

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**CONTENIDO HÍDRICO EN EL SUELO Y ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN  
EN TRES OASIS CON PALMA AZUL (*Brahea armata*) AL SUR DE LA SIERRA  
DE SAN PEDRO MÁRTIR.**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de

**BIÓLOGO**

Presenta:

**ANA CECILIA LÓPEZ BELTRÁN**

Ensenada, B. C.

Febrero, 2003.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

CONTENIDO HÍDRICO EN EL SUELO Y ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN  
EN TRES OASIS CON PALMA AZUL (*Brahea armata*) AL SUR DE LA SIERRA  
DE SAN PEDRO MÁRTIR.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

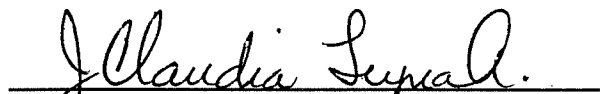
BIÓLOGO

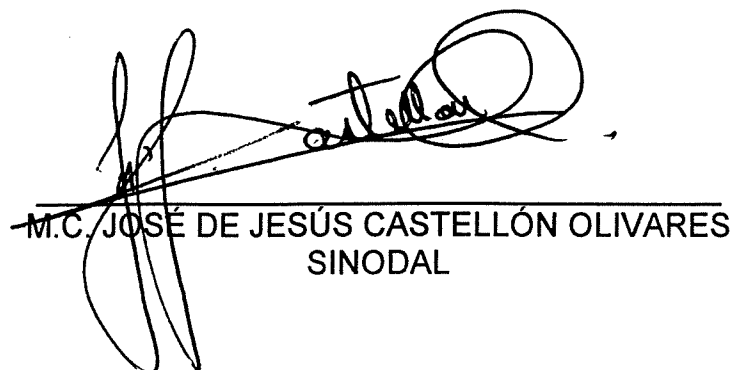
Presenta:

ANA CECILIA LÓPEZ BELTRÁN

Aprobada por:

  
DR. ERNESTO FRANCO VIZCAINO  
DIRECTOR

  
M.C. JUANA CLAUDIA LEYVA AGUILERA  
SINODAL

  
M.C. JOSÉ DE JESÚS CASTELLÓN OLIVARES  
SINODAL

## DEDICATORIA

A las personas más importantes en mi vida:

Mis padres, Salvador y Ana María ...

... Luis Carlos, mi amor y mi mejor amigo

## AGRADECIMIENTOS

*Al Dr. Ernesto Franco: por todo lo que aprendí durante la realización de esta tesis, por tu paciencia y disposición para contestar a mis preguntas siempre y por tu amistad.*

*A la M. C. Claudia Leyva, co-directora y gran amiga: por las sesiones siempre clarificadoras que me permitieron reencontrar el rumbo, y por tu paciencia y cariño, siempre patentes.*

*Al M. C. José Castellón: por sus atinados cuestionamientos cuando recién empecé esta tesis, y por su valiosa participación como Sinodal.*

*Al Dr. José Delgadillo: por su interés en este trabajo y su cuidadosa y detallada revisión como Sinodal Suplente.*

*Al M. C. Alberto Cano: por darte tiempo para revisar esta tesis como Sinodal Suplente y por el interés que mostraste en ella.*

*A la Comisión de Titulación de la Facultad de Ciencias, particularmente al Dr. Carlos Ochoa y a la M. C. Evarista Arellano.*

*A Bettina Ulrich y a los dibujantes del Taller Gráfico de C.I.C.E.S.E.: por su valiosa colaboración en la elaboración de los perfiles de vegetación.*

*A Mónica González Jaramillo: por las fotos y por tu compañía y ayuda en la colecta de plantas, durante la salida a campo de enero del 2002.*

*A Ignacio Romero (Nacho): por las veces que me ayudaste, resolviendo alguna duda o prestándome algún recipiente de tu laboratorio. También por las coyotas y por ser un buen amigo.*

*A Martín Escoto: gracias por tu ayuda a distancia para el procesamiento de los datos de la sonda, y por tu ejemplo de sencillez como maestro cuando nos impartiste Fisiología Vegetal.*

*A mi querida amiga y siempre activa Maricarmen Necochea: porque siempre conté contigo, como aquella vez que en menos de 15 minutos me conseguiste una Lap-Top para que trabajara y por muchos favores más. Gracias también por tu buen humor.*

*A mi gran amigo Mario Salazar: tu amistad es una de las mejores cosas que me ha dejado esta tesis. Gracias también por todo lo que aprendí contigo sobre plantas y, en nuestras no muy cortas sesiones de charla, sobre la vida.*

