó el Sistema de Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE), para determinar el patrón de distribución espacial de *A. kotschoubeyanus*, así como las interacciones positivas (nodricismo) y negativas con las plantas arbustivas dominantes ya que estas relaciones son clave para entender el establecimiento, distribución y permanencia de una población. Se caracterizó la estructura vegetal y se estudiaron los principales factores microclimáticos (luz, temperatura y humedad superficial del suelo) debajo del dosel de las posibles plantas nodrizas. Finalmente se hizo un análisis de suelo para conocer los requerimientos ecológicos mínimos para su establecimiento. Los resultados muestran que *A. kotschoubeyanus* presenta una distribución espacial agregada ( $I_a=2.114$ ) apareciendo en parches disjuntos en áreas desprovistas de vegetación. Las especies arbustivas presentan distribución agregada formando parches y claros. *A. kotschoubeyanus* se asocia positivamente con dos plantas rastreras *Tiquilia sp* ( $X=0.379$ ,  $P<0.0001$ ) y *Opuntia lindheimeri* ( $X=0.2753$ ,  $P<0.0001$ ) y se asocia negativamente con dos de las plantas arbustivas con mayor cobertura y valor de importancia (VI) y cuyo dosel pudiera ofrecer las mejores microcondiciones: *Karwinskia humboldtiana* ( $X=-0.1948$ ,  $P<0.9803$ ), y *Calanticaria bicolor* ( $X=-0.2568$ ,  $P<0.9982$ ). *A. kotschoubeyanus* presenta la misma tendencia de asociación negativa hacia el resto de la vegetación arbustiva por lo que se descarta el fenómeno de nodricismo.

Palabras clave: *A. kotschoubeyanus*, distribución espacial, asociaciones espaciales, SADIE.

*Ariocarpus kotschoubeyanus*, is an endemic specie to Mexico, officially classified as endangered specie, subject to special protection. It is specie threatened for illegal extraction because it is highly required by collectors as ornamental wild plant, with negative impact into their populations. In this study we used the SADIE system (Spatial analysis by Distance IndicEs) to determine the spatial distribution of *A. kotschoubeyanus* and it's positive (nursing) and negative interactions with the dominant shrub species, because this interactions are key to understand the establishment, pattern distribution and permanency of populations. We also characterized vegetal structure and studied the principal microclimatic factors (light, temperature and surface moisture) beneath the canopy of the possible nurse plants species. Finally we make a soil test to know the minimal ecological requirements for their establishment. Results showed *A. kotschoubeyanus* present an aggregated distribution ( $I_a= 2.114$ ) appearing as separate patches in areas lacking vegetation. The shrub species presented an aggregated distribution with patches and gaps. *A. kotschoubeyanus* was positively associated with two creeping plants *Tiquilia sp.* ( $X=0.379$ ,  $P<0.0001$ ) y *Opuntia lindheimeri* ( $X=0.2753$ ,  $P<0.0001$ ) and was negatively associated with two of the shrub plants with the higher covering and importance value (IV) and which canopy could offer the best microconditions: *Karwinskia humboldtiana* ( $X=-0.1948$ ,  $P<0.9803$ ) and *Calanticaria bicolor* ( $X=-0.2568$ ,  $P<0.9982$ ). *A. kotschoubeyanus* shows the same negative association trend to rest of shrub vegetation, rejecting any nursing interaction.

Key words: *A. kotschoubeyanus*, spatial distribution, spatial associations, SADIE.

## II. Introducción

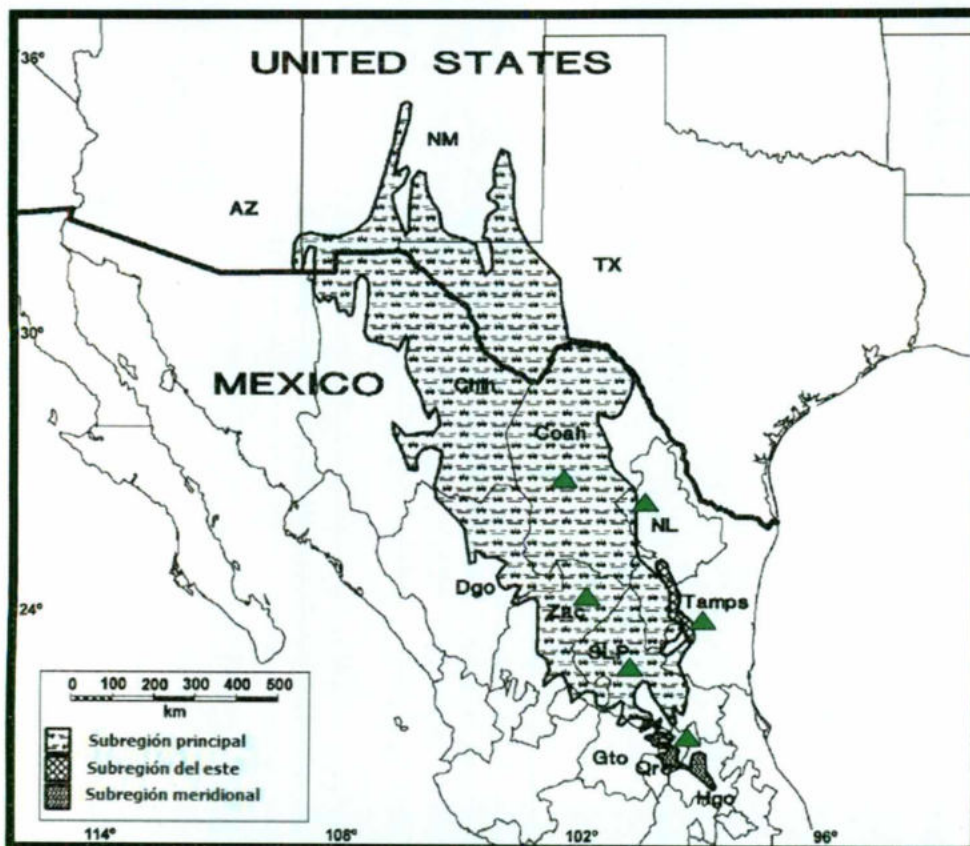
La familia Cactaceae es originaria de América y comprende cerca de 100 géneros y 1500 especies (Barthlott y Hunt, 1993). México es considerado como el centro de diversificación de cactáceas más importante, con un elevado índice de endemismos a nivel genérico (73%) y específico (78%) que habitan exclusivamente dentro de los límites del territorio nacional, principalmente en las regiones áridas y semiáridas, tales como el Desierto Chihuahuense, el Desierto Sonorense y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Hernández y Godínez, 1994; Hernández et al., 2004).

La mayoría de las especies de la familia Cactaceae poseen una combinación de características biológicas y ecológicas que las hacen más vulnerables y que coloca a una gran cantidad de especies en alguna categoría de riesgo (Oldfiel, 1997; Hernández et al., 2004). En términos generales hay dos tipos de factores que condicionan el estatus de estas especies, los factores intrínsecos y los extrínsecos. Los intrínsecos, se refieren a condiciones propias como tasas de crecimiento muy bajas, ciclos de vida muy largos, bajo índice de reclutamiento de nuevos individuos y una alta especialización de hábitat, es decir, que sus áreas de distribución son extremadamente restringidas y en ocasiones viven en condiciones edáficas muy especializadas. Por otro lado, los factores extrínsecos que afectan a las cactáceas son la expansión de la frontera agrícola y ganadera, el desarrollo urbano y la colecta desmedida como plantas silvestres de ornato, entre otros factores (Valiente-Baunet et al., 1991; Hernández y Godínez 1994; Godínez, 2002).

*Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schumann, es una especie de cactácea endémica de México, de distribución restringida a Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y Querétaro siendo este último el límite Sur de su distribución (Figura 1) (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Řía y Šubík, 1991; Sánchez et al., 2006; Salas de León et al., 1999; Hernández et al., 2004). El Gobierno Federal la ha catalogado como especie en categoría **Pr** (especie en peligro, sujeta a protección especial) (PROY-NOM-059-Ecol-2000) y está incluida en el apéndice I del CITES (Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres por sus siglas en inglés). Es una especie altamente saqueada y comercializada



como planta exótica de ornato, es cotizada por paisajistas, coleccionistas y aficionados lo cual representa un impacto negativo sobre sus poblaciones naturales (Hernández y Godínez 1994; Oldfiel, 1997; Salas de León et al., 1999; Hernández et al., 2004; Sánchez et al., 2006).



**Figura 1.** Representación de la distribución en México de *A. kotschoubeyanus* en la región del Desierto Chihuahuense. Los triángulos en verde representan los estados donde se han registrado poblaciones de *A. kotschoubeyanus*. AZ = Arizona, NM = Nuevo México, TX = Texas, Chih = Chihuahua, Coah = Coahuila, NL = Nuevo León, Tamps = Tamaulipas, Dgo = Durango, Zac = Zacatecas, SLP = San Luis Potosí, Gto = Guanajuato, Qro = Querétaro, Hgo = Hidalgo (modificado de Hernández et al. 2004).

La información sobre *A. kotschoubeyanus* es limitada. Poco se sabe de los factores intrínsecos como su dinámica demográfica, de sus estrategias reproductivas y del microhábitat en el que se establecen sus poblaciones, se desconoce su distribución espacial, así como las interacciones que tienen con otras plantas (Oldfiel, 1997; Sánchez et al., 2006;), siendo éstas un factor ecológico importante para su estudio (Callaway y Walter, 1997).

Varios autores coinciden en que el éxito de la conservación de la biodiversidad dependerá del conocimiento de su biología (Falk y Holsiger, 1991). En este sentido, para conservar las poblaciones de *A. kotschoubeyanus*, es importante caracterizar los factores más importantes de su biología. De modo que debemos conocer sus requerimientos ecológicos mínimos para su establecimiento, el microhábitat en el que se desarrolla, la microbiota con la que está relacionada, así como su biología de reproducción, demografía y sus principales amenazas.

Otro aspecto importante para su conservación, es el conocimiento de las relaciones y los procesos ecológicos existentes en la comunidad vegetal tales como relaciones positivas (o de facilitación) y negativas con otras plantas ya que estas relaciones son clave para el establecimiento, distribución y permanencia de las poblaciones de una especie (Callaway y Walker, 1997; Tewksbury y Lloyd, 2001). Al mismo tiempo, al analizar los efectos de las plantas vecinas puede inferirse la distribución espacial y efectos en el crecimiento, supervivencia y fecundidad de una especie (Miriti et al., 2001).

Debido a esto, es importante conocer los patrones de distribución espacial ya que es una herramienta que nos permite entender las posibles relaciones ecológicas en una comunidad vegetal (Maestre, 2006; Miriti et al., 2001; Callaway y Walker, 1997).

En base a lo antes mencionado, se pueden establecer alternativas para su conservación, mismas que permitan generar programas de rescate y reintroducción a su medio natural emulando los patrones de distribución y las asociaciones que faciliten el establecimiento de la especie. De ahí la importancia de este estudio, ya que aparece como una primera aproximación del conocimiento de las características ambientales en las que se desarrolla *Ariocarpus kotschoubeyanus* así como el patrón de distribución espacial e interacciones positivas y negativas con otras plantas en la comunidad vegetal.

### III. Antecedentes

*A. kotschoubeyanus* fue descrita en 1898 (Bravo-Hollis y Sánchez Mejorada, 1991, Figura 2). Pertenece a la familia Cactaceae y su ubicación taxonómica al parecer está bien delimitada: Cactaceae; Cactoideae; Cactaeae; *Ariocarpus*; *kotschoubeyanus*, aunque tiene varias sinonimias (NCBI, 2006). El género está conformado por 12 especies *A. agavoides*, *A. scaphirostris*, *A. retusus*, *A. trigonus*, *A. asilliformis*, *A. bravoanus*, *A. denegri*, *A. disciformis*, *A. elongatus*, *A. fissuratus*, *A. furfuraceus* y *A. kotschoubeyanus* (Bravo-Hollis y Sánchez Mejorada, 1991).



**Figura 2.** *A. kotschoubeyanus* de la población estudiada que está localizada en Vista Hermosa al norte de la comunidad Mesa de León, Municipio de Cadereyta, Querétaro

Las investigaciones sobre *A. kotschoubeyanus* han estado dirigidas en dos vertientes, por un lado, desde 1968 hasta la fecha se han registrado diversos estudios sobre el aislamiento y caracterización fotoquímica de sustancias activas tales como hordeninas, N-metiltiramina, dimetoxi-beta-fenetilaminas y otros alcaloides presentes en el género *Ariocarpus* y otras cactáceas (Domínguez et al., 1968; McLaughlin, 1969; Braga y McLaughlin, 1969; Norquist y McLaughlin, 1970;). Neal et al., 1971; Loza-Cornejo y Terrazas, 2003; Por otro lado, *A. kotschoubeyanus* aparece en estudios relacionados a diversidad, conservación y ecología de cactáceas.

En este sentido, los primeros estudios donde aparece *A. kotschoubeyanus* son los relacionados a su distribución en México junto con otras especies amenazadas. Estos trabajos muestran información sobre la localización de sus poblaciones, por ejemplo Hernández y Godínez (1994) basándose en listados publicados y ejemplares de herbario presentaron una relación actualizada de cactáceas mexicanas amenazadas, proporcionando información sobre su distribución en México y el número de poblaciones

conocidas. Ellos concluyen que la mayoría de las especies (entre ellas *A. kotschoubeyanus*) son especies endémicas cuyas poblaciones están restringidas a un área geográfica limitada.

Salas de León et al. (1999) estudiaron la distribución geográfica y ecológica de la flora amenazada de extinción en la zona árida del estado de San Luis Potosí. Publicaron un mapa de distribución de *A. kotschoubeyanus* en San Luis Potosí y reportaron algunas características de las poblaciones de esta especie. Indican la presencia de poblaciones reducidas, creciendo en matorral desértico micrófilo entre los 1300 y 2000 msnm, localizadas en zonas con topografía accidentada y suelos superficiales, pedregosos y con textura arenosa, apuntando que sus poblaciones son más robustas en planicies aluviales.

Hernández y Bárcenas (1995) y Hernández et al. (2001 y 2004), publicaron listados de las cactáceas del Desierto Chihuahuense, que informan sobre su distribución geográfica y aportan una categorización de los estados de conservación. Además proporcionan la localización de los centros de distribución más importantes a nivel de endemismos en las regiones semiáridas y sub-regiones del Desierto Chihuahuense incluyendo a Querétaro como parte del corredor Querétaro-Hidalguense. Reportan poblaciones de *A. kotschoubeyanus* en Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Figura 1). Finalmente, resaltan la importancia de estudiar los patrones de distribución y de la biodiversidad a nivel local y regional.

Sánchez et al. (2006), presentan una reseña de la evaluación de riesgo local de *A. kotschoubeyanus* con la cual fue declarada como especie amenazada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-94 publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1994, bajo los siguientes criterios: *A. kotschoubeyanus* presenta alta especificidad de hábitat estableciéndose en sitios planos donde afloran las lutitas y cuyo hábitat es propicio, pero se encuentra altamente fragmentado, documentando la desaparición de algunas poblaciones por la construcción de infraestructura urbana o carreteras. Reconocen que hay desconocimiento de los detalles de su dinámica demográfica y sus estrategias reproductivas y la catalogan como una especie con ciclo de vida relativamente largo.

Por otro lado, con la visión de favorecer su conservación y disminuir en gran medida los saqueos, a través de la comercialización legal y con el objetivo de aumentar el número de individuos en sus poblaciones naturales, se han hecho estudios de propagación *in vitro* de *A. kotschoubeyanus*. Moebius-Goldammer et al. (2003), publicaron sus resultados en relación a su propagación a partir de la germinación de semillas y cultivo de tejidos. Sus resultados mostraron que el establecimiento de las plantas cultivadas en el suelo en condiciones de invernadero, no presentan problemas significativos, por lo que proponen a este método como una buena opción para su propagación y reintroducción en las áreas que eran ocupadas por esta especie. Según los autores, esta técnica también permitiría asegurar que los ejemplares que son vendidos tanto en el interior del país como en el extranjero, sean provenientes de un vivero certificado, disminuyendo así los saqueos y por consecuencia, esto permitirá mejorar su estado de conservación (Moebius-Goldammer et al., 2003).

Aunque estos resultados parecen positivos y alentadores para la conservación de *A. kotschoubeyanus*, se conoce que los coleccionistas prefieren obtener ejemplares exóticos extraídos de su medio natural a los obtenidos de algún invernadero pagando grandes sumas de dinero. Además, hay claros antecedentes que muestran que aunque las técnicas de propagación *in vitro* han permitido generar mayor cantidad de individuos no siempre son tan exitosos cuando se trata de reintroducir a su medio natural.

Dentro de las técnicas de propagación *in vitro* hay varios pasos como el de aclimatación en los cuales las plántulas generadas son colocadas en cámaras especiales con temperatura, humedad y luz controladas. Estas condiciones son modificadas gradualmente hasta simular las condiciones exteriores, para tratar de asegurar que las plantas obtenidas puedan sobrevivir en las condiciones ambientales externas.

No obstante, es conocido que en proyectos de regeneración de vegetación, reintroducción e introducción de especies en un área, una gran proporción de los individuos mueren durante las primeras semanas ya que no pueden soportar las condiciones ambientales reales por ser más extremas que las simuladas en invernaderos (Bethlenfalvay et al.,

1984; Carrillo-García et al., 1999). Además hay muchos otros factores ecológicos que limitan su sobrevivencia tales como los bajos índices de crecimiento en su ambiente natural (Bashan et al., 2000), las condiciones microambientales necesarias para su establecimiento, la microbiota con los que están relacionados positivamente (micorrizas) o negativamente (patógenos) y sobre todo las relaciones ecológicas de competencia y/o facilitación que existen entre las plantas durante su establecimiento (Valiente-Baunet et al., 1991; Cody, 1993; Callaway, 1995), que al no ser aportadas durante su propagación o en condiciones de invernadero, finalmente limitan su establecimiento (Pavlik, 1996). Actualmente hay numerosas técnicas para favorecer el establecimiento de una especie para restaurar ambientes áridos y semiáridos. Sin embargo, sorprendentemente, en planes de restauración muy pocas veces se toma en cuenta el propio modelo de distribución espacial de la especie seleccionada, los patrones espaciales de la vegetación existente y de los factores abióticos a los que está directamente relacionada (Maestre, 2006; Padilla y Pugnaire 2006 en Maestre, 2006), siendo estos elementos clave para el establecimiento de una especie.

Por lo tanto, no se debe dejar de lado la importancia de los estudios en campo ya que estos aportan mayor información sobre el microhábitat, las posibles amenazas y los factores que intervienen en la ecología de las poblaciones de una especie amenazada (Hernández y Godínez, 1994). Estos conocimientos, deben ser utilizados para diseñar planes de conservación o programas de rescate y reintroducción a su medio natural siguiendo los patrones de distribución y utilizando las asociaciones bióticas o abióticas propias que faciliten la supervivencia y el establecimiento de la especie.

Para conocer el microhábitat en el que se desarrolla *A. kotschoubeyanus*, las posibles interacciones con otras plantas para su establecimiento y su distribución espacial, es importante reconocer que la estructura vegetal de una zona depende en gran medida de las combinaciones de las relaciones positivas y negativas entre las especies (Calaway y Walter, 1997; Graff et al., 2007).

Los primeros estudios de estas relaciones ecológicas dieron énfasis al predominio de interacciones interespecíficas negativas (competencia), donde las principales relaciones negativas estudiadas han sido: la competencia por recursos y los efectos de alelopatía. Más recientemente, la evidencia del papel que juegan las interacciones positivas entre las plantas (facilitación) está aumentando (Callaway, 1995). En zonas áridas y semiáridas se han caracterizado varios fenómenos de competencia y facilitación como el nodricismo (Valiente-Baunet et al., 1991; Cody, 1993).

Estudios en zonas áridas documentan la interacción específica de plantas nodrizas, casi siempre arbustos perennes, las cuales aumentan la sobrevivencia, y el reclutamiento de plantas suculentas al modificar su ambiente bajo su dosel (Valiente-Baunet et al., 1991; Cody, 1993). La interacción planta-nodrizas (que es un tipo de facilitación), tiene diferentes funciones, por un lado amortigua las condiciones ambientales, proporcionando micrositios sombreados con menor radiación solar directa; amortigua las temperaturas extremas del día y disminuye la evaporación; protegen contra herbivoría y la destrucción de frutos, con esto influyen directamente en la distribución no azarosa de las semillas; estabilizan la erosión del suelo y aumentan su fertilidad (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Baunet y Ezcurra, 1991; Cody, 1993; Suzán et al., 1996; Carrillo-García, 1999).

Hay otros factores abióticos que han sido considerados en la explicación del fenómeno del nodricismo como la concentración de Nitrógeno (N). Valiente-Baunet y Ezcurra (1991), evaluaron las concentraciones de N en el suelo cerca de las plantas nodrizas comparándola con las concentraciones de los lugares abiertos. Sus resultados descartan la importancia de la concentración de N, al menos en la zona estudiada, ya que la concentración de N resultó ser mayor en las zonas abiertas que debajo del dosel de las plantas nodrizas. Suzán y Sosa (2006), reportan resultados parecidos para el Desierto Sonorense.

Carrillo-García et al. (1999), estudiaron las micorrizas arbusculares (MA) de *Prosopis articulata* y *Olneya tesota* nodrizas de *Pachycereus pringlei* y *Agave datylio* respectivamente, considerando a las MA como uno de los factores bióticos relacionados

al establecimiento de plantas suculentas. Su trabajo muestra que las MA contribuyen al establecimiento de estas plantas al amortiguar el estrés por falta de nutrimentos y ante la sequía. Así mismo, las micorrizas permiten a las plantas nodrizas estabilizar la erosión del suelo, amortigua las condiciones ambientales y ayudan al establecimiento de plantas colonizadoras.

Sin embargo, se asume que la principal razón de la distribución agregada y asociada a arbustos nodriza-perennes, es la protección ante la excesiva radiación y amortiguamiento ante temperaturas extremas, siendo esta una característica de zonas áridas (Valiente-Baunet et al., 1991; Suzán et al., 1996). De este modo, el microambiente proporcionado facilita la germinación y establecimiento de las plantas aumentando su reclutamiento bajo las plantas nodrizas. (Franco y Nobel, 1989; Suzán et al., 1996). No obstante, esta relación también puede mostrarse en un sentido negativo, ya que aumenta la competencia por agua o luz disminuyendo la tasa de crecimiento de las plantas que crecen bajo el dosel (Franco y Nobel, 1989).

En relación al género *Ariocarpus*, Suzán et al. (1997), elaboraron un análisis de viabilidad de las poblaciones de la cactácea amenazada *Ariocarpus trigonus*, para ello incluyeron las relaciones de *A. trigonus* con las plantas perennes que le suministran sombra. Compararon las distancias planta perenne-*A. trigonus* contra distancias de puntos al azar-plantas perennes. De las 1,343 plantas muestreadas, 653 presentaban nodrizas aparentes y 435 tenían un resto de alguna planta perenne cercana, dando un total de 1,088 plantas con evidencias de nodricismo.

Por otro lado, las distancias puntos al azar-planta perenne más cercana fueron significativamente diferentes de las cactus-nodriza, sugiriendo una posible dependencia de *A. trigonus* con nodrizas que le proporcionan sombra, en este caso *Prosopis laevigata* y *Cercidium sp.* Los análisis térmicos de plantas indican que a pesar de tener la capacidad de termoregular a sol abierto, las plantas encontradas en sitios sombreados presentan mejores características (es decir, mayor diámetro y menor daño por hervivoría e insolación) (Suzán et al., 1997). Por lo que estos resultados apoyan la hipótesis de la



relación planta-nodrizo.

Recientemente se han propuesto y criticado varios modelos para estudiar las asociaciones y patrones de distribución, uno de ellos es el Sistema de Análisis Espacial por Índices de Distancia SADIE (por sus siglas en inglés). El método SADIE ha sido desarrollado en los últimos años para cuantificar patrones espaciales, particularmente en la determinación de rangos de los patrones observados y cuantificación de la correlación entre especies (Perry, 1998; Xianming y Madden, 2003).

En este sentido, SADIE ha sido utilizado en trabajos recientes para analizar patrones espaciales de plantas en zonas áridas relacionando la cobertura espacial y los patrones de distribución con las propiedades bióticas y abióticas de la superficie del suelo (Maestre y Cortina, 2002; Maestre et al., 2005; Miriti, 2005). Maestre et al., (2003) usaron el modelo SADIE relacionando los patrones espaciales de vegetación y las propiedades de la superficie del suelo como musgos, fragmentos de roca y lombrices de tierra. Zuñiga et al. (2005), determinaron las interacciones Planta-Nodrizo en *Lophophora difusa* en un Desierto subtropical de México.

Por lo que, nosotros utilizamos el método SADIE para determinar el patrón de distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* y para identificar las posibles asociaciones a plantas perennes de la comunidad vegetal. Además de realizar una caracterización de las condiciones microambientales condicionantes de la distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* tales como tipo de suelo, luz, temperatura y humedad.

## IV. Hipótesis

El establecimiento de las poblaciones de cactáceas en zonas áridas, está relacionado a las condiciones del hábitat generadas por factores bióticos y/o abióticos y por las interacciones específicas de la comunidad vegetal, lo cual en su conjunto aumentan el reclutamiento, sobrevivencia y determinan su distribución espacial. De modo que *A. kotschoubeyanus* presentará un patrón de distribución espacial asociado a los factores (abióticos o bióticos) que les proporcionen las condiciones microambientales óptimas manifestándose en un mayor número de individuos asociados a éstos.