*A Jorge Domínguez, otro amigo entrañable que le debo a esta tesis: por tu apoyo en las salidas a campo, por los hoyos para los tubos de acceso de la sonda y por tu amistad.*

*A mucha gente de C.I.C.E.S.E. que me brindó su amistad durante este periodo: don Willy, don Joel, Olga Flores, M. C. Elena Solana, Dr. Hector Echavarría ... gracias por su buen ánimo y su plática siempre franca y abierta.*

*A mi familia, López y Beltrán, desde el más grande hasta el más chiquito: por su interés en lo que hago, su cariño y sus buenos deseos.*

*En particular, gracias tíos Paco e Isabel por recibirme en su casa al inicio de mi carrera, y porque siempre conté con ustedes.*

*A Luis Carlos: por el mapa, por tu ayuda en la estadística, y por todas las veces que me acompañaste y te aguantaste el hambre y el cansancio junto conmigo.*

*A mi papás: por todo su apoyo. Gracias a su cariño y su ejemplo logré llegar hasta aquí.*

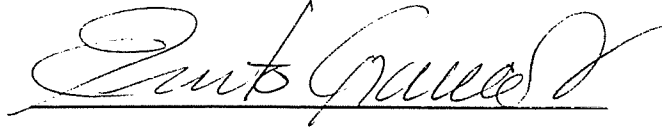
*... Esta tesis contiene entre líneas muchos gestos de amistad y apoyo de todo tipo. Gracias a todas esas personas que, a veces sin saberlo, me alegraron un día difícil o me facilitaron algún paso en la realización de este trabajo.*

Mi agradecimiento al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (C.I.C.E.S.E), que en el marco del proyecto No. 6565: "Relaciones suelo-planta-agua y biodiversidad en los oasis de palma azul (*Brahea armata*) en Baja California", aportó los recursos necesarios para la realización de este trabajo.

Resumen de la Tesis de Ana Cecilia López Beltrán, presentada como requisito parcial para obtener la Licenciatura en Biología. Ensenada, Baja California. Febrero del 2003.

CONTENIDO HÍDRICO EN EL SUELO Y ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN EN TRES OASIS CON PALMA AZUL (*Brahea armata*) AL SUR DE LA SIERRA DE SAN PEDRO MÁRTIR.

Resumen aprobado:



Dr. Ernesto Franco Vizcaíno.

En algunas zonas riparias de Baja California existen poblaciones de palmas, conocidas como oasis; son sitios húmedos con una densa cubierta vegetal que incluye especies con afinidades méxicas. En zonas áridas, el agua que mantiene a estos hábitats puede provenir de fuentes superficiales o subterráneas.

Al sur de la Sierra San Pedro Mártir, en la transición entre los regímenes climáticos mediterráneo y tropical, existen alrededor de 150 oasis con palma azul (*Brahea armata*) cuyas características hidrológicas y ecológicas se desconocen hasta ahora. Para definir las posibles fuentes de agua, se midió el contenido hídrico del suelo ( $\theta_g$ , Mg agua/Mg suelo) en tres oasis (El Rincón, San Miguel y El Represo) en los que se definieron tres zonas: arroyo, oasis y ecotono oasis-vegetación vecina (chaparral de montaña/desierto). Las mediciones se hicieron a intervalos de 20 cm en una capa de hasta 80 cm de profundidad, a través de un ciclo anual. En El Represo, se hizo una medición adicional en donde el hidromorfismo del suelo indicaba la posible presencia de un manantial. Se utilizó el método de interceptación en línea para describir composición y estructura de la vegetación. Se compararon riqueza y abundancia de las especies entre localidades y entre zonas de cada localidad mediante el índice de similitud de Jaccard y de correlación de Pearson, respectivamente.

En las tres localidades, los valores más altos de  $\theta_g$  se registraron en el arroyo o el oasis, y los más bajos en el ecotono oasis-desierto. Al comparar  $\theta_g$  entre zonas y entre localidades se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ , prueba de Kruskal-Wallis) durante todo el año. Sólo en El Rincón,  $\theta_g$  fue similar en las tres zonas ( $p > 0.05$ ) durante el periodo menos seco (febrero-marzo 2001).

Las localidades compartieron una baja proporción de especies. Su similitud y correlación por composición y estructura fue baja. En cada localidad, los transectos con valores de similitud más altos fueron los realizados en condiciones microambientales similares.