## V. Objetivo general

Determinar los factores bióticos y abióticos condicionantes de la distribución espacial de *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum (Cactaceae).

### 5.1 Objetivos particulares

Determinar el patrón de distribución espacial de *A. kotschoubeyanus*.

Determinar las asociaciones espaciales de *A. kotschoubeyanus* con otras plantas y enumerar las posibles plantas nodrizas y su coeficiente de relación.

Analizar y describir los factores abióticos asociados a la distribución espacial de *A. kotschoubeyanus*.

## VI. Materiales y Métodos

### 6.1 Sitio de estudio

Este estudio se llevó a cabo en una población de *A. kotschoubeyanus* localizada en el sureste del semidesierto Queretano, en la localidad de Vista Hermosa al norte de la comunidad Mesa de León, Municipio de Cadereyta, Querétaro, a 20.68745° latitud norte y a 99.58919° latitud Oeste.

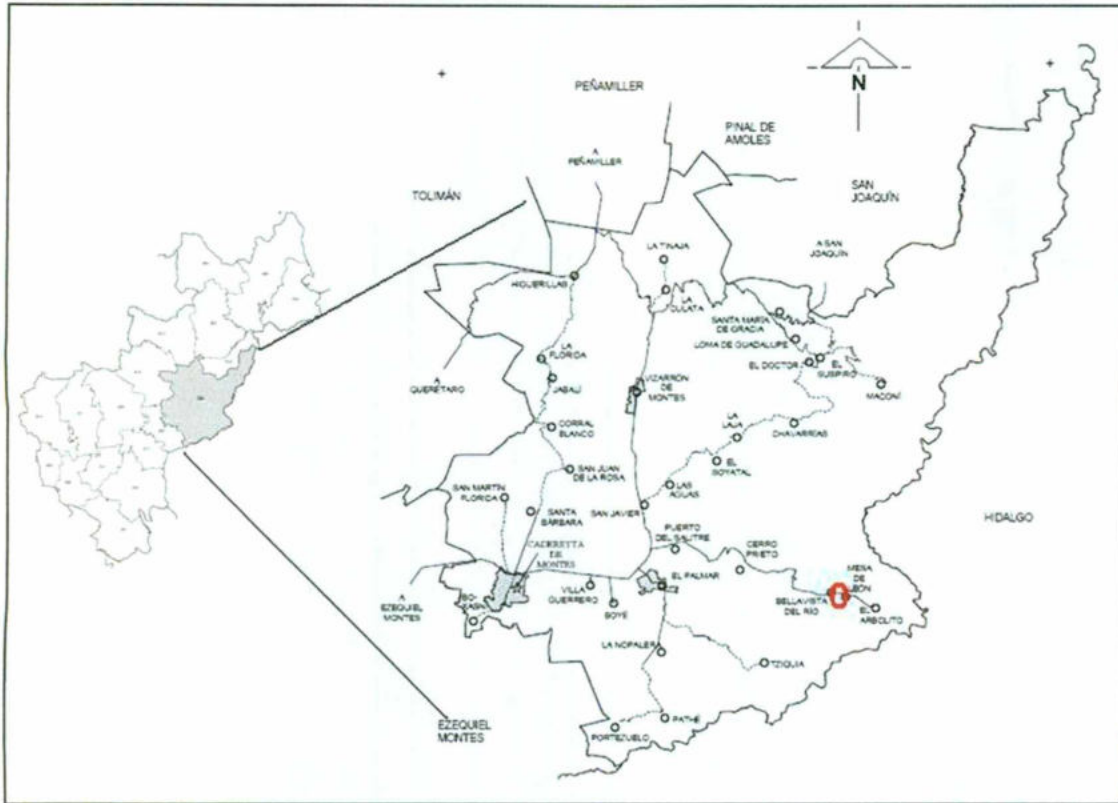
El clima es del tipo semiseco templado (BS1k). La temperatura promedio del municipio es 15.9°C. La temperatura media mensual registradas muestran que los meses más fríos son diciembre, enero y febrero (12.6°C promedio), siendo enero el mes que presenta el mayor número de heladas. Los meses más calurosos corresponden los meses de mayo a agosto con un promedio de 18.4°C. (CNA, 2004. Registro Mensual de Temperatura Media en °C). Registrándose temperaturas extremas de varios grados bajo cero por las mañanas y hasta 55°C a medio día, en el área de estudio.

La precipitación promedio anual son 535mm. La temporada de lluvia se presenta en los meses de junio a septiembre con un promedio de 95.4mm total mensual. La temporada de sequía corresponde a los meses de noviembre a febrero con un promedio de precipitación anual mensual de 10.4mm. (CNA 2004. Registro Mensual de Precipitación Pluvial en mm.).

El tipo de vegetación característico de la zona es matorral xerófilo micrófilo (Sánchez et al., 2006). Esta vegetación es característica de laderas de lutita, los arbustos están muy espaciados entre sí; las especies más frecuentes son *Acacia vernicosa*, (huizache) *Condalia mexicana*, *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata* (gobernadora) y *Prosopis laevigata* (mezquite). Otros arbustos que se pueden encontrar en esta comunidad son: *Agave lecheguilla*, *A. striata*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia* sp, *Lippia graveolens* y *Cylindropuntia imbricata* (Zamudio et al., 1992).

Varias cactáceas de tallos globosos o cilíndricos son frecuentes en estos matorrales, tales

como: *Astrophytum ornatum*, *Coryphantha* sp, *Echinocactus* sp, *Echinocereus* sp, *Ferocactus* sp, y numerosas *Mammillaria* sp. Las plantas herbáceas son escasas, al igual que las trepadoras y epífitas (Zamudio et al., 1992).



**Figura 3.** Localización geográfica del área de estudio. Localidad de Vista Hermosa al norte de la comunidad Mesa de León, Municipio de Cadereyta, Querétaro. Se señala con un círculo rojo la localización de la población de *A. kotschoubeyanus* estudiada.

### 6.2 Caracterización de la población de *A. kotschoubeyanus*

A fin de tener una idea general de la composición de la población, se midió el diámetro superficial en centímetros de todos los individuos de *A. kotschoubeyanus* que fueron encontrados en un área de 20 m<sup>2</sup> dentro de las cuadrículas utilizadas en el análisis de distribución espacial de 1x1m. Los ejemplares fueron clasificados en categorías de diámetros (intervalos de clase de 1 cm).

### 6.3 Caracterización de la estructura vegetal

Se determinó la estructura vegetal del área de estudio usando el método propuesto por McAuliffe (1990) para estimar densidad y cobertura en comunidades vegetales de zonas

áridas. Se usaron 4 lotes circulares de 8.9 m de radio (250 m<sup>2</sup>) en los que se registró el número de plantas por especie y se tomaron las medidas de cobertura promedio del dosel midiendo en dos direcciones asumiendo que el dosel presenta una arquitectura circular.

Con los datos obtenidos se estimó la frecuencia, densidad y cobertura relativas, así como el valor de importancia para cada especie. Donde Frecuencia relativa (Fr) corresponde a los valores de frecuencia de una especie entre el total de los valores de frecuencia de todas las especies. Densidad relativa (Dr) es el número de individuos de una especie entre el total de individuos de todas las especies. Cobertura relativa (Cr) se obtiene de la cobertura absoluta de una especie entre la cobertura total de todas las especies. Finalmente el valor de importancia (VI) es la suma de la frecuencia, densidad y cobertura relativas por cien (Cox, 1980).

$$VI = (dr+cr+fr) \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

#### 6.4 Índices de biodiversidad

Usando el número de individuos por especie se obtuvieron los siguientes índices de heterogeneidad: Simpson y su recíproco (N2), Shannon H' y su recíproco (N1) Numero de comunes especies, Brillouin y los siguientes índices de uniformidad: Camargo E' y Simpson E 1/D, usando el programa Ecological Methodology 2<sup>a</sup> edición.

#### 6.5 Caracterización de suelos

Como parte importante de los objetivos de estudio y a fin de conocer las características de los suelos en el sitio en que crecen los individuos de *A. kotschobeyanus*, se hizo una caracterización general del suelo.

Se hicieron dos perfiles cuadrangulares de 40cm por lado y la profundidad fue determinada al aparecer la roca madre del perfil. Los perfiles fueron hechos en dos áreas, la primera corresponde a un área desprovista de vegetación entre los espacios de las islas de vegetación donde no se encontró a *A. kotschobeyanus*. La segunda muestra fue tomada en un área sin vegetación donde se localizó un manchón de individuos de *A. kotschobeyanus*. Siguiendo los métodos estándar (según la NOM-021-RECNAT-2000),

se colectó aproximadamente 1kg de suelo por cada horizonte en cada uno de los perfiles realizados (cuatro muestras en total). Algunos datos fueron tomados *in situ*, tales como humedad y pH usando un medidor de humedad y un potenciómetro de campo (Soil Tester modelo HB-2, marca Kelway soil) y se determinó el color usando las cartas Munsell (en seco y en húmedo).

Las muestras de suelo fueron colectadas en bolsas de plástico y fueron guardadas a la sombra, hasta su análisis. Los suelos fueron tamizados en la malla 5 (+/- 4mm) y fueron secados a la sombra durante 6 días en charolas de plástico. Se molieron usando un mortero de madera, se tamizaron nuevamente usando la malla 10 (+/- 2mm), se homogeneizaron y se tomaron submuestras de 100g para la caracterización física y química básica siguiendo los métodos de la NOM-021-RECNAT-2000.

#### 6.5.1 Caracterización física del suelo

La caracterización física del suelo comprendió la determinación de las propiedades texturales por el método de Bouyoucos, la densidad aparente por el método de la probeta, densidad real a través del método del picnómetro y el porcentaje de poros en el suelo, según la NOM-021-RECNAT-2000.

#### 6.5.2 Caracterización química del suelo

La caracterización química se realizó determinando la reacción del suelo o pH en agua y KCl, midiendo una relación 1:2.5 con el potenciómetro. Se determinó la cantidad de nitrógeno total (N tot) con la técnica de Microkjeldahl, y se cuantificó la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) por el método de Walkley y Black según la NOM-021-RECNAT-2000.

Finalmente, debido a que la zona de estudio esta caracterizada por la presencia de lutitas y había varias cubriendo la superficie de los *A. kotschoubeyanus* se hizo un análisis visual del porcentaje de la superficie cubierta por éstas rocas en relación al total de la superficie de los cactus, como un factor abiótico asociado a su hábitat. Se utilizó un acetato graduado en centímetros, el cual se sobrepuso en la superficie de los cactus encontrados

en un cuadrante 5x5 m (25m<sup>2</sup>) para cuantificar esta relación en porcentajes y se cuantificó el número de rocas por cada cactus.

### 6.6 Caracterización de las condiciones ambientales

A fin de conocer las condiciones ambientales extremas del área de estudio, se midió la radiación solar y la temperatura superficial del suelo en dos épocas del año las cuales presentan las temperaturas extremas más importantes del año y con lo cual se puede apreciar el estrés térmico (Suzán et al., 1997). Se hizo una medición en la época de lluvias (agosto 2007) ya que es uno de los meses más lluviosos con altas temperaturas al medio día (CNA, 2004). El otro registro se efectuó en el mes de enero (2008) ya que este mes registra los días más fríos y secos del año (CNA, 2004).

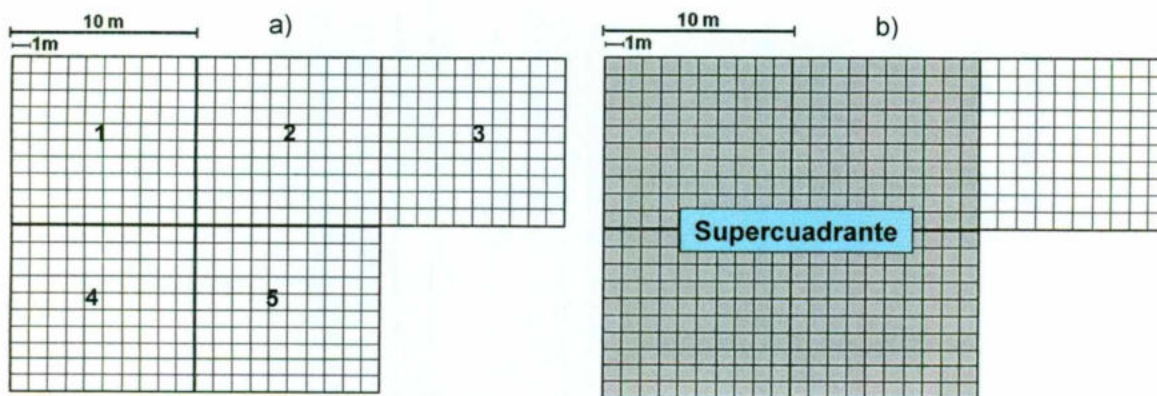
A fin de registrar la intensidad de la radiación solar y el posible amortiguamiento debajo del dosel, se midió la radiación solar en el espectro de la radiación fotosintéticamente activa (400 a 700 nm) de Flujo de Fotones Fotosintéticos (FFF) utilizando un fotómetro LI-COR PAR LI-250 Light meter, a las 12pm, considerando el promedio de radiación que el aparato mide en un minuto. Se eligieron 15 individuos de las 5 especies con mayor cobertura relativa (Cr) y valor de importancia (VI), en los cuales se hicieron dos mediciones: 1) FFF debajo del dosel (en la sombra producida por el dosel de la planta, medida siempre a 5cm de distancia del tronco principal) y 2) FFF encima del dosel.

Los registros de temperatura se hicieron usando un termómetro digital de láser Oakton a las 6am y 12pm. Se registraron las temperaturas de los 15 individuos de las 5 especies con mayor (Cr) y (VI). Para cada caso se midieron tres temperaturas: 1) la temperatura superficial de la planta, 2) la temperatura debajo del dosel (la sombra producida debajo del dosel, medida a 5 cm del tronco principal) y 3) la temperatura superficial del suelo del lugar abierto más próximo a la planta (dejando al menos unos 30 centímetros de distancia de la planta medida en dirección opuesta a la sombra generada).

En los dos muestreos (agosto y enero), las mediciones se iniciaron a las 12 del día, anotando la hora de inicio y final de cada 15 individuos por especie para obtener la correlación del tiempo y el aumento de radiación solar o temperatura. Los datos de radiación solar y temperatura fueron analizados usando el programa estadístico comercial JMP 5.0.1

### 6.7 Análisis de distribución espacial

Para la determinación del patrón de distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* y sus interacciones con las especies de la comunidad vegetal se usó el Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE por sus siglas en inglés). Se marcaron 5 cuadrantes consecutivos (3+2) de 10x10m (100m<sup>2</sup>), los cuales fueron a su vez subdivididos en una cuadrícula de 1x1m (Figura 4a). En cada m<sup>2</sup> se registró el número de individuos por especie. Los datos obtenidos fueron analizados usando el programa SADIE Shell v 1.22 (© Kelvin F. Conrad y IACR-Rothamstead) para mostrar las relaciones espaciales y determinar el tipo de distribución, calculando los índices de agregación según Perry et al. (1999). Los índices fueron calculados individualmente por cuadrante y en conjunto al agruparlos en un supercuadrante (400m<sup>2</sup>) que incluyó los cuadrantes 1, 2, 4 y 5 (Figura 4b).



**Figura 4.** Cuadrantes para el análisis de la distribución espacial. a) 5 cuadrantes de 10x10m, con subdivisiones de 1x1m y b) supercuadrante de 20x20m (cuadrante 1,2,4 y 5).



Para determinar los patrones de distribución espacial de cada especie se obtuvieron los índices de agregación  $I_a$ , cuya base matemática es una estimación de la distancia mínima en el espacio  $D$ , requerida para obtener la regularidad, es decir, que los distintos valores de la variable estudiada alcancen el valor promedio en todas las posiciones del espacio. Una vez obtenido el valor  $D$  de los datos ( $D_{obs}$ ), se efectúa una evaluación que permite decir si estadísticamente este valor difiere de la aleatoriedad. Para ello, SADIE usa un test de permutaciones donde los valores de la variable son distribuidos al azar en el espacio; esto se repite varios cientos o miles de veces, calculando  $D$  en cada una de estas permutaciones y obteniéndose así su distribución de frecuencias. La división del valor observado,  $D_{obs}$ , entre el valor medio,  $D_{perm}$ , obtenido a partir de las permutaciones genera un índice de agregación

$$I_a = \frac{D}{D_{rand}}$$

El  $I_a$ , que describe el patrón espacial de los datos: comúnmente, el patrón espacial es agregado, cuando  $I_a > 1$ , aleatorio si  $I_a = 1$  y regular si  $I_a < 1$ . La significación estadística de  $D$  (P-valor) puede obtenerse calculando qué proporción de valores de  $D$  en la distribución de frecuencias tiene un valor igual o mayor al valor observado.

Con el programa SADIE también es posible obtener información sobre asociaciones espaciales entre dos poblaciones (o especies) estimando la contribución de cada unidad muestral al coeficiente de correlación global denominado "X" (Maestre, 2003). Este sistema se ha utilizado para analizar asociaciones como nodricismo (Zuñiga et al., 2005).

Otro índice complementario proporcionado por SADIE es el índice de agrupación ( $V$ ), que mide el grado de agrupación de los datos en manchas (zonas con cobertura superior a la media) y claros (zonas con cobertura inferior a la media). A su vez, este índice cuantifica el grado en el que cada unidad de muestreo contribuye al patrón espacial global en los datos. Unidades muestrales situadas dentro de una mancha, tienen valores de  $V$  (por convención  $V_i$ ) elevados y positivos, mientras que aquellas que forman un claro presentan valores de  $V$  (por convención  $V_j$ ) elevados y negativos. La presencia de

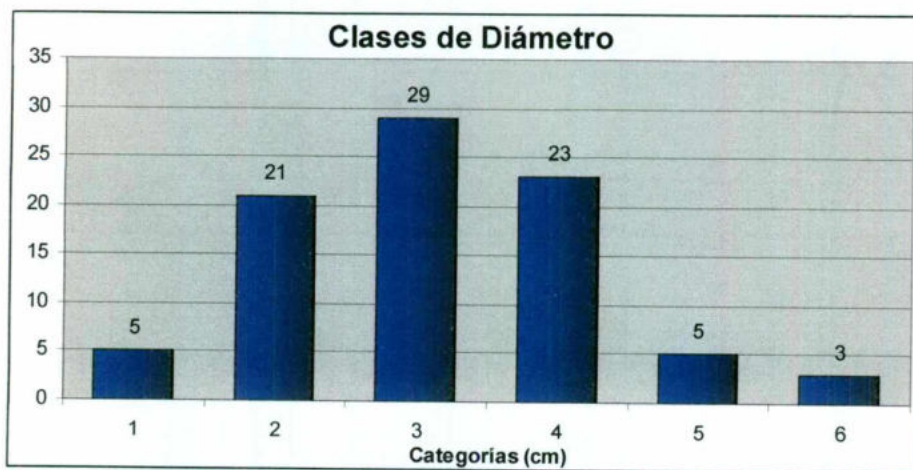
agrupaciones en los datos, viene dada por valores elevados de  $V_i$  o  $V_j$ . Valores de  $V_i$  mayores que 1.5 indican la presencia de una mancha, mientras que valores de  $V_j$  inferiores a -1.5 indican la existencia de un claro; aquellos valores cercanos a 1 indican una distribución aleatoria de esa unidad (Perry et al., 1999). Para representar visualmente la localización y tamaño de las manchas y los claros se utilizaron los índices de agregación local ( $V_i$  y  $V_j$ ) y de asociación local ( $\chi_p$ ) para trazar mapas con el programa SURFER v. 8.02 Oct 2001 (Surface Mapping System © 1993-2002, Golden Software, Inc).

## VII. Resultados

### 7.1 Estructura vegetal

#### 7.1.1 Caracterización de la población de *A. kotschoubeyanus*

Se encontraron 733 plantas de *A. kotschoubeyanus* en los 5 cuadrantes trazados para el análisis de distribución espacial. Se midió el diámetro de 86 ejemplares registrados en 20 m<sup>2</sup> dentro de las cuadrículas utilizadas en el análisis de distribución espacial de 1x1m. Los ejemplares fueron agrupados en 6 clases según su diámetro en cm, la Figura 5 muestra un histograma de frecuencias relativas del diámetro de las plantas medidas. El diámetro promedio fue de 3.44cm, encontrándose el 85% del total de individuos en las clases de diámetro 2 a 4 (2 a 4.9cm). Siendo las clases 1, 5 y 6 las que contienen menos individuos. La clase 1 (1 a 1.9 cm) contiene sólo 5 individuos lo cual indica que hay bajo reclutamiento de individuos, además es importante señalar que no se encontraron individuos de diámetro menor a 1 cm.



**Figura 5.** Clases de diámetros de *A. kotschoubeyanus*. Muestra las clases de diámetro obtenidos a partir de 86 ejemplares medidos. El diámetro promedio fue de 3.44cm. El bajo número de individuos de la clase 1 (1 a 1.9 cm) indica el escaso reclutamiento de individuos en la población estudiada.

#### 7.1.2 Caracterización de la Vegetación

Respecto a la caracterización de la vegetación del área estudiada, fueron encontradas 16 especies arbóreas, arbustivas y anuales, de las cuales sólo trece son plantas perennes (Tabla 1). Las especies encontradas en el área de estudiada son características del matorral xerófilo micrófilo, según Sánchez et al., (2006). La altura promedio de la vegetación registró 54.6cm. Debido a la proximidad de *A. kotschoubeyanus* con dos

especies de hierbas anuales de crecimiento rastrero *Tiquilia canescens* y *Tiquilia sp*, fueron consideradas para los análisis espaciales, aunque por definición se descarta su asociación como posible nodriza. La tabla 1 menciona la forma de vida de las especies encontradas en el área de estudio.

	Familia	Tipo de planta	
<i>Acacia vernicosa</i>	Fabaceae	Arbusto	Perenne
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	Cactaceae	Cactus geófito	Perenne
<i>Agave striata</i>	Agavaceae	Rocetacea	Perenne
Cactáceas varias*	Cactaceae	Cactus globoso	Perenne
<i>Calanticaria bicolor</i>	Asteraceae	Arbusto enano	Perenne
<i>Chrysactinia mexicana</i>	Asteraceae	Arbusto enano	Perenne
<i>Dasylyrion longissimum</i>	Ruscaceae	Palmera	Perenne
<i>Jatropha dioica</i>	Euphorbiaceae	Suculenta	Perenne
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Rhamnaceae	Arbusto	Perenne
<i>Mammillaria elongata</i>	Cactaceae	Cactus globoso	Perenne
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	Cactaceae	Cactus	Perenne
<i>Opuntia lindheimeri</i>	Cactaceae	Cactus	Perenne
<i>Piqueria trinervia</i>	Asteraceae	Hierba	Anual
<i>Turnera diffusa</i>	Turneraceae	Arbusto enano	Perenne
<i>Tiquilia canescens</i>	Boraginaceae	Hierba rastrera	Anual
<i>Tiquilia sp</i>	Boraginaceae	Hierba rastrera	Anual

**Tabla 1.** Especies encontradas en el área de muestreo. Muestra la especie, la familia, forma de vida y permanencia. Cactáceas varias\* incluyen especies de *Coryphantha*, *Neolloyda*, *Thelocactus*, *Echinocactus* y varias *Mammillaria sp*.

De las cactáceas globosas encontradas sólo *Mammillaria longata* fue contabilizada y medida individualmente debido a su abundancia, mientras que el resto de las cactáceas globosas al no ser tan abundantes fueron incluidas en un solo grupo (Cactáceas varias). Este grupo incluye individuos de las siguientes especies *Coryphantha radians*, *Neolloyda conoidea*, *Thelocactus leucacanthus*, *Echinocactus sp* y varias *Mammillaria sp*.

De las 12 especies arbóreas y arbustivas que componen la comunidad vegetal del área de estudio *Acacia vernicosa* presentó el valor de importancia más alto (VI=148.64), seguida por *Karwinskia humboldtiana*, *Calanticaria bicolor*, *Agave striata*, *Turnera diffusa* y *Cylindropuntia imbricata* (Tabla 2). *A. striata* es la especie con mayor densidad relativa (Dr= 22.55) pues presenta el mayor número de individuos (279), mientras que *Acacia vernicosa* aunque no presenta una alta densidad en relación a las otras especies (Dr= 5.82) es la especie más dominante al cubrir la mayor proporción de área en el lugar de estudio teniendo una cobertura relativa de 42.82 (ver Tabla 2).

	Número de individuos	D	Dr	Fr	C	Cr	VI
1 <i>Agave striata</i>	279	1.12	<b>0.23</b>	0.75	5077.67	0.147	112.27
2 <i>Calantaria bicolor</i>	201	0.80	0.16	1	4862.20	0.141	130.34
3 <i>Karwinskia humboldtiana</i>	140	0.56	0.11	1	8070.74	0.234	134.71
4 <i>Chrysactinia mexicana</i>	127	0.51	0.10	0.25	18.21	0.001	35.32
5 <i>Mammillaria longata</i>	125	0.50	0.10	0.5	9.50	0.000	60.13
6 <i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	111	0.44	0.09	0.25	10.34	0.000	34.00
7 Cactáceas varias	86	0.34	0.07	0.25	89.00	0.003	32.21
8 <i>Acacia vernicosa</i>	72	0.29	0.06	1	14774.14	<b>0.428</b>	<b>148.64</b>
9 <i>Turnera diffusa</i>	51	0.20	0.04	1	377.59	0.011	105.22
10 <i>Opuntia lindheimeri</i>	12	0.05	0.01	0.5	231.10	0.007	51.64
11 <i>Cylindropuntia imbricata</i>	10	0.04	0.01	1	116.72	0.003	101.15
12 <i>Piqueria trinervia</i>	9	0.04	0.01	0.25	168.62	0.005	26.22
13 <i>Jatropha dioica</i>	9	0.04	0.01	0.5	379.43	0.011	51.83
14 <i>Dasyliion longissimum</i>	5	0.02	0.00	0.5	318.47	0.009	51.33
<b>Total</b>	<b>1237</b>		<b>1</b>		<b>34503.74</b>	<b>1</b>	

**Tabla 2.** Valor de importancia de las especies arbóreas, arbustivas y cactáceas de la comunidad vegetal muestreadas en Vista Hermosa, Cadereyta Querétaro. Donde el valor de importancia (VI) es la suma de la densidad relativa (Dr), frecuencia relativa (Fr) y cobertura relativa (Cr) por 100.

Los índices de heterogeneidad y uniformidad obtenidos muestran que la comunidad vegetal muestreada es diversa (Tabla 3).

<b>Índices de Heterogeneidad y uniformidad*</b>	
Simpson	0.87
Reciproco de Simpson D (N2)	7.75
Shannon H'	3.21
Numero de comunes especies (N)	9.24
Brillouin	3.17
* Camargo E'	0.41
* Simpson E 1/D	0.52

**Tabla 3.** Índices de Heterogeneidad y Uniformidad para la vegetación del sitio de estudio.

## 7.2 Caracterización del suelo

Los perfiles obtenidos mostraron un suelo de escasa profundidad con dos horizontes bien delimitados. El perfil 1 correspondiente a la zona abierta donde crece *A. kotschoubeyanus* fue de 28 cm de profundidad. El perfil 2 que corresponde a la zona sin cobertura vegetal entre las islas de vegetación donde no crece *A. kotschoubeyanus*, tuvo una profundidad de 24 cm. En ambas zonas el color del horizonte superficial corresponde a gris rojizo (5yR 5/2) en seco y pardo rojizo (5yR 4/4) en húmedo según la escala de Munsell, lo que indica que los sitios sin cubierta arbustiva del área de estudio corresponde a una sola unidad edafológica con características físicas homogéneas. Los resultados de los análisis físicos y químicos realizados se muestran en la Tabla 4.

Caracterización física del suelo										
Perfil	Horizonte	Profundidad	Densidad aparente	Densidad real	Textura %			Humedad	Temperatura °C	
					Limo	Arcilla	Arena		6am	12pm
1	1	0- 19 cm	0.095	2.28	33.8	47.4	18.8	0.1	4.4 ±0.535	51.7 ±0.98
2	1	0- 18 cm	0.091	2.32	39.8	41.4	18.8	0.1	4 ±0.82	52.2 ±0.82
1	2	20- 30 cm	0.096	2.25	29.8	45.4	24.8	0.1	*	*
2	2	19- 24 cm	0.096	2.39	27.8	45.4	26.8	0.1	*	*

**Tabla 4.** Caracterización física del suelo. Se muestra la profundidad de los horizontes, densidad, textura, humedad y temperatura.

Según la pirámide de correspondencia de tipo de suelos, se trata de un suelo tipo arcillo limoso (según el USDA, Arena de 2 a 0.05mm, limo de 0.05 a 0.002mm, arcilla 0.002) (FitzPatrick, 1993). Es un suelo de baja humedad (0.1) y cuya temperatura superficial registrada alcanza en promedio los 4°C a las 6 am (antes del amanecer) y es superior a los 50°C al mediodía (Tabla 4).

Respecto a la caracterización química, según la clasificación proporcionada por la NOM-021-SEMARNAT-2000, un suelo de pH 7.6 se clasifica como un suelo medianamente alcalino (pH 7.4 a 8.5). Los análisis de nitrógeno se interpretan como suelo con muy baja cantidad de nitrógeno (0-10mg/kg). Los valores promedios para el % de materia orgánica total (MO tot) en suelos no volcánicos indican que es un suelo con porcentaje medio (Para ver los parámetros utilizados consultar Apéndice I).

Como puede observarse en la Tabla 4, los horizontes 1 (los horizontes más superficiales) de ambos perfiles, tienden a presentar mayor proporción de N total (1.5:1), % MO tot (1.44:1) y % C orgánico (1.44:1) que el horizonte 2 (1:2). Por otro lado, comparando la cantidad de materia orgánica (MO) y el porcentaje de C orgánico entre las dos áreas, la prueba de *t* pareada muestra que estas concentraciones tienden a ser mayores en el área donde crece *A. kotschoubeyanus*, siendo (MO; 6, P= 0.027\*) y (% C orgánico; 6, P= 0.027\*) en el horizonte 2 y (MO; 3, P=0.095) y (% C orgánico; 3, P=0.095) en el horizonte 1.

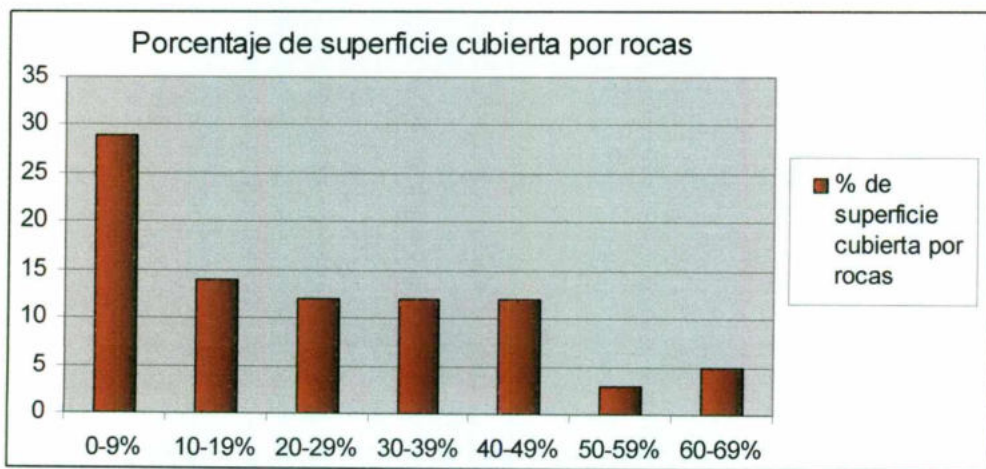
El análisis de pH y N total de las muestras edáficas colectadas en ambas áreas reveló que las variables mencionadas poseen valores similares y no difieren estadísticamente (P< 0.05, ver tabla 5). A continuación se detallan los resultados obtenidos de las relaciones espaciales estudiadas.

Caracterización Química del suelo													
Perfil	Horizonte	Profundidad	pH		Ntot mg/kg	Valor		%MO tot	Valor		%C orgánico	Valor	
			H <sub>2</sub> O	KCL		T	P		T	P		T	P
1	1	0-19 cm	7.66	7.17	0.32 ± 0.01			2.53 ± 0.09			1.26 ± 0.05		
2	1	0-18 cm	7.68	7.18	0.32 ± 0.04	-0.1	0.964	2.29 ± 0.05	3.0	0.095	1.15 ± 0.02	3.0	0.095
1	2	20-30 cm	7.62	7.18	0.21 ± 0.01	0.61	0.607	1.90 ± 0.09	6.0	0.027	0.95 ± 0.05	6.0	0.027
2	2	19-24 cm	7.59	7.11	0.21 ± 0.01			1.43 ± 0.05			0.72 ± 0.02		

**TABLA 5.** Caracterización química del suelo. Los perfiles fueron realizados en dos áreas sin cubierta vegetal donde: perfil 1 *A. kotschoubeyanus* presentes y perfil 2 ausentes.

### 7.3 Superficie cubierta por rocas

El análisis visual de la superficie de los cactus cubierta por pequeñas rocas y restos de lutitas indica que de 69 plantas de *A. kotschoubeyanus* encontrados en un área de 25 m<sup>2</sup>, 64 cactus (92.8%) tenían al menos una roca en su superficie. 29 cactus tuvieron de 0 a 9% de su superficie cubierta por rocas muy pequeñas, la máxima superficie cubierta por rocas fue de 60-69% y sólo 5 cactus lo presentaron. En promedio un 20.8% ( $\pm 16.84\%$ ) de la superficie total de los cactus está cubierta por roca(s). Los cactus presentaron en promedio 5.5 ( $\pm 4.7$ ) rocas en su superficie, las cuales medían desde 5mm a 6 cm de largo. La Figura 6 muestra más detalles.



**Figura 6.** Representa la superficie cubierta por rocas de los 69 *A. kotschoubeyanus* encontrados en un área de 25 m<sup>2</sup>.



## 7.4 Caracterización de las condiciones ambientales

En promedio las temperaturas superficiales del suelo registradas al medio día en la época de lluvia (agosto) fue de 44.9°C y la radiación (en FFF) tuvo un promedio de 1,063.5, mientras que la temporada de secas (enero) presentó una temperatura promedio de 49.3°C y una radiación de 1,145.09. La temperatura promedio de la superficie del suelo a las 6:00 am en el mes más frío (enero) fue de 4.4°C (Tabla 6).

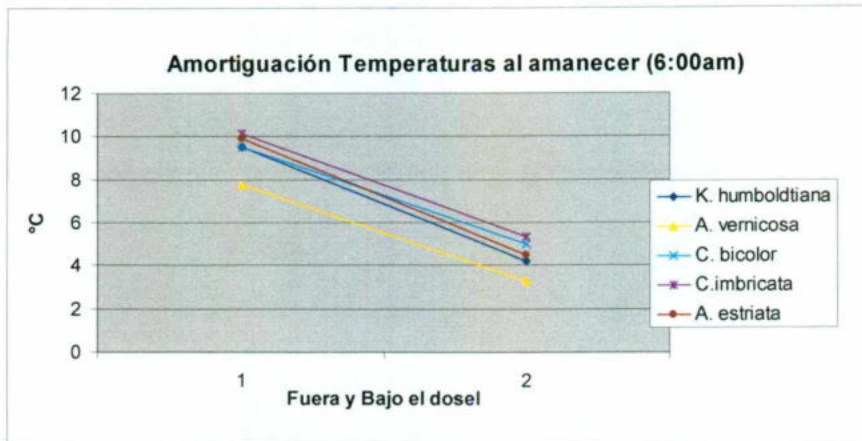
Temperatura y Radiación promedio		
	Epoca Lluvia	Epoca Secas
Temperatura suelo 12:00pm	44.9°C ±7.0	49.3°C ±3.4
Temperatura suelo 6:00am	*	4.48°C ±1.35
Radiación FFF	1063.52 ±154.4	1145.09 ±63.5

**Tabla 6.** Temperaturas superficiales del suelo y radiaciones. Representa el promedio y desv. Estd. de las temperaturas superficiales del suelo y radiación solar medida en Flujo de Fotones Fotosintéticos (FFF) registradas en la época de lluvia y secas a las 12:00pm y 6:00am, \* no hubo medición.

### 7.4.1 Temperaturas registradas al amanecer (6:00am.). Amortiguamiento ante congelación

La temperatura de la superficie del suelo fue medido a las 6:00am en uno de los meses que registra mayor número de heladas (enero). El promedio registrado durante nuestra medición fue de 4.4°C, la menor temperatura registrada fue de 1°C y la mayor fue de 13°C.

Para las temperaturas registradas al amanecer, se encontró una diferencia significativa entre la posición fuera y bajo el dosel de las especies con mayor Valor de Importancia (VI) ( $T=1.97$ ,  $\alpha=0.05$ ). El promedio registrado afuera de los doseles fue de 4.48°C ±1.35 y bajo los doseles fue de 9.37°C ± 1.33 (Figura 7).



**Figura 7.** Amortiguación de temperaturas bajo el dosel de las cinco especies con mayor VI. 1) área sin cobertura vegetal, 2) bajo el dosel de las plantas. Las temperaturas fueron registradas a las 6:00 am en el mes más frío del año (enero, 2008).

Haciendo una comparación entre las cinco especies con una prueba de Tukey con un  $\alpha=0.05$ , encontramos que la temperatura media registrada bajo el dosel de *A. vernicosa* fue menor respecto de las demás especies examinadas, lo que implica que es la especie con la menor capacidad de amortiguar las temperaturas frías del amanecer registrando un promedio de  $5.5^{\circ}\text{C}$ . Las especies *A. striata*, *C. bicolor* y *K. humboldtiana*, presentaron temperaturas similares bajo su dosel, mientras que *C. imbricata* es la especie que mejor puede amortiguar la temperatura al presentar la mayor temperatura bajo su dosel, media= $7.80^{\circ}\text{C}$  ( $\alpha=0.05$ ,  $n=15$ ) (Tabla 7).

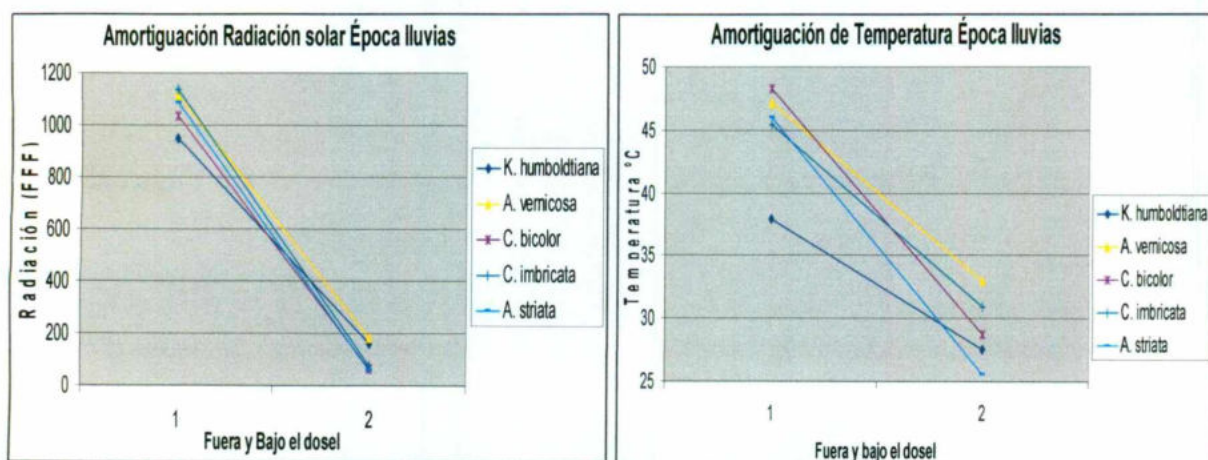
Especie		Media	Error Std
<i>C. imbricata</i>	A	7.80	0.2042
<i>A. striata</i>	B	7.20	0.2042
<i>C. bicolor</i>	B	7.17	0.2042
<i>K. humboldtiana</i>	B	6.97	0.2042
<i>A. vernicosa</i>	C	5.50	0.2042

**Tabla 7.** Comparación de la amortiguación de bajas temperaturas bajo el dosel de las cinco especies con mayor VI. Se muestran las medias de las temperaturas registradas en el mes de enero de 2008 a las 6:00am, para analizar el amortiguamiento de las temperaturas extremas (frías) bajo su dosel ( $T=1.97$ ,  $\alpha=0.05$ ,  $n=15$ ).

## 7.4.2 Radiación y temperatura en la temporada de lluvias

En promedio la temperatura superficial del suelo registrada al medio día en la época de lluvia (agosto) fue de  $44.9^{\circ}\text{C} \pm 7.0$  y la radiación (FFF en PAR) tuvo un promedio de  $1,063.5 \pm 154.4$ . La radiación más alta registrada fue de 1,264.2 y la temperatura superficial del suelo más alta registrada fue de  $60^{\circ}\text{C}$ .

La tabla 8 muestra los promedios y desviación estándar de la radiación y temperatura registradas bajo los doseles de las cinco especies con mayor Valor de Importancia (VI). Se puede observar que *A. striata* mostró los valores de radiación y temperaturas más bajas bajo su dosel, mientras que *A. vernicosa* presentó los valores más altos de radiación y temperatura (Figura 8).

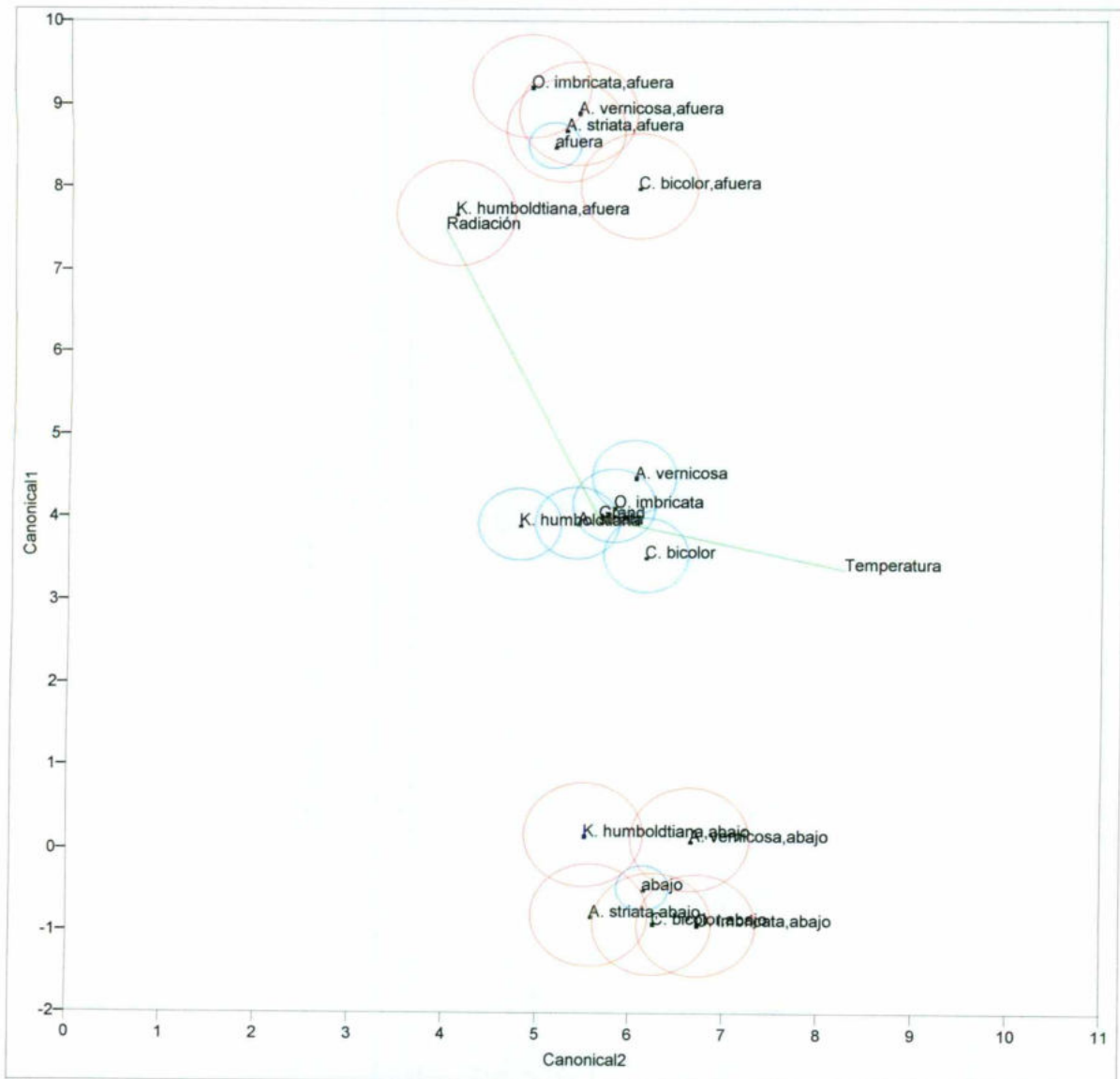


**Figura 8.** Gráficas de la amortiguación de la radiación solar (FFF) y amortiguación de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) registradas en la época de lluvias en 1) las zonas más próximas sin cobertura vegetal y 2) bajo el dosel de las cinco especies con mayor VI, medidas en agosto a las 12:00pm.

Época de lluvias (Agosto 2007)				
Especie	Radiación 12:00pm		Temperatura 12:00pm	
	Superficie sin cobertura	Bajo el dosel	Superficie sin cobertura	Bajo el dosel
<i>K. humboldtiana</i>	947.5 $\pm$ 146.8	162.5 $\pm$ 99.2	37.9 $\pm$ 4.8	27.5 $\pm$ 3.8
<i>A. vernicosa</i>	1113.5 $\pm$ 177.4	185.3 $\pm$ 109.5	47.1 $\pm$ 6.5	32.9 $\pm$ 5.0
<i>C. bicolor</i>	1032.9 $\pm$ 183.9	64.3 $\pm$ 49.8	48.3 $\pm$ 7.9	28.7 $\pm$ 5.7
<i>C. imbricata</i>	1135.8 $\pm$ 72.9	74.7 $\pm$ 17.8	45.4 $\pm$ 4.4	30.9 $\pm$ 4.6
<i>A. striata</i>	1088.0 $\pm$ 104.7	58.0 $\pm$ 16.5	46.0 $\pm$ 6.6	25.6 $\pm$ 3.4

**Tabla 8.** Comparación de la amortiguación de temperatura bajo el dosel de las cinco especies con mayor VI en la época de lluvias. Se muestran las medias y la desv. estd. de la radiación y temperaturas registradas en el mes de agosto 2007 a las 12:00pm.

Para el contraste multivariante se utilizó la  $\lambda$  de Wilks con la aproximación  $\chi^2$  (Figura 9). La comparación de los dos parámetros microambientales medidos (radiación y temperatura) bajo el dosel de las especies con mayor VI (*A. vernicosa*, *K. humboldtiana*, *C. bicolor*, *A. striata* y *C. imbricata*) en la época de lluvias, indica que hay una diferencia significativa en cuanto a la radiación y temperatura debajo de los doseles en comparación a las áreas sin vegetación ( $\lambda=21.753168$ ,  $F=1511.84$  con  $GL=2$ ;  $P<0.0001$ ).



**Figura 9.** Relación canónica. Análisis multivariado de la radiación y temperatura de las especies con mayor VI (*A. vernicosa*, *K. humboldtiana*, *C. bicolor*, *A. striata* y *C. imbricata*) registradas en la época de lluvias (agosto) a las 12:00 pm. Eigen valores para especie\*posición (0.20265007, 0.10822113) y correlación canónica (0.41049, 0.31249481).

Además se encontró que la radiación y temperatura encontradas bajo los doseles de las diferentes especies es significativamente diferente ( $\lambda = 0.072381$ ,  $F=6.09$  con  $GL=8$ ;  $P<0.0001$ ). También se encontraron diferencias significativas entre la radiación y temperatura que ofrecen las especies y la posición (debajo del dosel y fuera, es decir en el área abierta) ( $\lambda = 0.75029$ ,  $F=5.36$  con  $GL=8$ ;  $P<0.0001$ ), estos resultados se muestran en la figura 9). Siendo *K. humboldtiana* y *A. striata* los mejores amortiguadores de la radiación y las altas temperaturas, mientras que *A. vernicosa* permite la mayor radiación.

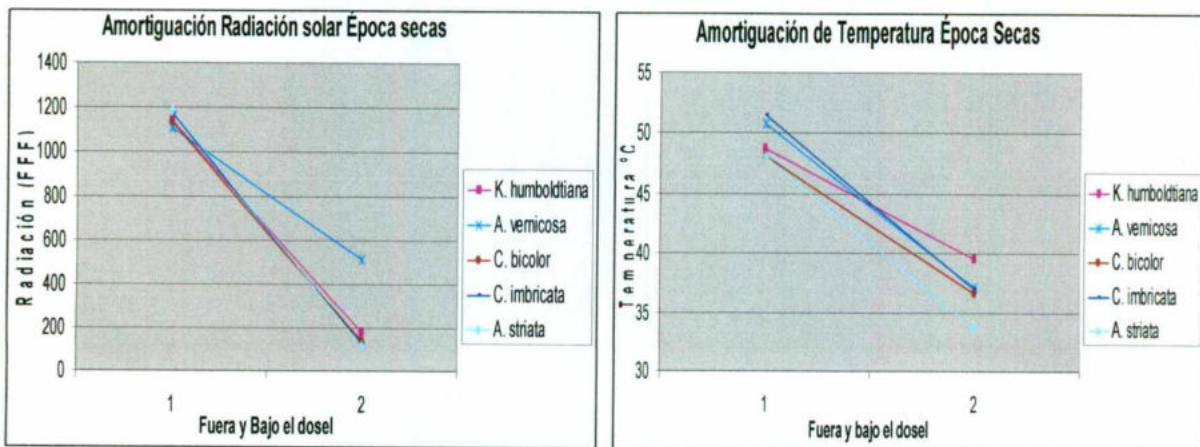
### 7.4.3 Radiación y temperatura en la temporada de sequías

El promedio las temperaturas superficiales del suelo registradas al medio día en la época de sequía (enero) fue de 49.3°C y la radiación (en FFF) tuvo un promedio de 1,145.09. La radiación más alta registrada fue de 1,272.2 y la temperatura superficial del suelo más alta registrada fue de 57°C.