Los resultados sugieren que existe un gradiente de humedad (arroyo>oasis>ecotono) independiente de la precipitación, lo que implica la existencia de una fuente subterránea de agua. La distribución de las especies en cada localidad corresponde con el gradiente de humedad. Las diferencias en composición y estructura de la vegetación, se deben a que los oasis estudiados se encuentran en distintos puntos a través de una transición entre tipos de vegetación, y sólo están relacionados por la presencia de las palmas. Es necesario realizar más investigaciones en esos sitios para conocer los factores biogeográficos, evolutivos, físicos y bióticos que determinan la distribución de *Brahea armata*.

## Índice General.

Agradecimientos .....	III
Resumen.....	VI
Índice de Figuras.....	X
Índice de Tablas.....	XII
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	4
3. Objetivos.....	12
4. Metodología.....	13
4.1. Sitio de Estudio.....	13
4.1.1. Localización.....	13
4.1.2. Clima.....	15
4.1.3. Tipo de suelo y Geología.....	15
4.2. Medición del Contenido Hídrico del suelo.....	16
4.2.1. Análisis estadístico.....	19
4.3. Composición y Estructura de la Vegetación.....	21
5. Resultados.....	24
5.1. Contenido Hídrico del suelo.....	25
5.2. Composición y Estructura de la Vegetación.....	30
5.2.1. El Rincón.....	34

5.2.2. San Miguel.....	39
5.2.3. El Represo.....	43
6. Discusión.....	47
6.1. Contenido Hídrico del suelo.....	47
6.2. Composición y Estructura de la Vegetación.....	52
6.3. Relación entre el Contenido Hídrico y la Vegetación.....	54
6.4. La palma azul.....	56
7. Conclusiones.....	58
8. Bibliografía.....	60
9. Anexo.....	65

## Índice de Figuras.

Figura 1. Localización de los sitios de estudio.....	14
Figura 2. Variación del contenido hídrico gravimétrico del suelo a lo largo del año, en el ecotono oasis-desierto, el oasis y el arroyo, en la localidad "El Rincón".....	25
Figura 3. Comportamiento del contenido hídrico gravimétrico del suelo a lo largo del año, en el ecotono oasis-desierto, el oasis y el arroyo en la localidad "San Miguel".....	26
Figura 4. Contenido hídrico en el suelo de El Represo, a lo largo del año, en el ecotono oasis-chaparral, el oasis, el arroyo y la zona donde se encontró evidencia geológica de un manantial.....	27
Figura 5. Comparación de $\theta_g$ entre Localidades.....	29
Figura 6. Proporción de especies exclusivas y comunes en los sitios de estudio a partir de los transectos.....	32
Figura 7. Proporción de especies exclusivas y comunes en los sitios de estudio a partir del listado de referencia.....	32
Figura 8. Análisis de Agrupamiento y comparación por composición de especies entre Localidades.....	34
Figura 9. El Rincón.....	37

Figura 10. Análisis de Agrupamiento y comparación por composición de especies entre los transectos de El Rincón.....38

Figura 11. Perfil de vegetación y zonación de las especies de acuerdo al gradiente de humedad en El Rincón.....38

Figura 12. San Miguel.....41

Figura 13. Análisis de Agrupamiento y comparación por composición de especies entre los transectos de San Miguel.....42

Figura 14. Perfil de vegetación y zonación de las especies de acuerdo al gradiente de humedad en San Miguel.....42

Figura 15. El Represo.....45

Figura 16. Análisis de Agrupamiento y comparación por composición de especies entre los transectos de El Represo.....46

Figura 17. Perfil de Vegetación y zonación de las especies conforme el gradiente de humedad en El Represo.....46

## Índice de Tablas.

Tabla I. Características de los sitios de Estudio.....	13
Tabla II. Profundidades a las que fue posible medir el contenido hídrico del suelo con la sonda de neutrones.....	18
Tabla III. Arreglo de los datos para comparar estadísticamente $\theta_g$ entre Tubos de una misma localidad.....	20
Tabla IV. Arreglo de los datos para comparar estadísticamente $\theta_g$ entre Localidades.....	20
Tabla V. Precipitación registrada por el pluviómetro instalado en El Rincón durante el año de estudio.....	24
Tabla VI. Resultados del análisis estadístico con la prueba de Kruskal-Wallis al comparar entre Tubos de una misma Localidad.....	28
Tabla VII. Resultados del análisis estadístico con la prueba de Kruskal-Wallis al comparar entre Localidades.....	29

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.1 Presentación.