Los promedios y desviación estándar de la radiación y temperatura registradas bajo los doseles de las cinco especies con mayor VI se muestran en la Tabla 9. Se puede observar que *A. striata* mostró la radiación y temperaturas más bajas bajo su dosel, mientras que *A. vernicosa* presentó los valores más altos de radiación y *K. humboldtiana* los de temperatura (ver también Figura 10).

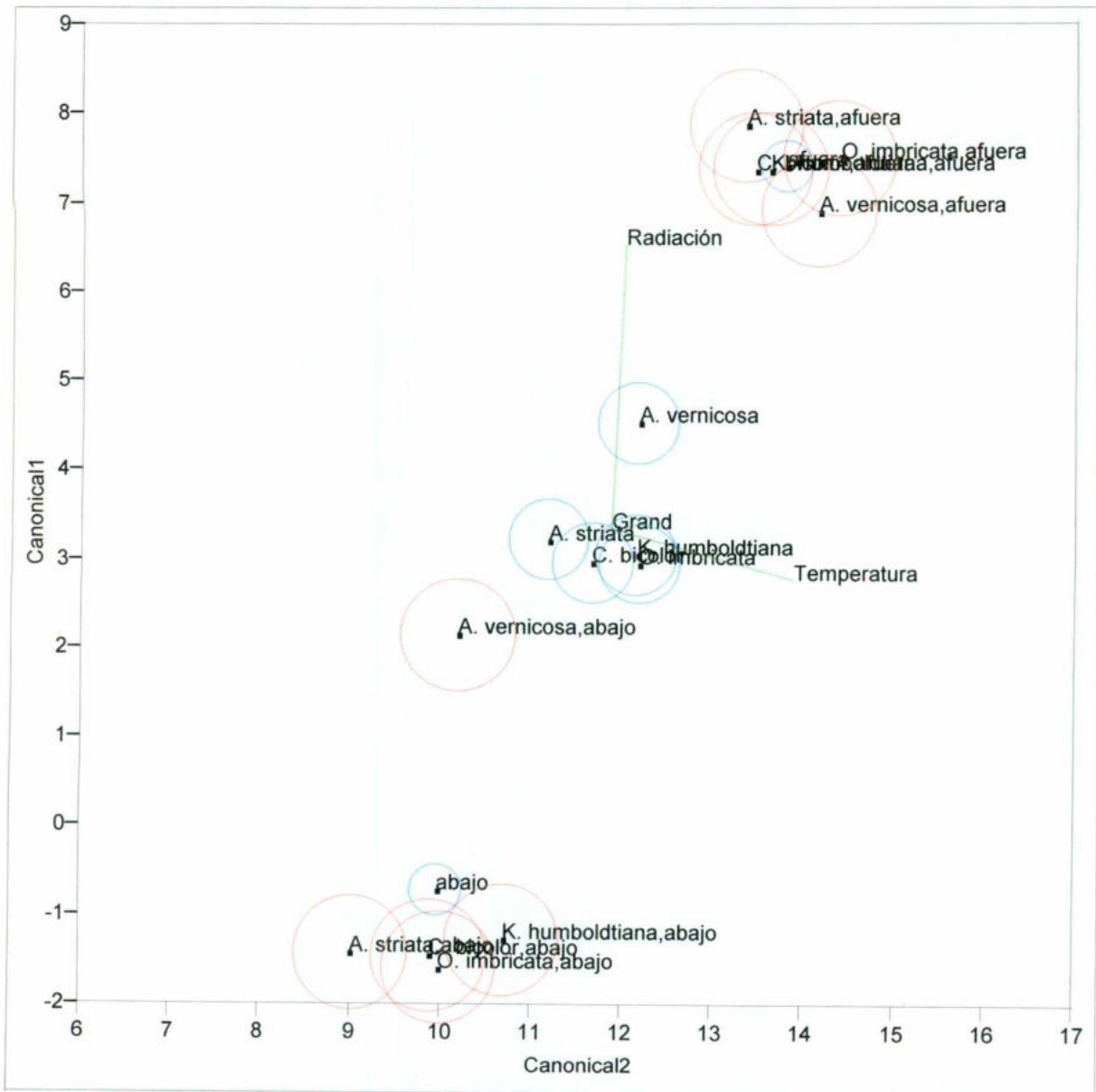
Época de sequía (Enero 2007)				
Especie	Radiación 12:00pm		Temperatura 12:00pm	
	Superficie sin cobertura	Bajo el dosel	Superficie sin cobertura	Bajo el dosel
<i>K. humboldtiana</i>	1136.9 ± 48.8	181.3 ± 154.0	48.7 ± 3.9	39.5 ± 4.1
<i>A. vernicosa</i>	1105.9 ± 76.2	511.7 ± 189.2	50.8 ± 2.0	37.1 ± 4.2
<i>C. bicolor</i>	1131.9 ± 54.6	140.4 ± 132.5	48.1 ± 3.3	36.6 ± 3.4
<i>C. imbricata</i>	1171.7 ± 41.6	128.4 ± 91.3	51.5 ± 2.7	37.0 ± 5.1
<i>A. striata</i>	1183.5 ± 67.7	117.7 ± 80.9	48.1 ± 3.8	33.8 ± 3.9

**Tabla 9.** Comparación de la amortiguación de temperatura bajo el dosel de las cinco especies con mayor VI en la época de sequía registradas en el mes de enero 2008 a las 12:00pm. Se muestran las medias y la desv. Std.



**Figura 10.** Gráficas de la amortiguación de la radiación solar en Flujo de Fotones Fotosintéticos (FFF) y amortiguación de la temperatura (°C) registradas en la época de sequía registradas en enero a las 12:00pm en 1) las zonas más próximas sin cobertura vegetal y 2) bajo el dosel de las cinco especies con mayor VI.

La comparación de radiación y temperatura bajo el dosel de las especies con mayor VI (*A. vernicosa*, *K. humboldtiana*, *C. bicolor*, *A. striata* y *C. imbricata*) en la época de secas indica que la radiación y temperaturas registradas bajo los doseles de estas especies, son significativamente diferentes a los registrados en las áreas sin cobertura vegetal ( $\lambda = 21.612924$ ,  $F = 1502.09$  con  $GL = 2$ ;  $P < 0.0001$ ) (Figura 11).



**Figura 11.** Relación canónica. Análisis multivariado de la radiación y temperatura de las especies con mayor VI (*A. vernicosa*, *K. humboldtiana*, *C. bicolor*, *A. striata* y *C. imbricata*) registradas en la época de lluvias (agosto) a las 12:00 pm. Eigen valores para especie\*posición (0.7704441, 0.07964978) y correlación canónica (0.65967414, 0.27161318).

Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la radiación y temperaturas que ofrecen las especies debajo de sus doseles ( $\lambda = 0.61835$ ,  $F=9.44$  con  $GL=8$ ;  $P<0.0001$ ) (Figura 9). Finalmente, la radiación y temperatura debajo de los doseles y la posición (bajo y fuera del dosel) son significativamente diferentes ( $\lambda = 0.5231604$ ,  $F=13.29$  con  $GL=8$ ;  $P<0.0001$ ) (Figura 11). También se puede observar que *A. striata* y *C. bicolor* son los mejores amortiguadores de temperatura y radiación y *A. vernicosa* es la especie que no amortigua bien estos factores.



## 7.5 Distribución espacial

### 7.5.1 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)

#### Patrones de distribución espacial

Los índices de agregación ( $I_a$ ) fueron estudiados en las dos escalas de cuadrantes: 10x10m (5 cuadrantes) y 20x20m (1 supercuadrante) (Tablas 10-12 y 13). También se muestra un mapa que representa su distribución en las figuras 12-17.

Los resultados obtenidos de las 2,730 permutaciones generadas en el programa SADIE 1.22 para el estudio de los patrones de distribución espacial de la vegetación del área de estudio indican que *A. kotschoubeyanus* se distribuye formando agregados. Esta distribución espacial es apreciable en ambas escalas 10x10m y 20x20m ( $I_a = 1.8 \pm 0.32$ , y  $I_a = 2.11$  respectivamente,  $P_a < 0.005$ ) (Tablas 10-12), siendo la agregación más evidente cuando se analiza en la escala de cuadrante de 20x20m pues los valores de  $V_j$  y  $V_i$  (-1.908,  $P(V_j) > 1.5$  y  $1.96 P(V_i) < -1.5$ ,) (Tabla 13) son mayores que en la escala 10x10m, indicando agregados fuertemente conglomerados y la formación de parches y claros mejor definidos. Se muestra el mapa de distribución en la figura 12.

El tamaño de los cuadrantes resultó ser importante para la definición del patrón de distribución espacial de las especies arbustivas de mayor tamaño. Dos de las especies con mayor cobertura relativa (Cr) *K. humboldtiana* (Figura 13) y *A. vernicosa* (Figura 14) en la escala (10x10) presentan un índice de agregación ( $I_a$ ) que muestran tanto agregación como aleatoriedad (Tablas 10-12). Mientras que en la escala 20x20m, se define mejor su patrón de distribución, indicando una tendencia a formar agregados mejor definidos (*K. humboldtiana*  $I_a > 1$ ,  $P_a < 0.05$ ) con claros y parches más diferenciados (Tabla 13).

Las especies arbustivas de talla mediana presentaron una distribución agregada en ambas escalas: *C. bicolor* ( $I_a = 1.7 \pm 0.3$ ;  $I_a = 2.1$ ,  $P_a < 0.05$ ), *Turnera diffusa* ( $I_a = 1.4 \pm 0.1$ ;  $I_a = 1.6$ ,  $P_a < 0.05$ ), *A. striata* ( $I_a = 1.8$ ;  $I_a = 1.4$ ,  $P_a < 0.05$ ), y *Zaluzania* sp ( $I_a = 1.5$ ;  $I_a = 1.5$ ,  $P_a < 0.005$ ) (Tablas 10-13 y Figuras 15-17). Mientras que *C. mexicana* aunque es de talla parecida a las especies anteriores y *O. imbricta* y *J. dioica* resultan ser especies menos agregadas tendiendo a una distribución aleatoria ( $I_a \approx 1$ ) sin embargo estos resultados no son

estadísticamente significativos, por lo que para estas especies en particular, deben tomarse con cautela (Tablas 10-13, Figuras 13,18-19).

En el grupo *cactáceas varias*, tampoco existe un patrón que explique su distribución, pues debe tomarse en cuenta que varias especies de cactáceas globosas fueron incluidas en este grupo (Figura 14).

Finalmente las hierbas rastreras *Tiquilia sp* y *T. canescens* aparecen en ambas escalas como especies con distribución espacial agregada formando fuertes aglomerados ( $I_a < 1$ ,  $P_a < 0.05$ ). Los valores de  $V_j$  y  $V_i$  correspondientes, también indican la formación de parches disjuntos bien determinados ( $P(V_j) > 1.5$ ,  $P(V_i) < -1.5$ ) (Tablas 10-13, Figuras 12, 17).

Mientras que *C. mexicana* aunque es de talla parecida a las especies anteriores, sólo en uno de los cuadrantes de 10x10m, presenta una distribución agregada ( $I_a = 1.4$ ,  $P_a < 0.05$ ) y en el resto de los cuadrantes aparece como especie de distribución aleatoria ( $I_a = 1.4$ ), aunque no son resultados significativos. El  $I_a$  de la escala 20x20m indica que se distribuye de forma agregada pero tampoco es un resultado significativo ( $I_a = 1.2$ ,  $P_a = 0.09$ ), por lo que para esta especie en particular, debido a que los valores de  $P_a$  que explican su distribución no son significativos, deben tomarse con cautela.

Comparando los índices de agregación ( $I_a$ ) entre las especies del área de estudio, *A. kotschoubeyanus* presentó el mayor índice de agregación ( $I_a = 2.114$ ,  $P_a < 0.005$ ) indicando que se distribuye formando agregados fuertemente aglomerados. Aunque algunas especies no muestran valores estadísticamente significativos, se puede decir que la vegetación arbustiva del área de estudio presenta una tendencia a formar agregados formando parches disjuntos en islas y zonas desprovistas de vegetación y aparecen mejor definidos en la escala 20x20m.

La influencia del tamaño de la escala en la distribución espacial de las especies arbustivas de la zona de estudio es importante considerarla en relación a la cobertura individual del

dosel de las plantas, pues a mayor dosel se necesita mayor tamaño de cuadrante para poder apreciar la distribución espacial.

Cuadrante 1 (10x10m)									
Especie	I <sub>a</sub>	P <sub>a</sub>	V <sub>j</sub>	P(V <sub>j</sub> )	V <sub>i</sub>	P(V <sub>i</sub> )	Q <sub>a</sub>	J <sub>a</sub>	
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	1.4	0.0128	-1.422	0.0125	1.4	0.0139	0.0706	1.08	
<i>Tiquilia</i> sp.	1.8	0.0007	-1.754	0.0011	1.5	0.0051	0.0004	1.39	
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	1.5	0.0084	-1.501	0.0044	1.5	0.0055	0.1212	1.13	
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1.4	0.0289	-1.373	0.0315	1.5	0.0099	0.0597	1.47	
Cactáceas varias	1.0	0.3689	-1.027	0.3590	1.0	0.3879	0.8073	0.91	
<i>Acacia vernicosa</i>	1.0	0.3681	-1.028	0.3813	1.0	0.5590	0.0136	1.29	
<i>Turnera diffusa</i>	1.4	0.0125	-1.444	0.0165	1.2	0.0696	0.0077	1.17	
<i>Calanticaria bicolor</i>	1.9	0.0004	-1.898	0.0000	2.0	0.0000	0.0081	1.30	
<i>Zaluzania</i> sp.	1.0	0.4608	-0.990	0.4901	1.0	0.5026	0.0297	1.37	
<i>Opuntia lindheimeri</i>	1.1	0.2762	-1.070	0.2883	1.2	0.1385	0.2388	1.20	
<i>Agave striata</i>	0.9	0.7689	-0.857	0.7846	1.0	0.5703	0.0432	1.06	
<i>Tiquilia canescens</i>	2.5	0.0004	-2.535	0.0000	2.4	0.0000	0.0004	2.14	

Cuadrante 2 (10x10m)									
Especie	I <sub>a</sub>	P <sub>a</sub>	V <sub>j</sub>	P(V <sub>j</sub> )	V <sub>i</sub>	P(V <sub>i</sub> )	Q <sub>a</sub>	J <sub>a</sub>	
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	1.8	0.0007	-1.773	0.0004	1.6	0.0029	0.0667	1.25	
<i>Tiquilia</i> sp.	1.3	0.0465	-1.323	0.0447	1.2	0.1088	0.5791	0.97	
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	1.1	0.1667	-1.132	0.1667	1.1	0.1436	0.2139	1.05	
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1.0	0.4055	-1.041	0.3549	0.9	0.8758	0.9927	0.56	
Cactáceas varias	0.9	0.7308	-0.888	0.7308	0.9	0.7850	0.6454	0.95	
<i>Acacia vernicosa</i>	0.9	0.7421	-0.890	0.7670	0.9	0.7289	0.2824	1.06	
<i>Turnera diffusa</i>	1.3	0.0714	-1.166	0.1374	1.2	0.1077	0.0033	1.11	
<i>Calanticaria bicolor</i>	2.1	0.0004	-2.104	0.0000	2.0	0.0000	0.0396	1.09	
<i>Zaluzania</i> sp.	1.2	0.1366	-1.193	0.1234	1.3	0.0619	0.5190	1.00	
<i>Opuntia lindheimeri</i>	0.8	0.9626	-0.760	0.8883	1.0	0.7048	0.0004	0.00	
<i>Agave striata</i>	1.2	0.1297	-1.189	0.1359	1.1	0.2205	0.0022	1.86	
<i>Tiquilia canescens</i>	2.1	0.0004	-2.096	0.0000	2.0	0.0000	0.0011	1.43	
<i>Chrysactinia mexicana</i>	1.4	0.0212	-1.431	0.0172	1.5	0.0099	0.0271	1.30	
<i>Mammillaria longata</i>	0.8	0.8037	-0.822	0.8245	1.2	0.1806	0.1084	2.33	
<i>Jatropha dioica</i>	1.2	0.1996	-1.167	0.1766	1.0	0.0667	0.0004	0.00	

**Tabla 10.** Índices de agregación ( $I_a$ ) de los cuadrantes 1 y 2 ( $100m^2$ ). Distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* y especies asociadas de la comunidad de vista Hermosa, Cadereyta, Querétaro. Los datos presentados resultan de las 2,730 permutaciones generadas en el programa SADIE 1.22. Donde  $I_a$ ,  $J_a > 1$  indica agregación, si  $I_a$ ,  $J_a = 1$  aleatoriedad y si  $I_a$ ,  $J_a < 1$  indica regularidad.  $Q_a = P(J_a)$  y valores  $V_i$  altos ( $> 1.5$ ) indican la presencia de parches mientras que los valores de  $V_j$  fuertemente negativos ( $< -1.5$ ) indican la presencia de claros.

Cuadrante 3 10x10m)								
Especie	I <sub>a</sub>	P <sub>a</sub>	V <sub>j</sub>	P(V <sub>j</sub> )	V <sub>i</sub>	P(V <sub>i</sub> )	Q <sub>a</sub>	J <sub>a</sub>
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	2.0	0.0004	-1.921	0.0000	1.9	0.0000	0.8245	0.95
<i>Tiquilia</i> sp.	1.4	0.0216	-1.393	0.0161	1.3	0.0264	0.0557	1.09
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	1.2	0.1326	-1.175	0.1480	1.2	0.0894	0.4725	1.01
Cactáceas varias	0.8	0.8722	-0.845	0.8557	0.9	0.7930	0.8656	0.88
<i>Acacia vernicosa</i>	1.0	0.4216	-1.001	0.4190	1.0	0.3571	0.7410	0.93
<i>Turnera diffusa</i>	1.2	0.1245	-1.185	0.1293	1.1	0.2388	0.0810	1.10
<i>Calanticaria bicolor</i>	1.5	0.0110	-1.477	0.0081	1.2	0.0711	0.0308	1.13
<i>Tiquilia canescens</i>	1.6	0.0015	-1.568	0.0040	1.5	0.0073	0.2099	1.06
<i>Chrysactinia mexicana</i>	1.0	0.3711	-1.028	0.3425	1.0	0.4535	0.5692	0.98
<i>Mammillaria longata</i>	1.2	0.1286	-1.248	0.1121	1.0	0.6432	0.0004	0.00
<i>Jatropha dioica</i>	1.2	0.0868	-1.243	0.0960	1.2	0.1513	0.0092	2.69

Cuadrante 4 (10x10m)								
Especie	I <sub>a</sub>	P <sub>a</sub>	V <sub>j</sub>	P(V <sub>j</sub> )	V <sub>i</sub>	P(V <sub>i</sub> )	Q <sub>a</sub>	J <sub>a</sub>
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	2.2	0.0004	-2.120	0.0000	2.3	0.0000	0.0011	1.27
<i>Tiquilia</i> sp.	1.0	0.3637	-1.025	0.3784	1.1	0.2509	0.9542	0.88
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	1.0	0.5308	-0.957	0.5458	0.9	0.7011	0.1857	1.06
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1.0	0.4531	-0.999	0.4337	1.0	0.3608	0.6839	0.91
Cactáceas varias	1.1	0.2007	-1.116	0.2095	1.1	0.2462	0.0941	1.20
<i>Acacia vernicosa</i>	1.3	0.0780	-1.250	0.0788	1.2	0.0923	0.0440	1.32
<i>Turnera diffusa</i>	1.1	0.3007	-1.004	0.4132	1.0	0.3993	0.9158	0.94
<i>Calanticaria bicolor</i>	1.2	0.1179	-1.220	0.0850	1.3	0.0337	0.1927	1.05
<i>Zaluzania</i> sp.	1.5	0.0059	-1.486	0.0066	1.4	0.0062	0.1652	1.82
<i>Tiquilia canescens</i>	1.0	0.3864	-1.009	0.3864	1.0	0.3868	0.9026	0.90
<i>Chrysactinia mexicana</i>	1.0	0.4901	-0.971	0.4799	1.0	0.3161	0.6919	0.88
<i>Mammillaria longata</i>	1.2	0.1458	-1.182	0.1451	1.1	0.2194	0.2172	1.35
<i>Piqueria trinervia</i>	0.8	0.8443	-0.845	0.8407	0.9	0.8370	0.7905	0.80

**Tabla 11.** Índices de agregación I<sub>a</sub> de los cuadrantes 3 y 4 (100m<sup>2</sup>). Distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* y especies asociadas. Los datos presentados resultan de las 2,730 permutaciones generadas en el programa SADIE 1.22. Donde I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> >1 indica agregación, si I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> =1 aleatoriedad y si I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> <1 indica regularidad. Q<sub>a</sub>=P(J<sub>a</sub>) y valores V<sub>i</sub> altos (>1.5) indican la presencia de parches mientras que los valores de V<sub>j</sub> fuertemente negativos (<-1.5) indican la presencia de claros.

Cuadrante 5 (10x10m)								
Especie	I <sub>a</sub>	P <sub>a</sub>	V <sub>j</sub>	P(V <sub>j</sub> )	V <sub>i</sub>	P(V <sub>i</sub> )	Q <sub>a</sub>	J <sub>a</sub>
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	1.2	0.1593	-1.149	0.1872	1.2	0.1000	0.0571	1.47
<i>Tiquilia</i> sp.	1.1	0.1762	-1.137	0.1773	1.2	0.0967	0.2582	1.07
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	1.0	0.5645	-0.951	0.5758	0.9	0.6040	0.0575	1.10
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1.0	0.4978	-0.968	0.5037	1.0	0.3615	0.3949	1.08
Cactáceas varias	1.1	0.2286	-1.109	0.2121	1.0	0.3183	0.9007	0.85
<i>Acacia vernicosa</i>	1.6	0.0044	-1.601	0.0018	1.5	0.0040	0.0846	1.17
<i>Turnera diffusa</i>	1.3	0.0407	-1.316	0.0421	1.3	0.0344	0.1744	1.06
<i>Calanticaria bicolor</i>	1.4	0.0304	-1.342	0.0253	1.3	0.0326	0.9491	0.92
<i>Agave striata</i>	1.8	0.0004	-1.803	0.0000	2.0	0.0000	0.0791	1.16
<i>Tiquilia canescens</i>	1.1	0.2077	-1.114	0.1978	1.1	0.1520	0.3722	1.04
<i>Chrysactinia mexicana</i>	1.0	0.3663	-1.022	0.3883	1.0	0.4531	0.7509	0.84
<i>Mammillaria longata</i>	0.8	0.9201	-0.793	0.9194	0.8	0.8861	0.6634	0.85

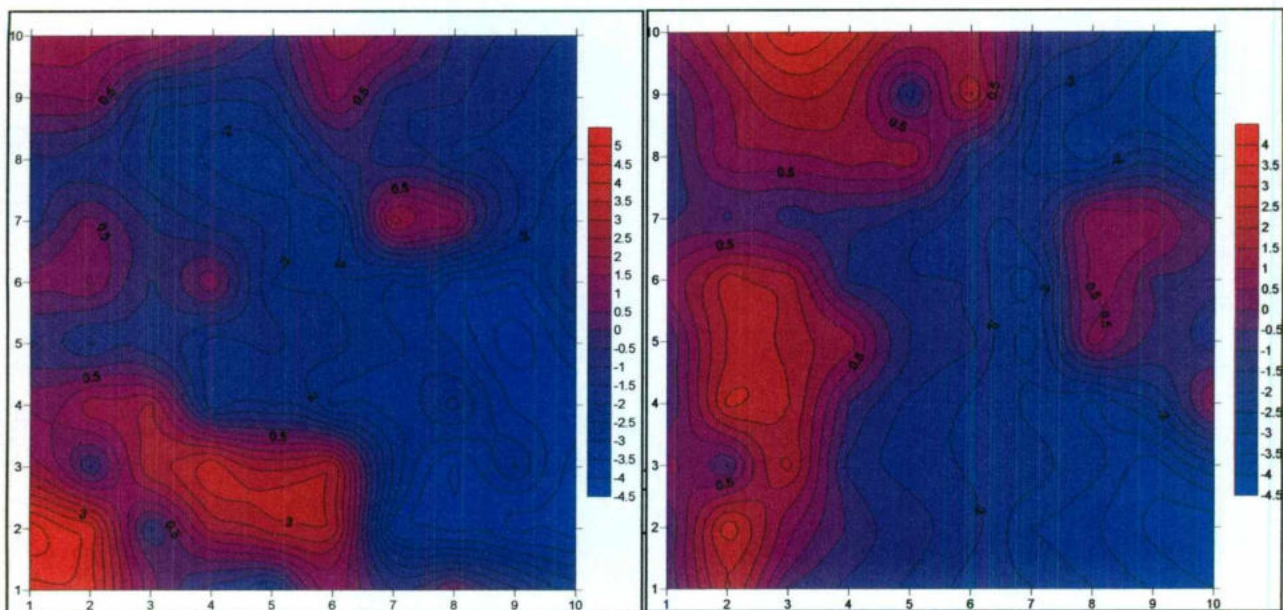
**Tabla 12.** Índices de agregación I<sub>a</sub> del cuadrante 5 (100m<sup>2</sup>). Distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* y especies asociadas. Los datos presentados resultan de las 2,730 permutaciones generadas en el programa SADIE 1.22. Donde I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> >1 indica agregación, si I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> =1 aleatoriedad y si I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> <1 indica regularidad. Q<sub>a</sub>=P(J<sub>a</sub>) y valores V<sub>i</sub> altos (>1.5) indican la presencia de parches mientras que los valores de V<sub>j</sub> fuertemente negativos (<-1.5) indican la presencia de claros.

Supercuadrante (20x20m)								
Especie	I <sub>a</sub>	P <sub>a</sub>	V <sub>j</sub>	P(V <sub>j</sub> )	V <sub>i</sub>	P(V <sub>i</sub> )	Q <sub>a</sub>	J <sub>a</sub>
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	2.1	0.0004	-1.908	0.0000	2.0	0.0000	0.5509	0.99
<i>Tiquilia</i> sp.	1.9	0.0004	-1.837	0.0004	1.6	0.0022	0.0410	1.09
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	1.3	0.0341	-1.320	0.0396	1.4	0.0154	0.1352	1.05
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1.0	0.3462	-1.037	0.3505	1.1	0.2927	0.8758	0.88
Cactáceas varias	0.9	0.6209	-0.929	0.6421	0.9	0.6304	0.6297	0.98
<i>Acacia vernicosa</i>	1.1	0.1670	-1.140	0.1586	1.1	0.2037	0.3081	1.03
<i>Turnera diffusa</i>	1.6	0.0055	-1.351	0.0275	1.3	0.0388	0.0095	1.08
<i>Calanticaria bicolor</i>	2.1	0.0004	-1.901	0.0000	1.9	0.0000	0.0004	1.23
<i>Zaluzania</i> sp.	1.5	0.0081	-1.505	0.0066	1.5	0.0062	0.0168	1.32
<i>Opuntia lindheimeri</i>	1.3	0.0491	-1.305	0.0520	1.3	0.0418	0.0136	1.68
<i>Agave striata</i>	1.4	0.0077	-1.439	0.0088	1.4	0.0366	0.0011	2.07
<i>Tiquilia canescens</i>	1.8	0.0007	-1.700	0.0018	1.8	0.0004	0.0004	1.37
<i>Chrysactinia mexicana</i>	1.2	0.0934	-1.226	0.0952	1.1	0.1546	0.1176	1.12
<i>Mammillaria longata</i>	1.4	0.0176	-1.442	0.0205	1.4	0.0275	0.5000	1.01
<i>Jatropha dioica</i>	1.0	0.3425	-1.044	0.3520	0.9	0.6810	0.0264	2.93

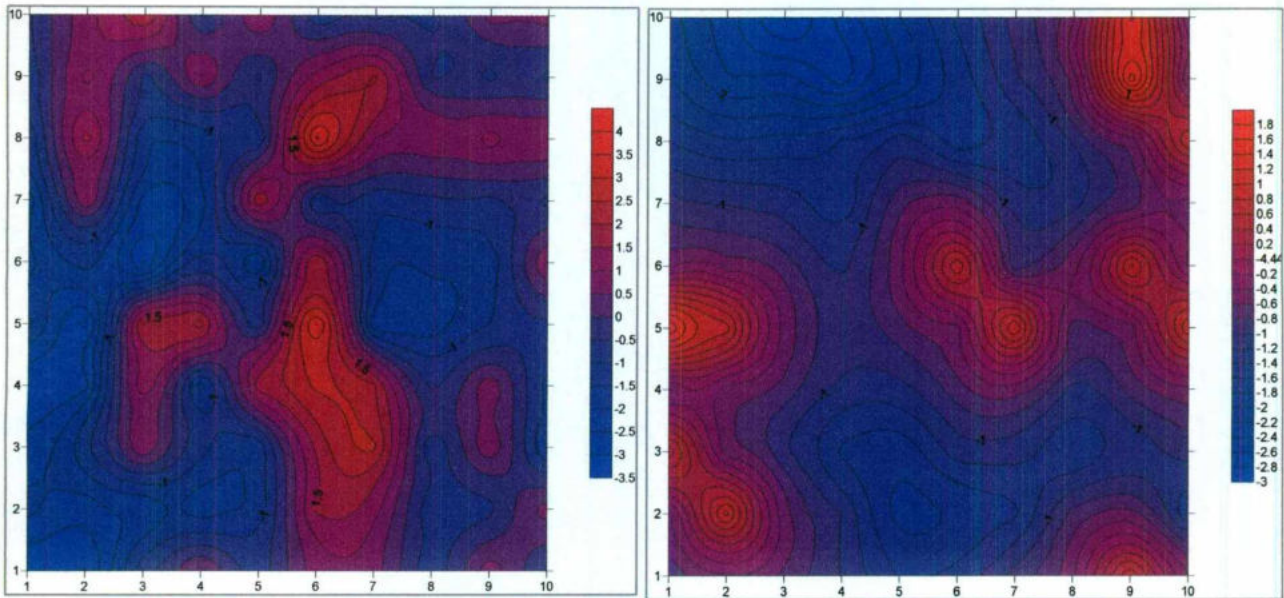
**Tabla 13.** Índices de agregación I<sub>a</sub> del supercuadrante (400m<sup>2</sup>). Distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* y especies asociadas de la comunidad de vista Hermosa, Cadereyta, Querétaro. Los datos presentados resultan de las 2,730 permutaciones generadas en el programa SADIE 1.22. Donde I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> >1 indica agregación, si I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> =1 aleatoriedad y si I<sub>a</sub>, J<sub>a</sub> <1 indica regularidad. Q<sub>a</sub>=P(J<sub>a</sub>) y valores V<sub>i</sub> altos (>1.5) indican la presencia de parches mientras que los valores de V<sub>j</sub> fuertemente negativos (<-1.5) indican la presencia de claros.

## 7.5.2 Mapas de distribución espacial

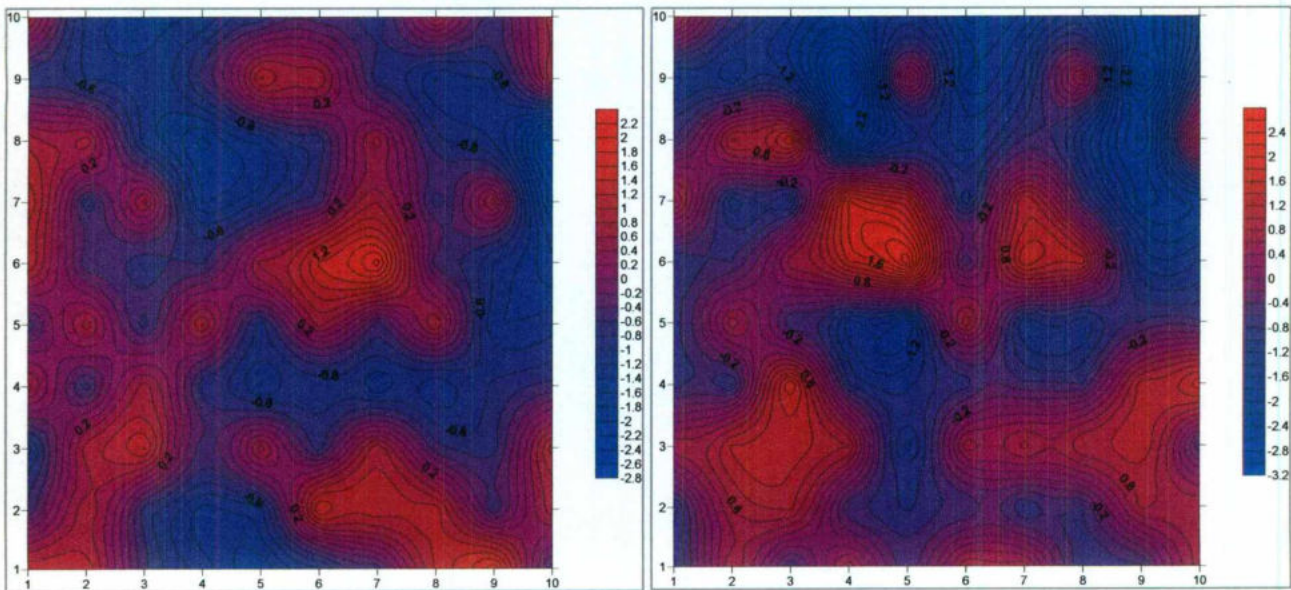
Se muestran a continuación los mapas de distribución espacial en la escala 20x20m para cada una de las especies del área de estudio, generados en el programa SURFER. Se puede apreciar que en su mayoría las especies estudiadas se distribuyen formando parches y claros en diferentes grados de conglomeración, esto se representa en los mapas según la escala de color. El color rojo representa parches, mientras que los claros son representados en escalas de azul indicando zonas de baja probabilidad de presencia de la especie. La Figura 10 muestra la distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* y *Tiquilia* sp., Figura 11 *K. humboldtiana* y *C. imbricata*, Figura 12, Cactáceas varias y *A. vernicosa*, Figura 13, *T. diffusa* y *C. bicolor*, Figura 14, *Zaluzania* sp. y *O. lindheimeri*, Figura 15, *A. striata* y *T. canescens*, Figura 16, *C. mexicana* y *M. longata* y Figura 17 *J. dioica*.



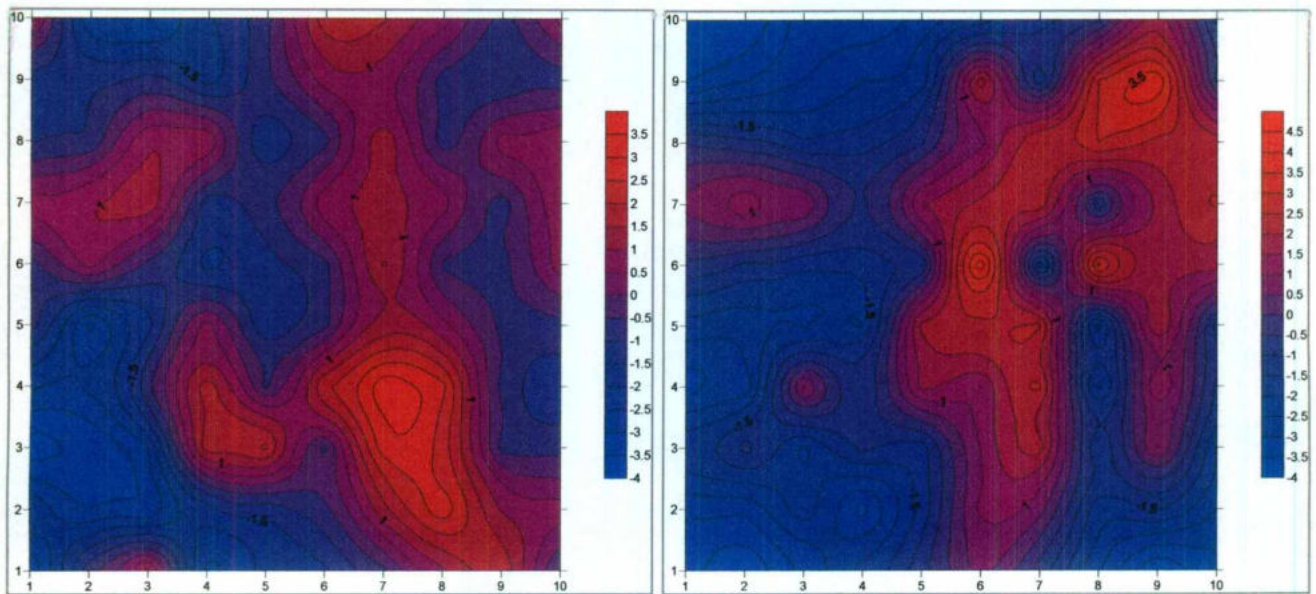
**Figura 12.** Mapas de la distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* ( $I_a = 2.11$ ,  $P_a = 0.0004$ ) y *Tiquilia* sp. ( $I_a = 1.9$ ,  $P_a = 0.0004$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.



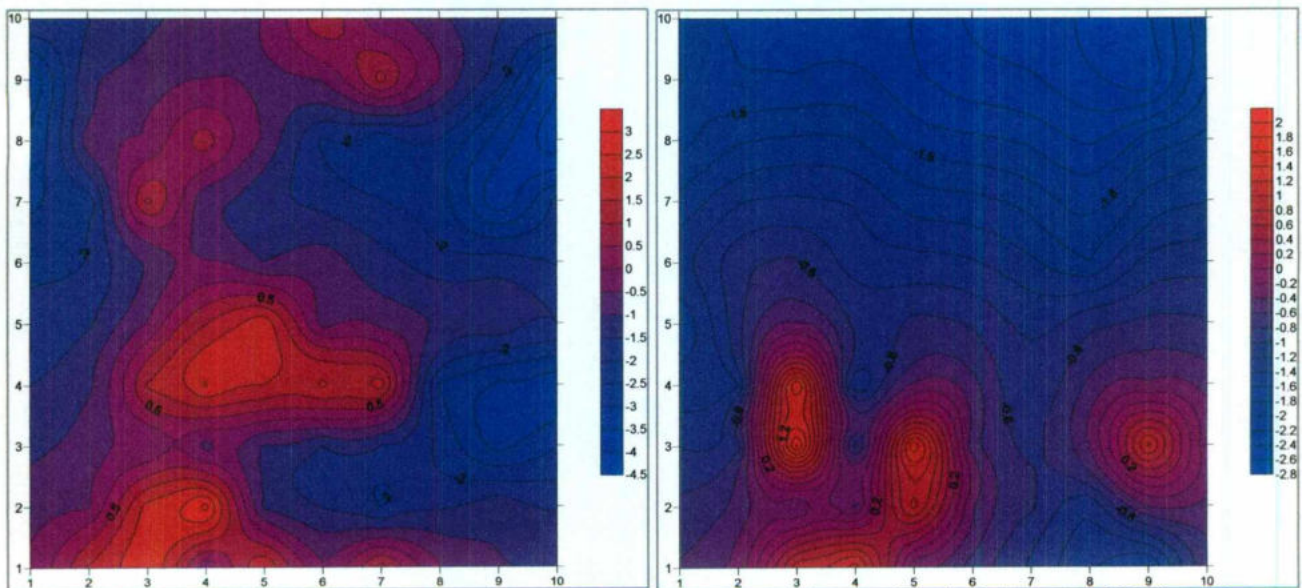
**Figura 13.** Mapas de la distribución espacial de *K. humboldtiana* ( $I_a = 1.3$ ,  $P_a = 0.0341$ ) y *C. imbricata* ( $I_a = 1.0$ ,  $P_a = 0.346$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.



**Figura 14.** Mapas de la distribución espacial de Cactáceas varias ( $I_a = 0.9$ ,  $P_a = 0.620$ ) y *A. vernicosa* ( $I_a = 1.1$ ,  $P_a = 0.167$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.

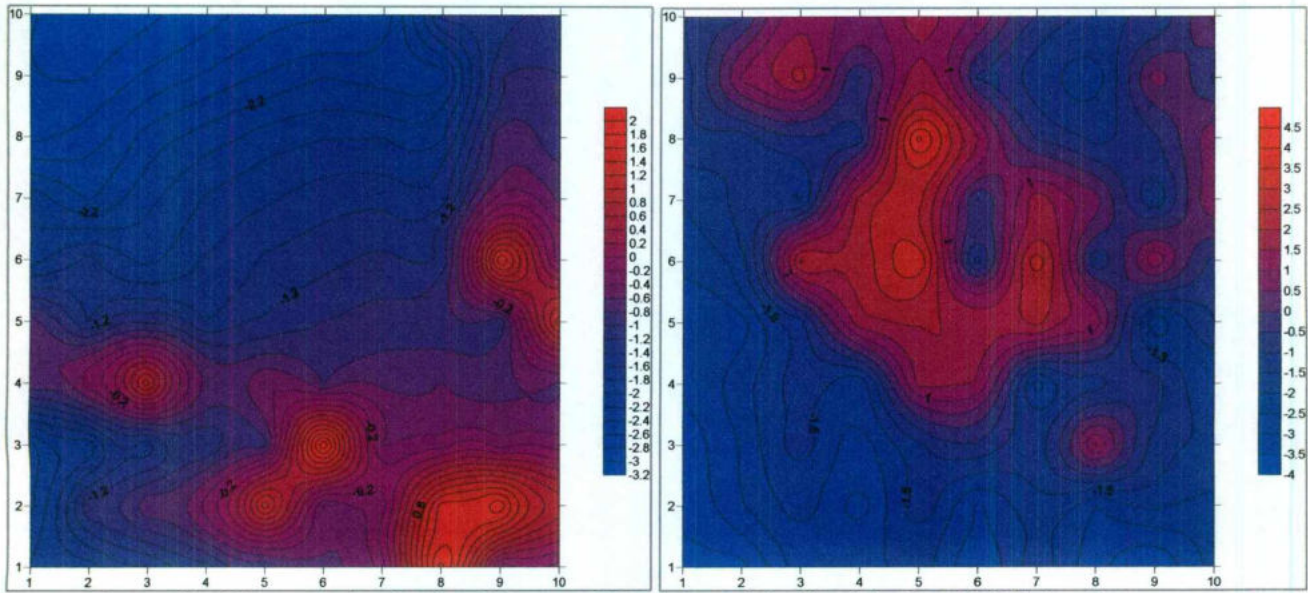


**Figura 15.** Mapas de la distribución espacial de *T. diffusa* ( $I_a= 1.6$ ,  $P_a = 0.005$ ) y *C. bicolor* ( $I_a= 2.1$ ,  $P_a = 0.0004$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.

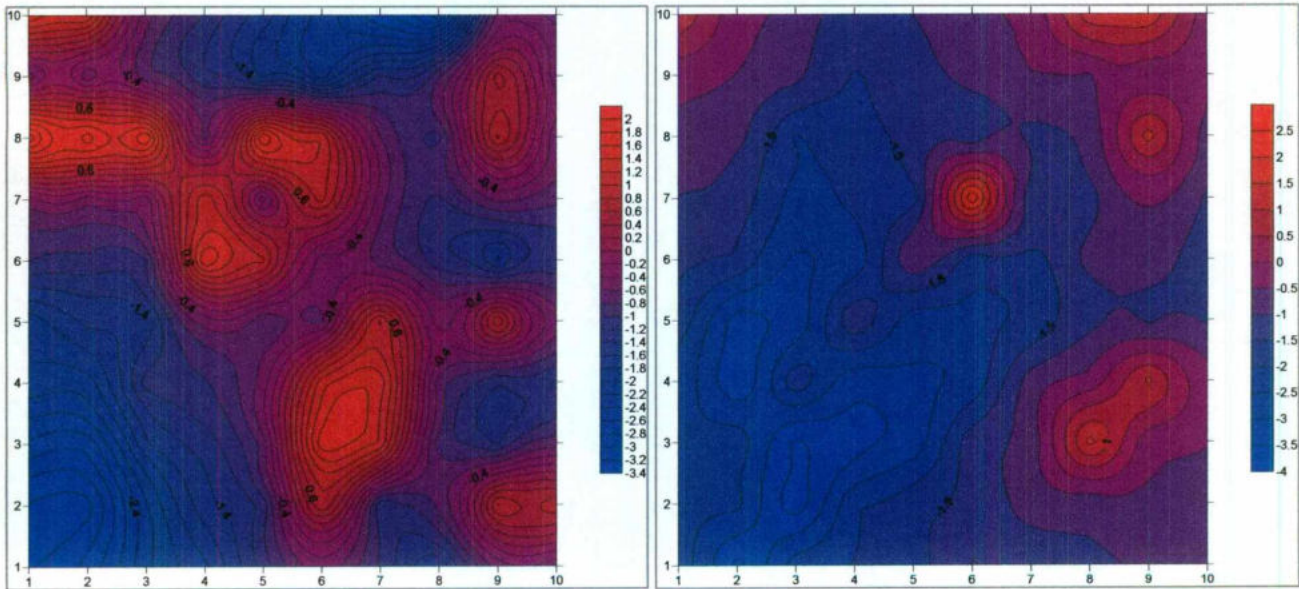


**Figura 16.** Mapas de la distribución espacial de *Zaluzania* sp. ( $I_a= 1.6$ ,  $P_a = 0.0081$ ) y *O. lindheimeri* ( $I_a= 1.3$ ,  $P_a = 0.049$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.

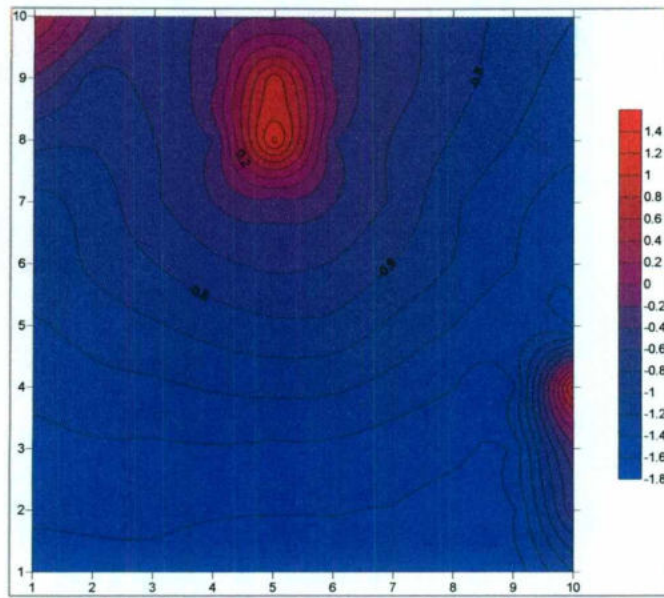




**Figura 17.** Mapas de la distribución espacial de *A. striata* ( $I_a= 1.4$ ,  $P_a = 0.0077$ ) y *T. canescens* ( $I_a= 1.8$ ,  $P_a = 0.0007$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.



**Figura 18.** Mapas de la distribución espacial de *C. mexicana* ( $I_a= 1.2$ ,  $P_a = 0.0934$ ) y *M. longata* ( $I_a= 1.4$ ,  $P_a = 0.0176$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.



**Figura 19.** Mapa de la distribución espacial de *J. dioica* ( $I_a = 1.0$ ,  $P_a = 0.3425$ ). Las zonas sombreadas rojas indican parches ( $V_i > 1.5$ ) y las zonas de sombreado azul indican claros ( $V_i < -1.5$ ). Los ejes indican coordenadas.

## 7.6 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)

### Asociaciones Espaciales

Los índices de asociación espacial obtenidos por SADIE indican que *A. Kotschoubeyanus* presenta asociaciones negativas con dos de las plantas con mayor cobertura y VI: *C. bicolor* ( $X=-0.2568$ ,  $P<0.9982$ ,  $VI=130.3$ ), *K. humboldtiana* ( $X=-0.1948$ ,  $P<0.9803$ ,  $VI=134.7$ ) y con una hierba rastrera *T. canescens* ( $X=-0.197$ ,  $P<0.9803$ ). Presentándose la misma tendencia para las otras plantas con altos VI como *T. diffusa*, *C. mexicana*, *C. imbricata* y *J. dioica* aunque los valores no fueron estadísticamente significativos. (Tabla 13). Por otro lado, se asocia positivamente con *Tiquilia* sp ( $X=0.379$ ,  $P<0.0001$ ) y *Opuntia lindheimeri* ( $X=0.2753$ ,  $P<0.0001$ , Tabla 14).

*A. kotschoubeyanus* no presentó asociaciones positivas con plantas arbustivas perennes descartando el fenómeno de nodricismo, en el caso de las asociaciones positivas de *Tiquilia* sp y *O. lindheimeri* no pueden ser consideradas como plantas nodrizas ya que, como se discute más adelante, no proporcionan ningún beneficio al *A. kotschoubeyanus*.