En Baja California, existen oasis de palma azul (*Brahea armata*) que hasta la fecha no habían sido investigados. Este trabajo es un primer estudio en el que se explora el posible origen de la humedad que permite la presencia de la palma azul en el Desierto Sonorense de Baja California. También se describe la estructura y composición de la vegetación que forma parte de los oasis y se plantea la posibilidad de seguir investigando distintos aspectos de esa especie y su hábitat.

Los oasis son relictos de hábitat de gran importancia biogeográfica y evolutiva (Arriaga *et al.*, 1997). Sus especies de plantas suelen establecerse donde el suministro de agua superficial o subterránea es suficiente para contrarrestar la evapotranspiración, por lo que pueden indicar la presencia permanente de agua (Rodiek, 1981).

Por otro lado, *B. armata* es una especie endémica de Baja California cuyo ámbito de distribución incluye la zona de transición entre las Provincias Florísticas Martirensis y Bajocaliforniana, donde convergen distintos tipos de vegetación, desde chaparral de montaña hasta vegetación desértica

(Delgadillo, 1998). Además, estos oasis se ubican en la zona del gradiente climático, que corre en dirección norte-sur, entre el régimen mediterráneo (lluvias invernales/sequía de verano) y el tropical (lluvias de verano/invierno seco; Hastings y Turner, 1965; citado en Amundson *et al.*, 1994). Por estas razones, y por la falta de conocimiento respecto a las características hidrológicas y ecológicas de su entorno, esta especie es un interesante sujeto de estudio, tanto por lo que respecta a su fisiología y fenología, como a su papel en el hábitat y la comunidad.

### **1.2 Justificación.**

La disponibilidad de agua es un factor limitante para la vegetación de las zonas áridas. La precipitación es escasa e intermitente, y las altas temperaturas, en combinación con la baja humedad ambiental, crean condiciones críticas para la vida.

En los márgenes de los arroyos suele haber mayor cantidad de agua disponible. Estas zonas húmedas, denominadas riparias, poseen una cubierta vegetal comparativamente mayor que las zonas más secas, pues constituyen un microclima adecuado para el establecimiento de especies con afinidades méxicas (Grismer y McGuire, 1993; Arriaga *et al.*, 1997; Cartron *et al.*, 2000).

En algunas zonas riparias de Baja California y sur de California, en Estados Unidos, existen poblaciones de palmas junto con las especies propias de estos hábitat. Aunque no se encuentran asociados a cuerpos de agua superficial permanentes, estos palmares son referidos como oasis en la literatura, probablemente porque se encuentran rodeados por desierto (Vogl y McHargue, 1966; Scwenkmeyer, 1986; Cornett, 1989; Grismer y McGuire, 1993; Arriaga *et al.*, 1997; Maya *et al.*, 1997).

Minnich y Franco-Vizcaíno (1998) reportaron la existencia de aproximadamente 150 oasis, en el extremo sur de la Sierra San Pedro Mártir, con una sola especie de palma: *Brahea armata*. La mayoría están en los márgenes de los arroyos efímeros que drenan por la vertiente sur-oeste de la Sierra. Dado que esos arroyos no son permanentes, es posible que los palmares subsistan gracias a fuentes de agua subterráneas, pero no existen estudios al respecto. Por otra parte, a pesar de que los cambios espacio-temporales en la disponibilidad de agua son parte importante del funcionamiento de los ecosistemas riparios (Vogl y McHargue, 1966, Gregory *et al.*, 1991, Cartron *et al.*, 2000), hasta este momento se desconoce la dinámica hidrológica de estos oasis.

## 2. ANTECEDENTES.

### 2.1. Fuentes de agua en las zonas riparias.

Las zonas riparias comprenden el ecotono entre un hábitat dulceacuícola y el hábitat terrestre adyacente (Gregory *et al.*, 1991; Cartron *et al.*, 2000). En las zonas áridas, estos ambientes no están asociados a un cuerpo de agua superficial permanente, pues dependen de sistemas de drenaje efímeros o intermitentes (Patten, 1998; citado en Cartron *et al.*, 2000). Sin embargo, forman zonas de vegetación mesófila bien definidas que terminan abruptamente en su límite con el hábitat terrestre, y que incluyen especies indicadoras de agua permanente en el suelo (Rodiek, 1981).

En los ecosistemas riparios del desierto de Baja California y sur de California, el agua proviene tanto de fuentes superficiales como subterráneas (Vogl y McHargue, 1966; Cartron *et al.*, 2000). Las tormentas de verano constituyen un aporte importante, pues pueden provocar severas inundaciones que forman parte de la dinámica del ecosistema, e incluso, del ciclo de vida de algunas de sus especies vegetales (Vogl y McHargue, 1966; Cornett y Glenn, 1986; Siegel y Brock, 1990; citado en Cartron *et al.*, 2000). Sin embargo, no son una fuente permanente, pues las lluvias de verano son irregulares e impredecibles en zonas áridas con clima mediterráneo (Escoto-Rodríguez,

1994; Franco Vizcaíno, 1994).