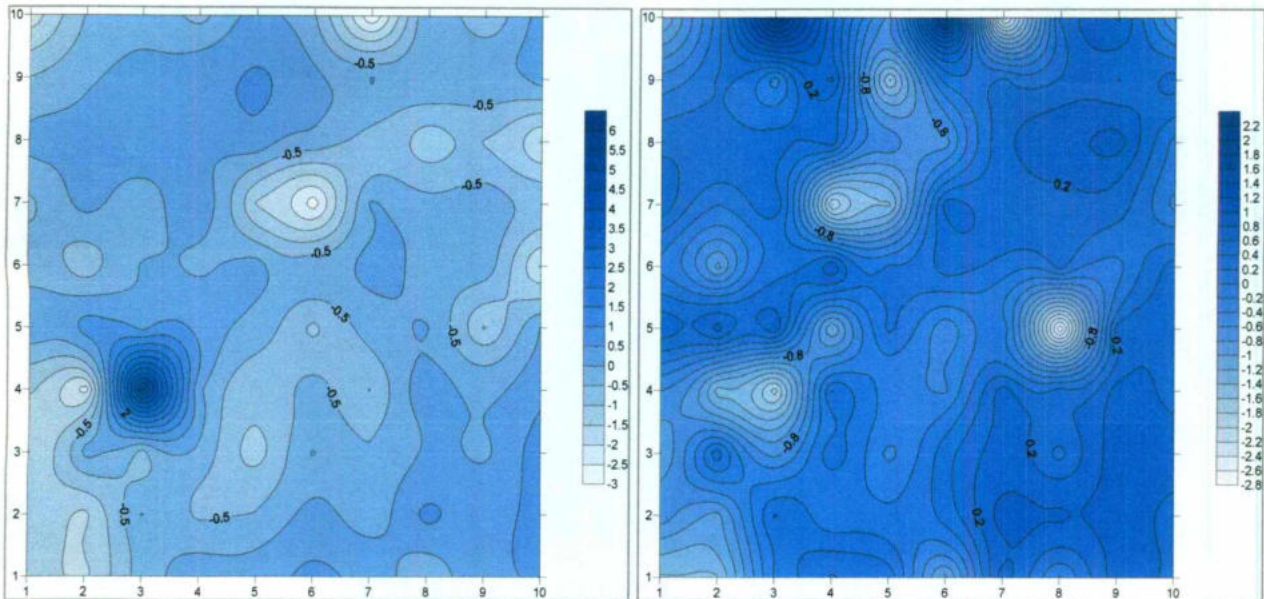
#### Índices de asociación espacial $\chi$

<b><i>A. kotschoubeyanus/</i></b>	<b><math>\chi</math></b>	<b>P</b>	<b>VI</b>
<i>Calanticaria bicolor</i>	<b>-0.257</b>	<b>0.9982</b>	<b>130.3</b>
<i>Tiquilia canescens</i>	<b>-0.197</b>	<b>0.9803</b>	-
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	<b>-0.195</b>	<b>0.9803</b>	<b>134.7</b>
<i>Chrysactinia mexicana</i>	-0.116	0.8695	35.3
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	-0.113	0.8707	101.1
<i>Jatropha dioica</i>	-0.100	0.8626	51.8
<i>Turnera diffusa</i>	-0.100	0.8353	105.2
<i>Agave striata</i>	-0.057	0.6476	112.3
Cactáceas varias	0.015	0.4144	32.2
<i>Acacia vernicosa</i>	0.015	0.4146	<b>148.6</b>
<i>Opuntia mejmeri</i>	<b>0.275</b>	<b>0.0134</b>	51.6
<i>Tiquilia</i> sp	<b>0.379</b>	<b>0.0014</b>	-

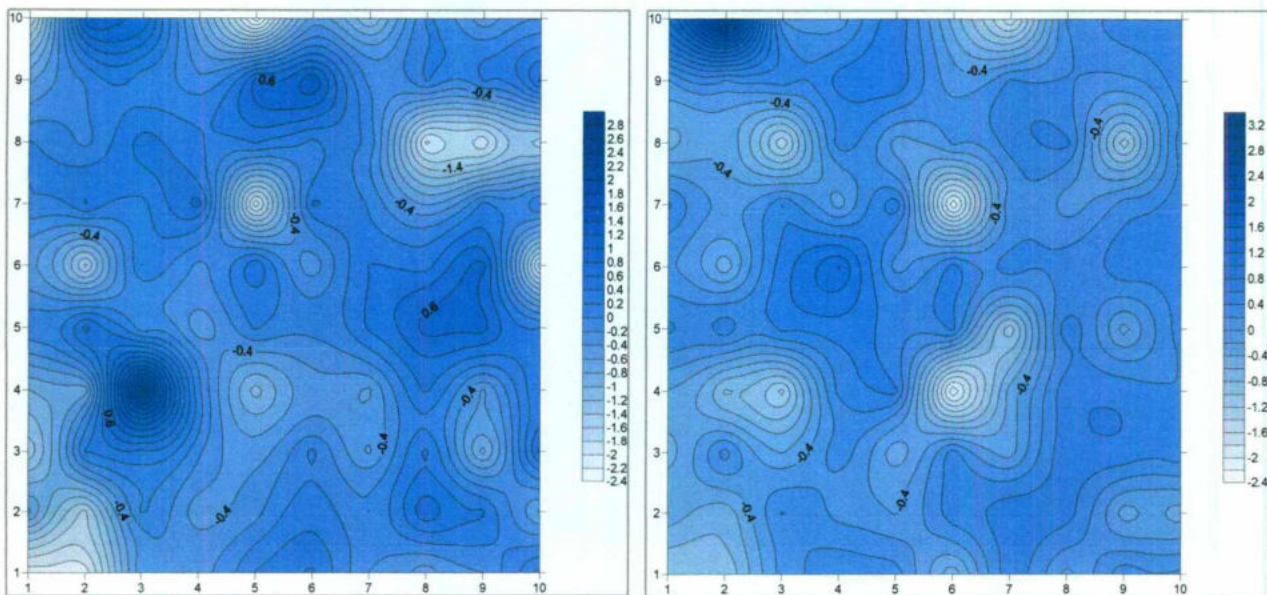
**Tabla 14.** Asociaciones Espaciales obtenidos a partir del análisis de SADIE en la escala 20x20m. Se presentan los valores de asociación espacial ( $\chi$ ) de *A. kotschoubeyanus* con las especies más importantes del área de estudio según su VI. Los valores positivos  $\chi>0.025$  indican asociación y  $\chi<0.975$  indican disociación significativa.

### 7.6.1 Mapas de asociación espacial

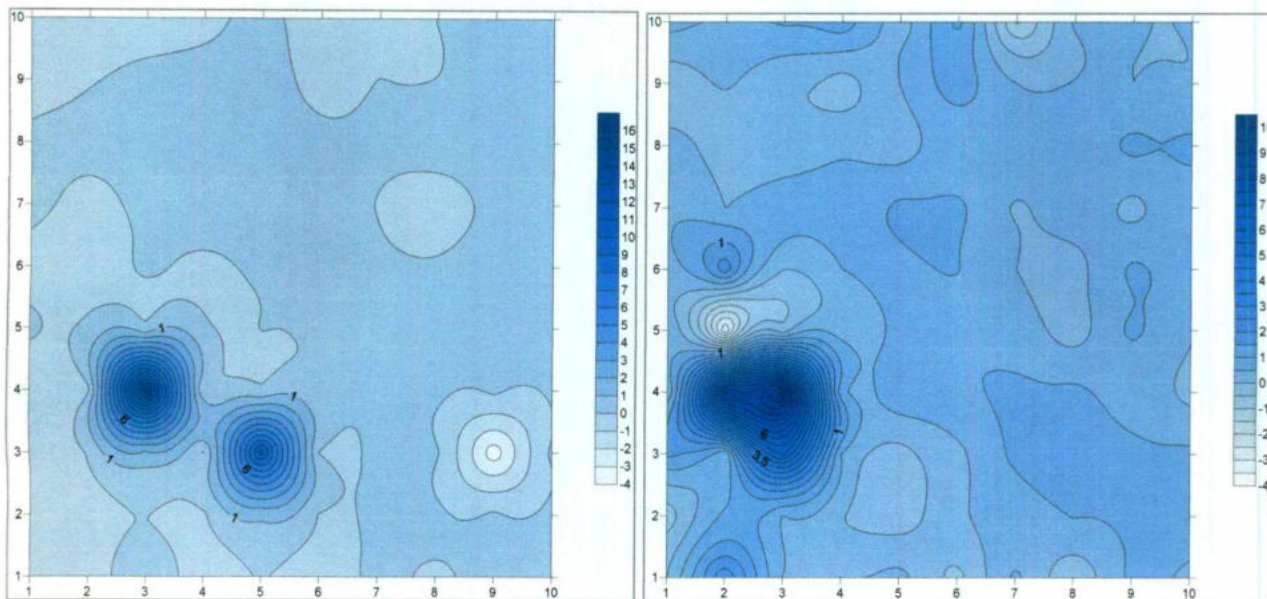
Se presentan a continuación los mapas de asociación espacial de *A. kotschoubeyanus* con la vegetación arbustiva dominante y dos hierbas rastreras, obtenidos a partir del análisis SADIE en la escala 20x20m y generados en el programa SURFER (Figuras 20-22).



**Figura 20.** Se representa la asociación espacial negativa entre *A. kotschoubeyanus* y *C. bicolor* ( $X = -0.257$ ,  $P_a = 0.9982$ ) y *Tiquilia canescens* ( $X = -0.197$ ,  $P_a = 0.9803$ ). Las zonas en azul representan valores de asociación positiva entre las especies ( $>0.025$ ), mientras que las zonas en blanco representan valores negativos o de disociación ( $<0.975$ ).



**Figura 21.** Se representa la asociación espacial negativa entre *A. kotschoubeyanus* y *K. humboldtiana* ( $X = -0.198$ ,  $P_a = 0.9803$ ) y *C. mexicana* ( $X = -0.116$ ,  $P_a = 0.8695$ ). Las zonas en azul representan valores de asociación positiva entre las especies ( $>0.025$ ), mientras que las zonas en blanco representan valores negativos o de disociación ( $<0.975$ ).



**Figura 22.** Asociaciones espaciales positivas. Se representa la asociación espacial positiva entre *A. kotschoubeyanus* y *O. lindheimeri* ( $X = 0.275$ ,  $P_a = 0.0134$ ) y *Tiquilia* sp ( $X = 0.379$ ,  $P_a = 0.0014$ ). Las zonas en azul representan valores de asociación positiva entre las especies ( $>0.025$ ), mientras que las zonas en blanco representan valores negativos o de disociación ( $<0.975$ ).

## VIII. Discusión

Los resultados relacionados a la caracterización demográfica de la población de *A. kotschoubeyanus* de la comunidad de Vista Hermosa, Cadereyta, Querétaro, genera una gráfica de tipo regresiva, ya que la base de la pirámide es más pequeña que los escalones superiores lo que sugiere un bajo reclutamiento de nuevos individuos.

En el histograma de frecuencias, se observa una distribución de diámetros en la que prevalecen los adultos de tamaño intermedio encontrándose el 85% del total de individuos en las clases de diámetro 2 a 4 (2 a 4.9cm), lo que sugiere un impacto mínimo ocasionado por la colecta ilegal de especímenes en esta población, pues regularmente los colectores tomarían de forma selectiva las plantas más grandes y sanas.

Debido a que el reclutamiento de plantas en el desierto ocurre en pulsos, es de esperarse que el establecimiento de plántulas sea mayor en algunos años que en otros (Vega y Montaña, 2004). Por lo que, la falta de individuos juveniles pudo haberse ocasionado por un bajo índice de germinación debido las condiciones ambientales poco favorables en años anteriores lo cual repercutió directamente en la germinación y establecimiento de nuevos individuos, pues 1) es drástica la diferencia del número de individuos en la categoría 2 (de 2.0 a 2.9) y la categoría 1 (de 1 a 1.9) y 2) si analizamos el número de individuos por diámetro (apéndice II), nos damos cuenta que hay una secuencia de varios individuos aproximadamente cada 10mm y no hay ningún individuos entre los 1.04cm y 1.84cm de diámetro, indicando que probablemente las condiciones ambientales no permitieron su establecimiento en esa temporada. Para corroborar esto, se necesitan complementar los datos del índice de crecimiento para predecir los años en los cuales no se reclutaron individuos y compararlo con las condiciones ambientales del lugar en esos periodos.

Las especies encontradas en el área de estudio son características del matorral xerófilo micrófilo (Sánchez et al., 2006), en la cual *Acacia vernicosa* es la especie con mayor valor de importancia (VI) y es la especie más dominante del lugar de estudio, mientras

que *Agave striata* es la especie con mayor densidad relativa ( $D_r = 22.55$ ). Los índices de heterogeneidad obtenidos muestran que es un área diversa, por ejemplo el índice de diversidad de Shannon  $H' = 3.21$ .

La capacidad que tienen las plantas de alterar las condiciones ambientales en sus alrededores y modificar los flujos de recursos y energía dentro de los ecosistemas han sido ampliamente reconocidos (Binkley y Giardina, 1998). Numerosas investigaciones realizadas en zonas áridas y semiáridas han puesto de manifiesto las marcadas diferencias en las propiedades edáficas que se presentan entre las manchas de vegetación y las zonas desnudas circundantes. Por ello, si se compara con los espacios desnudos contiguos, el suelo debajo de la vegetación suele presentar una mejor estructura (Abrahams y Parsons, 1991), más materia orgánica (Binkley y Giardina 1998; Franco y Nobel, 1989;), mayor capacidad de almacenamiento de agua y de infiltración (Bhark y Small, 2003) y contenidos más elevados de N, P y otros nutrientes así como un notable incremento en la actividad microbiana (Maestre, 2006; Daqui et al., 2007; Franco y Nobel, 1989; Suzán et al., 1996; Cody, 1993; Carrillo-García, 1999; Valiente-Baunet y Ezcurra, 1991).

Por otro lado, la caracterización del suelo del área de estudio muestra que es un suelo de tipo arcillo limoso, medianamente alcalino, pobre en nitrógeno y se puede considerar como una sola unidad edafológica con características físicas homogéneas tales como el color en la escala de Munsell, la textura, la densidad real y la densidad aparente.

La materia orgánica y los nutrimentos, principalmente el nitrógeno, suelen ser escasos en los desiertos (García-Moya y McKell, en Reyes-Olivas, 2001). El análisis químico de pH y Nitrógeno total (N tot) de las muestras edáficas colectadas en el área donde crece y donde no crece *A. kotschoubeyanus* indican que, ambas áreas poseen valores similares y no hay diferencias significativas, por lo que estas variables se pueden considerar de poca importancia en relación al patrón de distribución espacial de *A. kotschoubeyanus*, pues se considera una sola unidad edafológica en esta escala de estudio y por lo tanto toda esta área podría ser colonizada por el cactus.

Haciendo un análisis, sobre la materia orgánica (MO) y el porcentaje de Carbono orgánico, encontramos que hay una tendencia de mayor concentración de MO y %C en el área donde crece *A. kotschoubeyanus*, sin embargo las diferencias son significativas únicamente en el horizonte 2 (MO; 6, P= 0.027\*) y (%C orgánico; 6, P= 0.027\*). Esta tendencia también es observable en el horizonte 1, (área sin el cactus %C orgánico prom.  $1.15 \pm 0.02$ ; área con el cactus %C orgánico prom.  $1.26 \pm 0.05$  (T=3, P=0.095)). Aunque esto no es de importancia para la explicación de la distribución espacial, muestra que la presencia de *A. kotschoubeyanus* en el área desprovista de vegetación, contribuye directamente y por sí mismo en la dinámica de suelos y en la distribución de la MO, pues al haber mayores cantidades de C total y MO que en la zona desprovista de vegetación y sin *A. kotschoubeyanus*, podría ser indicador de la actividad biológica y/o microbiológica aportada por este cactus.

La descripción edafológica realizada en este trabajo es un análisis general, sin embargo hay estudios más finos y específicos los cuales pudieran detectar algunas diferencias entre las zonas desprovistas de vegetación donde se desarrolla y donde no se encontró el *A. kotschoubeyanus*, tal como análisis de actividad biológica o la identificación de micorrizas arbusculares (MA) asociadas las cuales hubieran podido mostrar otras asociaciones y diferencias que no fueron detectadas con los estudios de suelo realizadas. Finalmente podemos decir que la descripción física y química del suelo donde se desarrolla *A. kotschoubeyanus* detallada en el presente estudio, es muy importante para la caracterización de los requerimientos mínimos para el establecimiento de la especie (Carrillo et al., 1999).

El análisis visual de la superficie de los cactus cubierta por rocas indica que de 69 *Ariocarpus kotschoubeyanus* encontrados en un área de 25 m<sup>2</sup> el 92.8% (64 individuos) tenían al menos una roca en su superficie. Recientes investigaciones muestran que así como existen asociaciones bióticas como las plantas nodriza, se ha encontrado que varias especies de cactáceas crecen preferentemente cercanas a rocas, incluso las han considerado como nodrizas abióticas, debido a que en las zonas adyacentes a las rocas se genera un microambiente similar al encontrado bajo los arbustos (Reyes-Olivas, 2001;



Peters et al., 2008).

Por ejemplo, Peters et al. (2008), hicieron un estudio de las relaciones de nodricismo bióticas y abióticas para 8 especies del género *Mammillaria* y encontraron que la asociación con plantas nodrizas fue escasa, mientras que las asociaciones nodriza abióticas fueron mucho más frecuentes. Cinco de las ocho especies fueron encontradas bajo plantas nodrizas con menor frecuencia de lo esperado. Sólo *M. kraehenbuehlii* estuvo asociado a los arbustos. Ellos muestran que la asociación con rocas era mucho más común (Peters et al., 2008).

Otro ejemplo lo muestra Reyes-Olivas 2001 quien estudió la asociación de cactáceas con arbustos en el desierto costero de Topolobampo, Sinaloa, él muestra que cuatro de las siete cactáceas analizadas resultaron asociadas con piedras: *Echinocereus sciurus* var. *floresii*, *Mammillaria dioica*, *Mammillaria mazatlanensis* y *Stenocereus thurberi* var. *thurberi*, promediando distancias de 0.4, 0.9, 0.6 y 0.6 cm a la piedra más próxima, respectivamente. Indicando que la cercanía a piedras no es algo casual, sino que debía tener algún significado biológico para las cactáceas. Ellos reportan que la tendencia más o menos clara de las cactáceas es a ocupar piedras de tamaños intermedios, de 8 a 40 cm de diámetro.

Analizando la posibilidad de esta asociación abiótica con rocas nodrizas, podemos decir que aunque los *A. kotschoubeyanus* estudiados presentaron una asociación con rocas, estas rocas son diferentes a las reportadas por Reyes-Olivas (2001) y Peters et al. (2008) pues se tratan de rocas grandes junto a las cactáceas. En este caso, son lutitas y fragmentos de lutitas muy delgadas con un promedio de 5.5 cm en su lado más largo, que se encontraban en la superficie de los cactus y a sus alrededores. Además, es probable que por su tamaño y forma estas rocas puedan tener ciertos desplazamientos al ser removidas por las corrientes de agua, el paso de animales y la erosión, por lo que se puede asumir que la permanencia de estas rocas en la superficie de los cactus es temporal; sin embargo, su papel puede ser muy importante en la amortiguación transitoria de la temperatura.

Se ha publicado que las piedras superficiales y afloramientos rocosos afectan el movimiento de calor y agua en el suelo. Actúan como aislante térmico durante el día y ayudan a reducir las temperaturas extremas. Además, los poros no capilares y las sendas tortuosas de escurrimiento propiciadas por piedras aumentan la infiltración del agua y reducen la escorrentía. En suelo desnudo, la energía cinética de la lluvia contribuye a sellar los poros del suelo y se incrementa la pérdida de agua por escorrentía. El bloqueo de las gotas de lluvia produce acumulación de agua en la orilla de las piedras y en su cara inferior, habiendo condensación y reutilización del agua en la superficie inferior de las piedras además de que la evaporación es menor en comparación con un sitio adyacente sin piedras (Jury y Bellantuoni, 1976; Nobel, 1978; Nobel et al., 1992; Agassi y Levy, 1991 y Epstein et al., 1966, en Reyes-Olivas, 2001).

Por lo tanto, aunque no podemos considerarlas completamente como un tipo de nodriza abiótica, estos suelos cubiertos por camas de lutitas representan un hábitat propicio para esta especie, pues contribuyen directamente en la amortiguación de la temperatura y la captación de agua, proporcionando un microclima exclusivo para cada cactus pues dependerá del área de la superficie del *A. kotschoubeyanus*, cantidad de rocas y área de la superficie cubierta. Sin embargo, aunque se dice que las piedras que se encuentran con frecuencia en ecosistema áridos, regularmente no interfieren con la radiación que requiere la planta adulta (Reyes et al., 2002), para algunos cactus, y en este caso por la forma del *A. kotschoubeyanus* y la posición de las rocas, puede tener un costo, debido a que la piedra y la sombra que produce reducen directamente la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que además ya es un factor limitante para suculentas debido a que tienen una proporción superficie/volumen muy baja (Nobel, 1988 en Reyes-Olivas, 2001). Por otro lado, se desconoce su posible impacto referente a su floración y dispersión de frutos, pues debido a que esta especie de *Ariocarpus* crece al nivel del suelo, las rocas en su superficie pueden intervenir directamente en su fenología y éxito reproductivo.

## Condiciones ambientales

En promedio las temperaturas superficiales del suelo registradas al medio día en el mes de agosto (representando la época de lluvias) fue de 44.9°C y la radiación determinada como FFF en PAR tuvo un promedio de 1,063.5. En la temporada de sequías, registrada en enero, en relación a la época de lluvias aumentó 4.4°C presentando una temperatura promedio de 49.3°C y una radiación de 1,145.09. La temperatura promedio de la superficie del suelo a las 6:00 am en el mes de enero que es uno de los meses que registra las menores temperaturas, fue de 4.4°C, registrándose temperaturas hasta de 1°C.

Respecto al amortiguamiento que ofrecen las especies bajo sus doseles ante las bajas temperaturas podemos decir que en promedio generan un microambiente de hasta 4.89°C más que en las áreas sin cubierta vegetal, pues se registró en promedio 9.37°C bajo los doseles, siendo una diferencia estadísticamente significativa, recalcando la importancia de la vegetación en la generación de microclimas.

De las cinco especies con mayor VI estudiadas, encontramos que estadísticamente *C. imbricata* es la especie que mejor amortigua las temperaturas frías presentando un promedio de 7.80°C, que representa 3.4°C más que en un área abierta. La especie que presenta la menor capacidad de amortiguar las temperaturas extremas de la mañana bajo su dosel es *Acacia vernicosa* registrando un promedio de 5.5°C, pues sólo genera una diferencia de 1.1°C menos en relación al área abierta. Las especies *A. striata*, *C. bicolor* y *K. humboldtiana*, presentan temperaturas estadísticamente similares bajo su dosel.

Respecto a la amortiguación de la radiación y temperaturas registradas al medio día en la época de lluvia. *A. striata* mostró ser la mejor amortiguadora pues su dosel genera una sombra más intensa disminuyendo la radiación un 94.66%, en cuanto a temperatura, también se coloca como la mejor amortiguadora pues su sombra ofrece una diferencia de 20.4°C menos que en el área abierta. Mientras que *A. vernicosa* resultó ser la especie que ofrece el más escaso amortiguamiento pues presentó los valores más altos de radiación y temperatura. Su dosel reduce apenas el 83.35% de la radiación recibida y disminuye tan solo un promedio de 14.2°C en relación de la temperatura de un área sin cobertura. *C.*

*imbricata* y *C. bicolor* muestran una disminución del 93% de la radiación y una disminución de 14.5°C y 19.6°C menos respectivamente en cuanto a la temperatura registrada en un área abierta.

En la época de secas, los resultados son muy similares, pues *A. striata* y *C. bicolor* son los mejores amortiguadores de temperatura y radiación y *A. vernicosa* es la especie que no amortigua bien estos factores. El dosel de *A. vernicosa* reduce apenas un 53.73% de la radiación total recibida y apenas disminuye 13.6°C en relación de la temperatura de un área sin cobertura. Mientras que *A. striata* reduce un 90% la radiación y 14.3°C menos que el suelo sin cobertura vegetal.

Estos datos son de gran importancia pues indican que del total del área con cobertura vegetal, el 42.82% tiene una pobre amortiguación ante las condiciones ambientales extremas pues está cubierta por *A. vernicosa*. Sin embargo, una buena proporción del área está cubierta por especies que son buenas amortiguadoras pues el 52.87% del área con cobertura vegetal está ocupada por *K. humboldtiana*, *C. bicolor*, *A. striata* y *C. imbricata* que son mejores “especies amortiguadoras”.

La diferencia entre las especies respecto a la amortiguación de la temperatura, puede estar directamente relacionada a la morfología y estructura de estas plantas, por un lado *C. imbricata* es un arbusto carnoso con tallos cilíndricos gruesos con segmentos ramificados largos, por lo que ofrecen bajo su dosel un microambiente homogéneo y constante a través del tiempo pues no presenta modificaciones en la transición de temporada de lluvia y sequía. Lo mismo ocurre en el caso de *A. striata* que forma una roseta densa y no pierde follaje por lo que ofrece un microambiente homogéneo. Sin embargo, debido a su estructura difícilmente podrían fungir como nodriza de especies con una estructura diferente a *A. kotschoubeyanus*, pues al ser rosetófila, su dosel no tiene un tronco típico que la separe del suelo, sino que sus hojas se distribuyen desde el suelo donde están las hojas más viejas, hasta el centro donde se encuentran las más jóvenes, por lo que, aunque haya un buen amortiguamiento de temperatura, difícilmente se podría establecer una especie en este espacio.

En contraste, *A. vernicosa* es un arbusto con ramas muy delgadas y separadas entre sí con follaje poco denso con foliolos muy pequeños, dando como resultado un dosel que proyecta una sombra pobre y dispersa con poca capacidad de amortiguar las altas y bajas temperaturas características en la época de secas. Además de que en la época de sequías *A. vernicosa* pierde casi todo su follaje, disminuyendo aún más su capacidad de amortiguamiento de la radiación y temperatura.

Sin embargo, menores temperaturas y menos radiación durante el día bajo el dosel de las plantas no son necesariamente indicativo de mejores nodrizas, pues otras especies de acacia como *Acacia schaffnerii*, *Acacia caven* y *Acacia pachycera*, han sido consideradas como buenas nodrizas al proporcionar nutrientes y humedad, así como protección contra herbivoría (Flores y Jurado, 2003).

Como era de esperarse, la vegetación arbustiva del área de estudio se presentó formando parches y claros discontinuos. Este tipo de agregación ha sido bien documentada en ambientes áridos y semiáridos, donde la vegetación está siempre en mosaicos compuestos por parches vegetales de alta cobertura y parches con poca o nula cobertura (Valiente-Banuet, 1991; Reyes y Pugnaire, 2003). En general, las especies del área estudiada mostraron un patrón de distribución tendiendo a la agregación  $I_a < 1$ , ( $P > 0.01$ ).

El estudio del patrón de distribución espacial de *A. kotschoubeyanus* indica que se distribuye formando agregados fuertemente aglomerados. Esta distribución espacial es apreciable en ambas escalas 10x10m y 20x20m ( $I_a = 1.8 \pm 0.32$ , y  $I_a = 2.11$  respectivamente,  $P_a < 0.005$ ) por lo que se puede decir que la escala de análisis para determinar el patrón de distribución de *A. kotschoubeyanus* no fue determinante, pero debe ser un factor importante de consideración en el uso de SADIE como una herramienta de estudio de la distribución espacial para especies más grandes. El tamaño de los cuadrantes resultó ser importante para la definición del patrón de distribución espacial de las especies arbustivas de mayor tamaño como *K. humboldtiana* y *A. vernicosa* las cuales definen mejor su patrón de distribución como especies agregadas en la escala 20x20m mostrando claros y parches más diferenciados.

Aunque las evidencias sugieren que la asociación de plantas nodrizas-cactus es prevalente y constante en la familia Cactaceae y se han descrito ampliamente estas relaciones de facilitación y nodricismo en ambientes desérticos y semidesérticos, nosotros encontramos que *A. kotschoubeyanus* se distribuye formando agregados fuertemente aglomerados disociados de toda vegetación pues los índices de asociación local detectaron interacciones negativas entre *A. kotschoubeyanus* y el resto de la vegetación arbustiva perenne principalmente de las especies con mayor valor de importancia (VI) y mayor cobertura: *Calanticaria bicolor* ( $X^2=-0.2568$ ,  $P<0.9982$ ,  $VI=130.3$ ), *Karwinskia humboldtiana* ( $X^2=-0.1948$ ,  $P<0.9803$ ,  $VI= 134.7$ ) y cuyos doseles podrían ofrecer las mejores microcondiciones para el establecimiento de *A. kotschoubeyanus* por lo que se descarta cualquier relación de nodricismo biótico.

Contrastando este resultado con otras especies del género *Ariocarpus*, vemos que hay diferentes patrones de distribución entre las especies del género. Por ejemplo, Suzán et al. (1997), encontraron que *Ariocarpus trigonus* se distribuye formando agregados y describió una dependencia espacial de *Prosopis laevigata* y *Cercidium praecox* considerándolos como sus posibles plantas nodriza pues bajo sus doseles se reclutaban más individuos de los esperados. Contrariamente, Godínez, 2003 menciona que *Ariocarpus fissuratus* crece preferentemente en áreas abiertas. Por lo que podemos decir que dentro del mismo género hay diferencias importantes en los patrones de distribución y no se pueden hacer generalidades tomando sólo como referencia a otra especie del género, las similitudes en sus características morfológicas o del tipo de vegetación en que se desarrolla.

Es importante mencionar que hay varios ejemplos que muestran que otras especies como *Ariocarpus fissuratus*, *Epithelantha bokei*, *Mammillaria magnimamma*, *M. lasiacantha*, *M. pectinifera*, y *Turbincarpus pseudopectinatus*, (Godínez et al., 2003) *M. solisioides*, *M. lanata* (Peters et al., 2008) y *E. sciurus*, *O. burrageana* y *O. fulgida* (Reyes-Olivas, 2001) se establecen preferentemente en áreas abiertas, curiosamente, son principalmente especies globosas (Reyes-Olivas, 2001) y debido a sus características morfológicas.

Espacialmente, este modelo de escala 1x1m detectó una asociación espacial positiva entre *A. kotschoubeyanus* y *Tiquila sp* y con *Opuntia lindheimeri*, ( $X=0.379$ ,  $X=0.2753$ ,  $P<0.0001$ , respectivamente). Sin embargo, no indican necesariamente que existe una relación de facilitación o nodricismo, pues se debe tomar en cuenta otras observaciones y mediciones en campo relacionadas a la amortiguación de las condiciones y facilitación. En este caso, la asociación espacial de *A. kotschoubeyanus* con *Tiquila sp* y *Opuntia lindheimeri*, indica que ambas especies se establecen en un área de 1x1m, pues sus tallas son muy pequeñas en promedio 3.44 cm para *A. kotschoubeyanus* y unos 15cm para *Tiquila sp.*, por lo que un metro cuadrado es un espacio suficiente para que estas dos especies de tallas pequeñas puedan desarrollarse sin que esto signifique necesariamente que exista una relación de nodricismo.

Por otro lado *Tiquilia sp* es una hierba rastrera anual y una de las características más importantes de la relación de nodricismo es que las plantas protegidas se establecen bajo el dosel de plantas que proporcionen una sombra constante, como es el caso de las perennifolias, cuyo micro ambiente puede ser más homogéneo que el de las especies caducifolias (Mandujano et al., 2002; Suzán et al., 1996). Sin embargo no se descarta la posibilidad de que *A. kotschoubeyanus* reciba ciertas facilitaciones por parte de *Tiquilia sp.*, pues debido a su condición de hierbas anual caducifolia y desarrollo próximo a los parches de *A. kotschoubeyanus* se asume una aportación de materia orgánica (por la reintegración de la biomasa), buena contribución a la descomposición de materia orgánica y la retención de nutrientes (Moro et al., 1997). Respecto a esto, nosotros detectamos mayor % MO tot y C orgánico en el suelo donde se desarrolla *A. kotschoubeyanus* que en un área totalmente descubierta, probablemente por las aportaciones de *Tiquilia sp.* o bien por la actividad biológica y otros mecanismos del propio *A. kotschoubeyanus*.

En relación a la asociación espacial detectada entre *A. kotschoubeyanus* y *O. lindheimeri*, al igual que en el caso de *Tiquilia sp.*, puede ser debido a la probabilidad de que ambas puedan crecer la misma área ( $1m^2$ ), pues las observaciones en campo no indican que *A. kotschoubeyanus* creciera debajo o muy próximo a *O. lindheimeri*, que además, es una

especie rastrera y cuya proyección de sombra y contribución de materia orgánicas son mínimas.

Aunque el nodricismo es una de las explicaciones principales de la distribución aglomerada de las cactáceas, las asociaciones negativas podrían ser explicadas por las siguientes hipótesis: i) por la existencia de un proceso de exclusión competitiva (Lawrey, 1991), ii) por efectos alelopáticos que impiden su establecimiento en las áreas con vegetación y iii) *A. kotschoubeyanus* no es capaz de establecerse bajo el dosel de los arbustos debido a sus características ecofisiológicas y la forma de dispersión de semillas.

#### i) Disociación por exclusión competitiva.

Por definición, la competencia involucra una lucha constante por la obtención de recursos como luz, agua, o nutrientes y de la adquisición de carbono (Callaway y Walter, 1997). Bajo condiciones físicas severas como frío o calor extremo, salinidad, entre otras, la competencia es más intensa pues puede existir una restricción en la obtención de éstos recursos (Callaway y Walter, 1997). Por lo que la competencia entre las plantas tiende a excluir a las plantas vecinas, y con el paso del tiempo, puede promover los modelos espaciales uniformes (Beals 1968, Phillips y MacMahon 1981, Ehleringer 1984, McAuliffe y Janzen 1986, en Mirita et al., 2001) afectando su distribución global, abundancia, crecimiento, supervivencia, y fecundidad de otras especies (Mirita et al., 2001).

Descartamos la posibilidad de que *A. kotschoubeyanus* esté asociada a nodrizas debido a un efecto negativo de las plantas perennes por competencia por agua o luz, este fenómeno casi siempre ha sido descrito en selvas donde la luz representa una verdadera competencia entre las especies (Rakocevic, 2005), mientras que en el desierto la luz no es una limitante, pero si lo es el agua.

Si la disociación de *A. kotschoubeyanus* con la vegetación perenne estuviera asociada a la competencia por agua u otros recursos incluyendo la luz, encontraríamos individuos creciendo debajo de cualquier planta perenne y se observarían características como:



menor tamaño, colores opacos, individuos menos hidratados o menos vigorosos en comparación con los individuos que crecen en las zonas abiertas, siendo esto un indicativo de que existe una competencia constante por tales recursos (Franco y Nobel 1989); por el contrario, *A. kotschoubeyanus* crece preferentemente en zonas sin cobertura vegetal, encontrando apenas unos cuantos individuos creciendo cerca de las islas de vegetación. Por lo que se descarta la posibilidad de una distribución disociada de la vegetación por efectos de competencia por tales recursos.

Otra de las modalidades más importantes de competencia que determinan el patrón de distribución espacial es la facilitación a ciertas edades, por ejemplo se ha visto que algunas especies se benefician del microambiente proporcionado por las nodrizas durante la germinación y establecimiento de plántulas, sin embargo el equilibrio de competencia y facilitación cambia entre las varias fases de vida del beneficiario y la nodriza (Calaway y Walter, 1997). En el caso de *A. kotschoubeyanus* se descartó la idea de que ocurra la germinación y establecimiento de algunas plántulas bajo el dosel de alguna nodriza y después sean desplazadas y sobrevivan únicamente las plántulas más alejadas de la vegetación pues encontramos pocos individuos de edades jóvenes y ninguna fue encontrada cercana a los parches de vegetación.

Pese a que se ha documentado que las plantas tienen mayor probabilidad de supervivencia en ambientes áridos cuando presentan en sus raíces asociaciones con micorrizas arbusculares (MA), debido a que los filamentos de las hifas aumentan eficazmente los sistemas de raíz, aumentando la captación de agua y nutrientes (Apple, 2005). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que los hongos micorrízicos que pueden ser benéficos para una especie, puedan ser perjudiciales para otras, generando asociaciones negativas. Respecto a esto, hay antecedentes que muestran que el género *Ariocarpus* presenta grandes dificultades para su cultivo, las cuales estriban principalmente en la gran sensibilidad de las raíces, que no soportan ni la humedad del sustrato ni la presencia de materia orgánica en descomposición, de modo que bacterias y mohos pueden destruir los ejemplares en muy poco tiempo (Sheinuar, 2004). Por lo que *A. kotschoubeyanus* podría estar disociado de la vegetación por una exclusión generada

por bacterias y micorrizas presentes en la vegetación arbustiva dominante, generando un patrón de distribución totalmente alejado de los parches de vegetación.

Por lo tanto la asociación con *Tiquilia sp* sugiere que no implica aportaciones de materia orgánica fuertes ya que son hierbas anuales caducifolias, las cuales en este ambiente desempeñan un papel importante en un corto tiempo, puede que éstas estén proporcionando las cantidades de materia orgánica y otros elementos, o incluso facilitando condiciones de germinación y establecimiento de plántulas. Otro punto importante es que la reincorporación de estos elementos será sólo en una temporada por lo que no habrá fuertes acumulaciones de materia orgánica ni de humedad asociados, ya que al estar en las zonas más abiertas, por la incidencia directa de los rayos solares y las temperaturas altas, estas se deshidratarán rápidamente, por lo que la posibilidad que deja a *A. kotschoubeyanus* de desarrollar hongos o colonias grandes de bacterias es muy baja. Aunque no se descarta que *A. kotschoubeyanus* presente sus propias micorrizas asociadas.

#### ii) Disociación por efectos alelopáticos.

Se ha descrito en varios trabajos el efecto alelopático de las hojas de especies perennes con ciertos compuestos resinosos que reducen la viabilidad o incluso por tener un efecto inhibitorio en la germinación de las semillas de algunas especies de cactáceas como el caso de *Trichocereus pasacana* bajo el dosel de *B. boliviensis* y que por ser un arbusto tan abundante limita su establecimiento y determinan su patrón de distribución dando lugar a asociaciones de nodricismo con plantas menos abundantes y con menor cantidad de semillas bajo sus doseles (de Viana et al., 2000).

Estudios muestran que contrario a mostrar efectos alelopáticos las especies con mayor VI en el área de estudio han sido consideradas como plantas nodrizas o beneficiadas, por ejemplo varias especies de acacia como *Acacia caven*, *A. papyrocarpa*, *A. pachyceras*, *A. tortilis*, *A. schafnerii* y *A. raddiana*, han sido consideradas como buenas nodrizas al proporcionar nutrientes y humedad, protección contra herbivoría. El género *Agave*

aparece como especie nodriza y a la vez como planta beneficiada. *Chrysactinia mexicana* es una especie beneficiada por *Acacia rigidula*, *Jatropha sp*, *Karwinskia sp* y *Cylindropuntia imbricata* ha sido encontrada como planta nodriza y beneficiada (Flores y Jurado, 2003). Tomando en cuenta estas observaciones, podríamos descartar que la disociación espacial de *A. kotschoubeyanus* con la vegetación arbustiva dominante sea por efectos alelopáticos. Aunque se desconoce los efectos de una exclusión específica por algún otro factor como micorrizas específicas que pudieran ser benéficos para otras plantas incluyendo otras cactáceas pero que sean perjudiciales para *A. kotschoubeyanus*.

### iii) Disociación por sus características fisiológicas y la forma de dispersión de sus semillas.

El hecho de que *A. kotschoubeyanus* crezca preferentemente alejado de la vegetación, no significa que no requiera de las facilidades que ofrece una nodriza, como sombra, humedad y protección contra herbivoría, entre otras, más bien indican que *A. kotschoubeyanus* presenta ciertas adaptaciones fisiológicas y morfológicas que le permiten obtener los mismos beneficios generando sus propias microcondiciones y que determinan su establecimiento y por lo tanto su patrón de distribución.

Se ha demostrado que las cactáceas globosas gigantes son las más tolerantes al calor, le siguen las columnares, las globosas pequeñas, luego las *Platyopuntia* y las *Cylindropuntia*. Puesto que la disipación de calor depende de la raíz cuadrada del diámetro de cilindros y esferas, los tallos cilíndricos delgados más sensibles al calor lo disipan con el simple paso del aire y evitan así los daños del calor excesivo (Reyes-Olivas, 2001).

En el caso de *A. kotschoubeyanus*, podemos mencionar varios aspectos en relación a las adaptaciones fisiológicas y los beneficios que obtiene. *A. kotschoubeyanus* es una planta geófito que se desarrolla al nivel del suelo y que únicamente expone el área fotosintéticamente activa directo al sol, lo cual representa un área pequeña comparada con el resto de la planta la cual es una raíz piriforme tuberculosa de hasta de 10 cm de longitud que se encuentra bajo la tierra (Sheinuar, 2004). Nosotros medimos la

temperatura superficial de 33 plantas de *A. kotschoubeyanus* al medio día en la época de sequías y registró 46.32°C, mientras que el suelo superficial registró 46.56°C, lo que parecen ser temperaturas muy similares y se pudieran interpretar como poca capacidad de dispersar el calor, sin embargo es de considerar que en el suelo también se genera un gradiente de temperaturas que van desde la superficie del suelo la cual recibe directamente la radiación solar y las capas más internas de la tierra, donde la temperatura va disminuyendo, por lo que la mayor parte de la planta, al estar enterrada, se encuentra en mejores condiciones de temperatura y humedad y sin una exposición directa a la radiación solar.

Este fenómeno ha sido documentado en plantas suculentas como las del género *Lithops* cuyas especies habitan en zonas desérticas del sureste de África, estas plantas al igual que *A. kotschoubeyanus* se camuflajan en los ambientes pedregosos y sus hojas se encuentran incluidas en la tierra excepto las más superficiales, por lo que son incapaces de utilizar los mecanismos comunes para controlar la temperatura de las hojas por orientación, sin embargo se conoce que esta posición en la tierra modifica su capacidad calorífica reduciendo las variaciones diarias en la temperatura de las hojas (Wickens, 1998), pues aunque las hojas más superficiales son expuestas y modificadas por las condiciones climáticas aéreas, el resto de la planta sigue los patrones climáticos del suelo y es protegida ante la radiación directa y los cambios de humedad en el aire (Von Willert et al., 1992).

Por otro lado, *A. kotschoubeyanus* crece al nivel del suelo por lo que éstos cactus se encuentran generalmente cubiertos por polvo, partículas arcillosas, (Řía y Šubík, 1991 y Sheinuar, 2004) lutitas y restos de lutitas que en su conjunto las protegen contra los rayos solares. Sus características morfológicas indican que son tolerantes a las altas temperaturas pues la parte expuesta del *A. kotschoubeyanus* son tubérculos triangulares con la superficie cutinizada gruesa, arrugada, surcada irregularmente y provista de un canal longitudinal con tricomas, lo cual evita una evapotranspiración excesiva así como la disipación del calor y la incidencia menos directa de los rayos solares.

Otro de los beneficios más destacados del nodricismo es la protección ante herbivoría y destrucción de frutos (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Baunet y Ezcurra, 1991; Cody, 1993; Suzán et al., 1996; Carrillo-García, 1999). En este caso *A. kotschoubeyanus* presenta dos mecanismos que eventualmente cumplen con esta función, por un lado es una cactácea con mimetismo cromático, con lo que al confundirse con el suelo evita ser vista por sus posibles depredadores. Por otro lado sus tejidos contienen altas concentraciones de alcaloides que la protegen contra los herbívoros tan eficazmente como las espinas de otros cactus (Loza-Cornejo y Terrazas, 2003, Sheinuar, 2004).

Aunque se ha estudiado ampliamente el papel fundamental de las nodrizas en el aumento de la concentración de Nitrógeno (N) en comparación con la presente en lugares abiertos, hay trabajos que muestran que las concentraciones de N pueden ser variables hasta en escala de centímetros (Peek y Forseth, 2003) y que incluso puede ser mayor en las zonas abiertas que debajo del dosel de las plantas nodrizas (Valiente-Baunet y Ezcurra, 1991), por lo que este beneficio puede ser aportado por la propia dinámica de los suelos generada por escorrentías, erosión y el paso eventual de animales, generando suelos con concentraciones de nitrógeno muy heterogéneas, por lo que aún espacios sin mayor cobertura vegetal como el área donde se desarrolla *A. kotschoubeyanus* podrían tener las cantidades suficientes para satisfacer sus requerimientos metabólicos.

Así mismo, se ha discutido que hay una falta relativa de evidencia empírica que relacione la agregación espacial de plantas con la facilitación interespecífica. De ser así, podríamos evidenciar que en cuanto al mejoramiento de suelos y el aporte de nutrientes, nuestro estudio reveló que el área donde se desarrolla *A. kotschoubeyanus* tenía mayor cantidad de Materia orgánica y carbono total que el área desprovista de vegetación. Esto podría indicar que *A. kotschoubeyanus* contribuye *per se* en la dinámica del suelo y en la distribución de la materia orgánica y posiblemente de otros nutrimentos. Como parte de esta posible facilitación interespecífica, la Tabla 15 muestra otros beneficios obtenidos por la planta debido a sus propias características fisiológicas en contraste con las obtenidas por otras cactáceas beneficiadas por una nodriza.

A pesar de que la información detallada de los mecanismos, habilidad de dispersión y tamaño de la distribución proporcionaría una visión importante sobre su relación con los patrones de distribución, se sabe muy poco sobre la dispersión de la semilla de cactus (Goettsch y Hernández, 2006).

Mecanismos morfo-fisiológicos de <i>A. kotschoubeyanus</i> que reemplazan el nodricismo		
	Otras cactáceas	<i>A. Kotschoubeyanus</i>
Herbivoría	Nodricismo. Especialmente, los herbívoros tienen menos posibilidades de encontrar o alcanzar una planta protegida por una nodriza.	Toxinas como hordenina (y otros alcaloides). Los herbívoros evitan estas plantas por contener toxinas, pues tienen un sabor amargo.
	Espinas	Mimetismo cromático. La planta se confunde con el suelo disminuyendo las probabilidades de que su depredador la encuentre.
Amortiguación de las temperaturas altas	Nodricismo. La sombra producida por el dosel de las plantas nodrizas, disminuye las temperaturas extremas	Morfología, sólo la superficie está expuesta por lo que la mayor parte de su volumen permanece enterrado, creándose un gradiente de temperaturas.
		Presenta cutículas gruesas y tricomas que la protegen ante altas temperaturas.
Amortiguamiento de temperaturas extremas frías	Nodricismo, amortiguamiento bajo el dosel, se mantiene una temperatura más alta durante la madrugada y periodos fríos que las áreas abiertas, evita el daño por congelamiento.	Posee estructuras como: cutículas gruesas, tricomas y pelos que evitan daños por congelamiento y disminución de las temperaturas extremas.
Amortiguación de la radiación solar	Nodricismo, la radiación solar es disminuida por la sombra de las nodrizas.	Tiene en su superficie partículas de polvo, arena, lutitas y fragmentos de lutitas que reciben directamente la radiación solar.
Dispersión	Dispersión no azarosa de semillas bajo doseles.	Dispersión no azarosa de semillas e hijuelos por corrientes de agua y procesos de inundación
Reclutamiento de individuos	Dispersión no azarosa de individuos formando conglomerados	Dispersión no azarosa de individuos formando conglomerados
Estrés por recursos	Nodricismo, incremento en la fertilidad del suelo.	Fisiológicamente es capaz de soportar el estrés y aprovechar recursos limitados del suelo.
		Las concentraciones de N en el suelo pueden ser iguales en área con y sin vegetación, pues hay evidencia de que no hay diferencias significativas en el aporte de nodrizas de N y P.

**Tabla 15.** Mecanismos morfo-fisiológicos de *A. kotschoubeyanus* que reemplazan el nodricismo.

Tocante a sus posibles dispersores y su contribución en la determinación del patrón de distribución espacial de *A. kotschoubeyanus*, se dice que en la determinación una de las limitaciones de la distribución de larga distancia son las características de la fruta. Reyes-Agüero et al. (2006) publicaron un estudio de  $\beta$ -diversidad y su asociación con el patrón

de distribución donde mencionan que *Ariocarpus kotschoubeyanus*, y otras especies como *Astrophytum myriostigma*, *Turbincarpus schmiedickeanus* y *T. subterraneus*, tienen frutos relativamente secos y pequeños que son poco atractivos a los potenciales dispersores de semillas a larga distancia tal como vertebrados frugívoros a quienes les atraen frutas grandes y carnosas (Reyes-Agüero et al. (en prensa) en: Goettsch y Hernández, 2006); además de que los frutos y semillas de estas especies regularmente se quedan entre los tubérculos, por lo que probablemente son diseminadas en distancia corta por dispersores como las hormigas logrando una distribución local de las semillas y plántulas, lo que genera el patrón de crecimiento aglomerado. Explicando así que el estrecho rango de distribución de algunas especies se debe por un lado, a su dispersión ineficiente y por otro a la posibilidad de establecimiento.

Aunado a esto, otra posible forma de exclusión mecánica promovida por la morfología de *A. kotschoubeyanus* y las condiciones bajo el dosel de las especies arbustivas, es la posible disminución de su éxito reproductivo por la acumulación de hojarasca y otros restos que pueden cubrir sus flores y bloquear visualmente a sus polinizadores y a sus dispersores. Por el contrario, en zonas abiertas donde su mimetismo cromático ayuda a evitar la herbivoría, y durante las etapas de reproducción sobresale al presentar flores vistosas de color rosa claro hasta carmín (Sánchez et al., 2006 y Sheinuar, 2004) que son rápidamente identificadas en las áreas abiertas.

En los ambientes semiáridos la germinación y establecimiento subsecuente de plantas es controlada fuertemente por la disponibilidad de agua en la tierra, esta disponibilidad muestra un grado fuerte de heterogeneidad debido a las variaciones espaciales y temporales en los modelos de lluvia, por lo que la distribución espacial está influenciado por la lluvia y las propiedades de superficie de tierra como la conformación y fragmentos de la piedra que tienen un papel importante en el escurrimiento y dinámica de la infiltración en estas áreas (Maestre, 2006.). Observaciones en campo sugieren que en la época de lluvias, *A. kotschoubeyanus* se hincha logrando sobresalir unos centímetros de la superficie del suelo exponiendo sus flores, después recuperan su forma original y los frutos y semillas quedan atrapados entre los tubérculos. Notas en campo mostraron

plántulas creciendo entre las areolas centrales, por lo que la germinación puede ocurrir entre las vellosidades que presentan los tubérculos centrales, la dispersión de esta plántula puede ser generada por alguna corriente de agua o insectos por lo que se espera una dispersión a corta distancia contribuyendo al patrón de distribución en agregados.

Por lo que, hay otros factores como las microcorrientes de agua después de la lluvia y su influencia en el patrón de distribución de *A. kotschoubeyanus* no han sido comprendidos en este estudio, podrían ilustrar más ampliamente la importancia de cada uno de estos factores en el patrón de distribución de esta especie.



## IX. Conclusiones

Como era de esperarse en una zona árida, la vegetación arbustiva del área de estudio se distribuye formando parches discontinuos formando claros y parches de vegetación.

El análisis de distribución espacial por índices de distancia (SADIE) de la población estudiada, muestra que *A. Kotschoubeyanus* se distribuye espacialmente formando agregados fuertemente aglomerados, con un índice de agregación ( $I_a$ ) de 2.114, apareciendo en parches disjuntos en áreas desprovistas de vegetación.

El análisis de asociaciones espaciales muestra que *A. Kotschoubeyanus* presenta asociaciones negativas con dos de las plantas con mayor cobertura y valor de importancia: *Karwinskia humboldtiana* y *Calanticaria bicolor*, presentando la misma tendencia para la el resto de la vegetación arbustiva del área de estudio, por lo que se descarta cualquier relación de nodiricismo.

Por otro lado, se encontró una asociación espacial positiva de *A. Kotschoubeyanus* se con una planta rastrera anual *Tiquilia* sp y con una planta perenne *Opuntia lindheimeri*, no obstante se descarta el fenómeno de nodiricismo, pues aunque hay una coincidencia espacial no hay una interacción ecológica de facilitación entre las especies.

Mientras que los primeros estudios dieron énfasis a la importancia de las interacciones interespecíficas negativas como la competencia y su influencia en la estructuración de las comunidades de plantas, y el más reciente enfoque en la importancia de las relaciones positivas o de facilitación como el nodiricismo. Existen nuevos acercamientos que llaman la atención a los elementos abióticos y la propia fisiología de las especies que contribuyen y determinan su patrón de distribución, a su dinámica de establecimiento, sucesión y permanencia de otras especies. Por lo que es importante efectuar investigaciones dedicadas a estudiar todas estas interacciones pues son clave para comprender la coexistencia entre las especies.

## **X. Perspectivas**

Debido a la importancia de la disponibilidad de agua de tierra y las variaciones espaciales generados por la lluvia, sería interesante efectuar un modelamiento a micro escala que relacione los escurrimientos de agua después de la lluvia y su relación con la distribución espacial para comprender su influencia en el patrón de distribución de *A.*

*kotschoubeyanus.*

Es importante desarrollar trabajos sobre demografía, fenología y éxito reproductivo.

Asociaciones con micorrizas

Tablas de vida para proyectar a futuro el éxito de la población.

## XI. Referencias

- Abrahams A. D. y Parsons A. J. 1991. Relation between infiltrations stone cover on a semiarid Hillslope, Southern Arizona. *Journal of Hydrology*, 122:49-59.
- Agassi, M. y G. J. Levy. 1991. Stone-cover and rain intensity; effects on infiltration, erosion and water splash. *Aust. J. Soil Res.* 29: 365-375. En Reyes-Olivas, 2001. Asociación de cactáceas con arbustos en el desierto costero de Topolobampo, Sinaloa. Universidad de Occidente. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R217. México D. F.
- Apple M. E., Thee, C.I., Smith-Longozo V.L., Cogar C.R, Wells C.E. y Nowak R.S. 2005. Arbuscular mycorrhizal colonization of *Larrea tridentata* and *Ambrosia dumosa* roots varies with precipitation and season in the Mojave Desert. *SYMBIOSIS* 39, xx-xx
- Barthlott W. y Hunt D. 1993. Cactaceae. Pages 161-197 en Hernández, H.M., Gómez-Hinostra C y Goettsch B. 2004. Checklist of Chihuahuan desert cactaceae. *Harvard Papers in Botany*, 9(1):51-68.
- Bashan Y, Anne D E, Carrillo-Garcia A y Linderman R G (2000) Assessment of VA mycorrhizal inoculum potential in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. *Appl Soil Ecol* 14:165-175
- Bethlenfalvay G J, Dakessian S y Pacovsky R S (1984) Mycorrhizae in a southern California desert: ecological implications. *Can J Bot* 62:519-524
- Beals E. W. 1968. Spatial pattern of shrubs on a desert plain in Ethiopia. *Ecology* 49:743-746. En Miriti M.N., Wright S.J. y Howe H.F. 2001. The Effects of Neighbors on the Demography of a Dominant Desert Shrub (*Ambrosia dumosa*). *Ecological Monographs*, 71(4):491-509.
- Bhark E.W. y Small E.E. 2003. Association between plant canopies and the spatial patterns of infiltration in shrubland and grassland of the Chihuahuan Desert, New Mexico. *Ecosystems* 6:185-196.
- Binkley D. y Giardina C. 1998. Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* 42:89-106.
- Braga D.L. y McLaughlin J.L. 1969. Cactus alkaloids. V. Isolation of hordenine and N-methyltyramine from *Ariocarpus retusus*. *Planta Med.* 17(1):87-94.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México. Vols. II y III. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Callaway R. M. 1995. Positive interactions among plants. *Botanical Review*. 61: 306-309.

- Callaway M.R. y Walter R.L. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78(7):1958-65.
- Carrillo-García A., J.-León de la Luz., Bashan Y. y Bethlenfalvay G.J. 1999. Nurse plants, micorrhizae and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. *Restoration Ecology*, 7(4):321-35.
- CNA. 2004. Registro Mensual de Precipitación Pluvial en mm. Inédito en INEGI fuente c22004\_01.xlsINEG. Precipitación total mensual registradas de 1961 al 2000.
- CNA. 2004. Registro Mensual de Temperatura Media en °C. Inédito en INEGI fuente c22004\_01.xlsINEG. Temperaturas medias registradas de 1963 a 2000.
- Cody M.L. 1993. Do Cholla Cacto (*Opuntia spp.* Subgenus *Cylindropuntia*) use or need plants in the Mohave Desert?. *Journal of Arid Environments* 24:139-54. En Zuñiga B., Malda G. y Suzán H. 2005. Interacciones Planta-Nodrizas en *Lophophora diffusa* (Cactaceae) en un Desierto subtropical de México. *Biotropica* 37(3):351-56.
- Cox, G. W. 1980. Laboratory manual of general ecology. 2nd Edition. William C. Brown Company Publishers.
- Daqui N.C., Leblanc H.A y Russo R.O. 2007. Distribución espacial de carbono, nitratos y amonio en estructuras biogénicas en un bosque secundario de la región tropical húmeda de costa rica. *Tierra Tropical*. 3(1):12-25.
- De Viana M.L., Sühling S. y Manly B.F.J. 2000. Application of randomization methods to study the association of *Trichocereus pasacana* (Cactaceae) with potential nurse plants. *Plant Ecology* 00:1-5.
- Domínguez X.A, Ramirez R.H, Ugaz O.L, Garcia J. y Ketcham R.1968. Chemical study of the cactus *Ariocarpus retusus*. *Planta Med.* 16(2):182-3.
- Ehleringer, J. R. 1984. Intraspecific competitive effects on water relations, growth and reproduction in *Encelia farinosa*. *Oecologia* (Berlin) 63:153–158. Miriti M.N., Wright S.J. y Howe H.F. 2001. The Effects of Neighbors on the Demography of a Dominant Desert Shrub (*Ambrosia dumosa*). *Ecological Monographs*, 71(4):491-509.
- Epstein E., Grant W. J. y Struchtemeyer R A. 1966. Effects of stones on runoff, erosion, and soil moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30:638-640. En Reyes-Olivas, 2001.
- Falk D.A., y Holsinger K.E. (eds). 1991. Genetics and conservation of rare plants. Oxford University Press. New York. Pp 283.
- Falk D.A., Millar C.I. y Olwell M. (Eds.) Restoring Diversity: Strategies for Reintroduction of Endangered Plants. Island Press, Washington D C. pp 528

- FitzPatrick E.A. 1993. Suelos su formación, clasificación y distribución. Compañía Editorial Continental, S.A de C.V. México.
- Flores J. y Jurado E. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? App.1. Internet supplement to: Journal of Vegetal Science. 14:911-916.
- Franco A. C. y Nobel P.S. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. Journal of Ecology. 77:870-86.
- García-Moya, E. & McKell, M. C. 1970. Contribution of shrubs in the economy of a desert-wash plant community. Ecology 51: 81-88.
- Godínez A.H.O. 2002. Informe final del Proyecto V039. Evaluación de dos cactáceas mexicanas incluidas en el apéndice 1 de CITES. Pp 87.
- Goettsch B. y Hernández H.M. 2006. Beta diversity and similarity among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. Journal of Arid Environments 65: 513–528
- Graff P., Aguiar M.R. y Chaneton E.J. 2007. Shifts in positive and negative plant interactions along a grazing intensity gradient. Ecology, 88(1):188-199.
- Hernández H.M., Gómez-Hinostrosa C. y Goettsch B. 2004. Checklist of Chihuahuan desert cactaceae. Harvard Papers in Botany. 9(1):51-68.
- Hernández H. M., C. Gómez-Hinostrosa, y Bárcenas. R. T. 2001. Diversity, spatial arrangement, and endemism of *Cactaceae* in the Huizache area, a hot-spot in the Chihuahuan Desert. Biodiversity and Conservation 10:1097-1112.
- Hernández H. M., y Bárcenas R.T. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert. I. Distribution patterns. Conservation Biol. 9:1176-1188.
- Hernández M.H. y Godínez, A.H. 1994. Contribución al conocimiento de las Cactaceas Mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana. 26:33-52.
- Jury W. A. y Bellantuoni B. 1976. Heat and water movement under surface rocks in a field soil. I. Thermal effects. Soil Sci. Soc. Am. Journal 40:505-509. En Reyes-Olivas, 2001.
- Lawrey J. D. 1991. Biotic interactions in lichen community development: A review. Lichenologist. 23:205-214.
- Loza-Cornejo S. y Terrazas T. 2003. Epidermal and hypodermal characteristics in North American Cactoideae (Cactaceae). J Plant Res. 116(1):27-35.

- Maestre F.T. 2003. Variaciones en el patrón espacial a pequeña escala de los componentes de la costra biológica en un ecosistema mediterráneo semiárido. Small-scale spatial patterns of biological crusts in a Mediterranean semi-arid Ecosystem. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 35-46.
- Maestre F.T. 2006. Linking the spatial patterns of organisms and abiotic factors to ecosystem function and management: Insights from semi-arid environments. *Web Ecology* 6:75-87.
- Maestre F.T., Escudero A.; Martínez I.; Guerrero C. y Rubio A. 2005. Does spatial pattern matter to ecosystem functioning? Insights from biological soil crusts. *Functional Ecology* 19(4):556-73.
- Maestre F.T. y Cortina J. 2002. *Plant and Soil*. 241:2.
- Mandujano M.C.; Golubov J. y Reyes. 2002. Lo que usted siempre quiso saber sobre las cactáceas y nunca se atrevió a preguntar. *Biodiversitas* 40(6):4-7.
- McAuliffe, J R. 1990. A rapid survey method for the estimation of density and cover in desert plant communities. *Journal of Vegetation Science* 1:653-656.
- McAuliffe, J. R. y Janzen F. J. 1986. Effects of intraspecific crowding on water uptake, water storage, apical growth, and reproductive potential in the Sahuaro cactus, *Carnegiea gigantea*. *Botanical Gazette* 147:334-341. Miriti M.N., Wright S.J. y Howe H.F. 2001. The Effects of Neighbors on the Demography of a Dominant Desert Shrub (*Ambrosia dumosa*). *Ecological Monographs*, 71(4):491-509.
- McLaughlin J.L. 1969. Cactus alkaloids. VI. Identification of hordenine and N-methyltyramine in *Ariocarpus fissuratus* varieties *fissuratus* and *lloydii*. *Lloydia*. 32(3):392-4.
- Miriti M. 2005. Annual Meeting, Montreal Canadá. Poster Session 9: Arid Lands and Deserts. Plan community dynamics: a spatially explicit perspective from the Colorado Desert, August 9, 5:00 PM-6:30 PM.
- Miriti M.N., Wright S.J. y Howe H.F. 2001. The Effects of Neighbors on the Demography of a Dominant Desert Shrub (*Ambrosia dumosa*). *Ecological Monographs*, 71(4):491-509.
- Moebius-Goldammer K.G., Mata-Rosas M.; Chávez-Avila V.M. 2003. Organogenesis and somatic embryogenesis in *Ariocarpus kotschoubeyanus* (lem.) K. Schum. (cactaceae), an endemic and endangered mexican species In *Vitro Cellular and Development Biology - Plant*. 39(4):388-393.

- Moro M. J., Pugnaire F. I., Haase P. y Puigdefibregas J. 1997. Mechanisms of interaction between a leguminous shrub and its understorey in a semi-arid environment *Ecography*: 175-184.
- NCBI, 2006. [www.ncbi.nlm.nih.gov/taxonomy/Browser](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/taxonomy/Browser)
- Neal J.M., Sato P.T., Johnson C.L., McLaughlin J.L. 1971. Cactus alkaloids. X. Isolation of hordenine and N-methyltyramine from *Ariocarpus kotschoubeyanus*. *J Pharm Sci.* 60(3):477-8.
- Nobel P. S. 1978. Microhabitat, water relations, and photosynthesis of a desert fern. *Notholaena parryi*. *Oecologia (Bert.)* 31: 293-309. En Reyes Olivas, A. 2001. Asociación de cactáceas con arbustos en el desierto costero de Topolobampo, Sinaloa. Universidad de Occidente. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R217. México D. F.
- Nobel P. S., Miller P. M y Graham E. A. 1992. Influence of rocks on soil temperature, soil water potential, and rooting patterns for desert succulents. *Oecologia* 92:90-96. En Reyes-Olivas, 2001.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial. Martes 31 de diciembre de 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-Ecol-2000. Protección ambiental-Especies de flora y fauna silvestres de México-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial. Lunes 16 octubre de 2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- Norquist D.G., McLaughlin J.L.1970. Cactus alkaloids. Isolation of N-methyl-3,4-dimethoxy-beta-phenethylamine from *Ariocarpus fissuratus* var. *fissuratus*. *J Pharm Sci.* 59(12):1840-1.
- Oldfield, S. Cactus and succulent plants – status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Cactus and Succulent Specialist Group. Gland and Cambridge: IUCN; 1997.
- Pavlik B. M. (1996) Defining and measurement success. En: Falk D.A., Millar C.I. y Olwell M. (Eds.) *Restoring Diversity: Strategies for Reintroduction of Endangered Plants*. Island Press, Washington D C. pp 528
- Peek M. y Forseth I.N. 2003. Microhabitat dependent responses to resource pulses in the aridland perennial, *Cryptantha flava*. *Journal of Ecology.* 91:457-466.

- Perry J.N. Winder J.M., Holland y Alston R.D. 1999. Red-blue plots for detecting clusters in count data. *Ecology Letters* 2:106-113.
- Perry, J.N. 1998. Measures of spatial pattern for counts. *Ecology*, 79(3):1008-1017.
- Peters E.M., Martorell C. y Ezcurra E. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 72:593-601.
- Phillips D.L y MacMahon J:A. 1981, Competition and spacing in desert shrubs. *Journal of Ecology* 69:97-115. Miriti M.N., Wright S.J. y Howe H.F. 2001. The Effects of Neighbors on the Demography of a Dominant Desert Shrub (*Ambrosia dumosa*). *Ecological Monographs*, 71(4):491-509.
- Rakocevic M. 2005. Competition for the Light in Plant Canopies. Universidade Federal do Paraná, Departamento do Fitotecnia e Fitossanitarismo. Pp 32-41.
- Reyes-Agüero, J.A., Aguirre, J.R. y Valiente-Banuet, A., in press. Reproductive biology of *Opuntia*: a review. *Journal of Arid Environments*. En Goetsch B. y Hernández H.M. 2006. Beta diversity and similarity among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 65:513-528.
- Reyes T. y Pugnaire F.I. 2003. Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success. *Oecologia* 136:296-301.
- Reyes A., García E. y López L. 2002. Cacti-shrub interactions on the coastal desert of Northern Sinaloa, México: *Journal of Arid Environments*. 52:431-445.
- Reyes Olivas, A. 2001. Asociación de cactáceas con arbustos en el desierto costero de Topolobampo, Sinaloa. Universidad de Occidente. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R217. México D. F.
- Řía J. y Šubík R., 1991. Pequeña enciclopedia de Cactus. Cactus y otras plantas suculentas. Ed. Susacta. Madrid. Pp 25-8.
- Salas de León N.S., García-Mendoza A., Reyes A.J.A. y Villar M.C. 1999. *Polibotánica* 10(1):1-21.
- Sánchez M.E., Cháves M.R.J., Hernández O.J.G. y Hernández M.M.M. 2006. Especies de Cactaceae prioritarias para la conservación en la zona árida Querétaro Hidalguense. Manual de Proyecto. Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío". Pp. 214-216.
- Sheinuar L. 2004. Flora cactológica del Estado de Querétaro. Diversidad y riqueza. Fondo de Cultura económica. México, DF. 214-7.



- Suzán H.A.; Gary P.N., Dundan T.P. 1996. The importance of *Olneya tesota* as a nurse plan in the Sonora Desert. *Journal of Vegetation Science* 7:635-644.
- Suzán H.A., Malda B.C., Lara V.M., Casas G.S., Martínez A.G., Villa M.S., Loya L. y López F. 1997. Reporte Final de Actividades. Proyecto G037 CONABIO: Análisis de Viabilidad para Poblaciones de la Cactacea Amenazada *Ariocarpus Trigonus*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Pp 1-35.
- Suzán-Azpiri, H. y Sosa V. J. 2006. Comparative performance of the giant cardon cactus (*Pachycereus pringlei*) seedlings under two leguminous nurse plant species. *Journal of Arid Environments*. 65 (3):351-362.
- Tewksbury J.J. y Lloyd J.D. 2001. Positive interactions Under nurse-plants: spatial scale, stress gradients and benefactor size. *Oecología* 127(3):425-34.
- Valiente-Baunet A., Bolongaro-Crevenna A., Briones O., Ezcurra E., Rosas M., Núñez H., Bernard G. y Vázquez E. 1991. Spatial relationships between cacto and nurse shrubs in a semi-arid environment in central México. *Journal of Vegetation Science* 2:15-20.
- Valiente-Baunet A., y Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuac'an Valley, México. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- Vega E. y Montaña C. 2004. Spatio-Temporal Variation in the Demography of a Bunch Grass in a Patchy Semiarid Environment. *Plant Ecology*. 175(1):107-120.
- Von Willert D.J., Eller B.M., Werger M.J.A. Brinckmann E y Ihlenfeldt D. 1992. Life strategies of succulents plants in deserts. With special reference to the Namib Desert. *Cambridge Studies in Ecology*
- Wickens G.E. 1998. Adaptations of desert organisms. *Ecophysiology of economic plants in Arid and Semi-arid lands*. Springer.
- Xianming Xu y Madden L.V. 2003. Considerations for the use of SADIE statistics to quantify spatial patterns. *Ecography* 26(6):821-30.
- Zamudio S. R., Rzedowski J. Carranza E.G., Calderón de R.G 1992. La vegetación del Estado de Querétaro. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío. Querétaro. México.
- Zuñiga B., Malda G. y Suzán H. 2005. Interacciones Planta-Nodrizas en *Lophophora difusa* (Cactaceae) en un desierto subtropical de México. *Biotropica* 37(3):351-56.

## Apéndice I

Tabla 1. Tabla de interpretación de resultados para clasificación de pH según la NOM-021-RECNAT-2000.

### Interpretación de resultados

Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se presenta el cuadro siguiente:

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Tabla 2. Tabla de interpretación de resultados de porcentaje de Material Orgánica total (%MO tot) según la NOM-021-RECNAT-2000.

### Interpretación de Resultados de Materia Orgánica

Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica los suelos minerales y volcánicos se presenta en el cuadro siguiente:

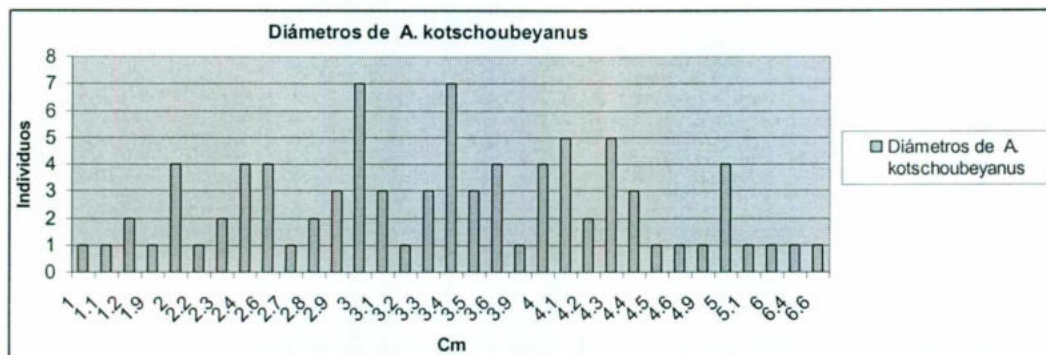
Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0

Tabla 3. Tabla de interpretación de resultados de Nitrógeno total (N tot) según la NOM-021-RECNAT-2000.

### Interpretación de resultados de Nitrógeno inorgánico

Los resultados de los análisis de nitrógeno inorgánico pueden interpretarse conforme al siguiente cuadro. Los datos que se presentan en él son referidos para aplicarse a cereales de grano pequeño.

Clase	N inorgánico en el suelo mg Kg <sup>-1</sup>
Muy bajo	0 - 10
Bajo	10 - 20
Medio	20 - 40
Alto	40 - 60
Muy alto	> 60



**Figura 20.** Gráfica de los diámetros en centímetros de 86 *A. kotschoubeyanus* registrados en 20 m<sup>2</sup>.

### Breve descripción de los órganos reproductivos:

**Flor:** de 2.5 a 3 cm. de longitud, brotando de las areólas floríferas de los tubérculos jóvenes en el ápice del tallo, pericarpelo y receptáculo desnudos, segmentos exteriores del perianto escasos, obtusos, verdosos con tinte castaño; segmentos interiores del perianto oblanceolados, obtusos o apiculados, a veces algo retusos, de cerca de 2 cm de longitud, de color rosa claro hasta carmín, con la franja media más oscura, filamentos blancos, anteras pequeñas, amarillas; granos de polen entre 60 a 65 micras de diámetro; estilo blanco; lóbulos del estigma de 4 a 6, blancos (Sánchez et al., 2006 y Sheinuar, 2004).

**Fruto:** claviforme, de 5 a 18 mm de longitud y 1 a 3 mm de diámetro, rojizo hasta rosado (Sánchez et al., 2006).

**Semillas:** de 1 mm de longitud, ovoides, negras, tuberculadas (Sánchez et al., 2006).

### Fenología

**Periodo de floración:** ocurre entre junio y octubre, en dos etapas separadas por un mes. La producción es de 1 a 4 flores por planta en cada floración, observándose hasta 7 flores por planta en un año. Las flores se desarrollan en 5 días y abren también durante 5 días entre las 9:45 a las 17:00 horas. La apertura de las flores es muy sensible a los cambios de temperatura. En la población de Tolimán el periodo de floración fue registrado entre agosto y septiembre (Sánchez et al., 2006).

**Descripción general.** Plantas geófitas con mimetismo cromático, solitarias. *Raíz* piriforme tuberculosa, hasta de 10 cm de longitud. Tallo con el ápice aplanado, de color verde grisáceo, crece al ras del suelo, generalmente cubierta por el polvo y partículas arciosas, estas partículas terrosas las protegen contra los rayos solares (Rúa y Šubík, 1991 y Sheinuar Léia 2004). Tubérculos triangulares, imbricados con la superficie cutinizada, arrugada, surcada irregularmente y provista de un hendidura longitudinal lanosa. Los tubérculos aparecen agregados en 5 y 8 series. Areolas algo lanosas, dispuestas en la punta de los tubérculos maduros o en la base de los jóvenes. Espinas ausentes (Sheinuar, 2004).

Los tejidos contienen alcaloides tóxicos como la hordenina, que la protege contra los herbívoros tan eficazmente como las espinas de otros cactus (Sheinuar, 2004).

Este género presenta grandes dificultades para su cultivo, las cuales estriban principalmente en la gran sensibilidad de las raíces, que no soportan ni la humedad del sustrato ni la presencia de materia orgánica en descomposición. Bacterias y mohos pueden afectar y destruir los ejemplares en muy poco tiempo (Sheinuar, 2004).

El nombre viene del griego *aria*= una especie de roble con frutos indehiscentes, y *carpus* = frutos; por lo que *Ariocarpus* = plantas con frutos indehiscentes, como robles (Sheinuar, 2004 y Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

#### **Sinonimias:**

*Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum., *Monatsschr, Kakteenk.* 7:10-12, 1987.

*Anhalonium kotschoubeyanus* Lem. Bull. *Cercle Hort. Seine* 1842.

*Roseocactus kotschoubeyanus* (Lem.) A. Berger, *J. Wash. Acad. Sci.* 15:43, 1925.

*Strombocactus kotschoubeyanus* Kart. ex Backeb., *Die Cactaceae* 5;3070, 1961 (Sheinuar, 2004).

*Anhalonium kotschoubeyanus*

*Anhalonium fissipedum*

*Anhalonium kotschoubeyi*

*Anhalonium sulcatum*

*Stromatocarpus kotschoubeyi*

*Stromatocactus kotschoubeyi*

*Cactus kotschoubeyi*

*Ariocarpus sulcatus*

*Ariocarpus kotschoubeyanus*

*Ariocarpus macdowellii*

*Stromatocactus kotschoubeyi*, (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

#### **Nombre común:**

Pata de venado, peyote, falso peyote, biznaga-maguey (Sheinuar Léia, 2004), chaute, peyote cimarrón, pezuña de venado (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

#### **Estatus ecológico de *A. kotschoubeyanus***

En la clasificación general, *A. kotschoubeyanus* aparece en la NOM-059-ECOL-2001 (2002) en la categoría **Pr** (en peligro, sujeta a protección especial) y endémica de México. En CITES se encuentra en el Apéndice I (prohibida la colecta de plantas o semillas de esta especie) (Sheinuar, 2004).

A nivel local *A. kotschoubeyanus* en la población de Mesa de León Cadereyta, las plantas son escasas y se pueden considerar casi extintas (Sheinuar, 2004).