La precipitación que es captada por las montañas es también una fuente de agua para las zonas bajas. Si la cantidad de lluvia excede a la tasa de infiltración del agua en el suelo, el exceso de agua puede escurrir y alimentar a los arroyos. Puesto que en las zonas áridas la precipitación es escasa e intermitente, los arroyos formados por escorrentía tampoco constituyen una fuente de agua permanente (Díaz y Troyo, 1997; Maya *et al.*, 1997).

Según la cantidad de precipitación y las características de la superficie del suelo, la lluvia que no se evapora ni es interceptada por las plantas, puede filtrarse y formar depósitos y corrientes de agua subterráneos si existe una capa de roca impermeable. Las fallas y fracturas geológicas pueden servir como depósitos en los que el agua, de origen pluvial o geológico, se acumula durante miles de años y aflora a la superficie cuando la topografía lo permite, o bien permanece como agua subterránea (Tolman, 1937). Puesto que no está expuesta a la evaporación, el agua subterránea puede constituir una fuente de humedad para las plantas estable y relativamente permanente (Heindl, 1961, citado en Maya *et al.*, 1997; Vogl y McHargue, 1966; Rea *et al.*, 1983; Cornett y Glenn, 1986; Schwenkmeyer, 1986).

Vogl y McHargue (1966) denominan oasis fluvial (*wash oases*) a los palmares y vegetación riparia confinados a los cañones y lechos de arroyos, donde existe cierta disponibilidad de agua superficial, y oasis de manantial (*seep oases*) a aquéllos asociados a fallas y fracturas geológicas y que dependen de una fuente de agua subterránea.

Por su parte, Schwenkmeyer (1986) señala cuatro sistemas de abastecimiento de humedad en los oasis de California: 1) percolación del agua subterránea hacia la superficie a través de fracturas relacionadas con fallas geológicas, o 2) a través de pequeñas grietas en el granito, 3) acumulación del agua que escurre desde las montañas al pie de un abanico aluvial, y 4) formación de arroyos a través de cañones a partir del agua procedente de escorrentía. El tercer sistema definido por este autor, aparentemente no existe en Baja California (Franco-Vizcaíno, com. pers.), mientras que los primeros dos sistemas pueden considerarse análogos a los oasis de manantial y el cuarto es análogo a los oasis fluviales (Vogl y McHargue, 1966).

La existencia de extensas poblaciones de *Washingtonia filifera* establecidas a lo largo de la Falla de San Andrés (Vogl y McHargue, 1966; Rea *et al.*, 1983; Cornett y Glenn, 1986; Schwenkmeyer, 1986) demuestran que es común encontrar oasis que dependen de fuentes subterráneas de agua. En particular

respecto a los oasis de *B. armata*, se desconoce si dependen enteramente de los arroyos como fuente de agua o si cuentan con un suministro de origen subterráneo, y la periodicidad y magnitud de las fluctuaciones en la disponibilidad de agua a que están sujetos.

## 2.2. Contenido hídrico del suelo.

El contenido hídrico del suelo se refiere a la cantidad de agua presente en el mismo. Existen métodos que permiten cuantificarlo, como el método gravimétrico propuesto por Gardner (1986) o la sonda dispersora de neutrones (Kramer, 1983), cuando la presencia de agua no es evidente, o cuando se quiere conocer cómo fluctúa a través del tiempo y el espacio (Berndtsson y Chen, 1994).

La principal fuente de agua del suelo es la precipitación. Su eficacia como fuente de humedad depende de factores como su duración, intensidad y cantidad, así como de la textura, porosidad, conductividad hidráulica, profundidad y humedad previa del suelo (Daubenmire, 1982; Escoto-Rodríguez, 1994).

Una vez que comienza a infiltrarse, el agua existe en diferentes estados en el suelo. Por encima del nivel freático, en la zona no saturada o vadosa, el

agua no llena por completo los poros intersticiales, sino que parte de ese espacio está ocupado por aire (Fitts, 2002). El agua suspendida en la zona vadosa existe como agua pelicular, capilar, higroscópica y en forma de vapor (Tolman, 1937). Las plantas utilizan el agua pelicular y capilar; ambas forman una película alrededor de las partículas de suelo o gotas suspendidas en los poros intersticiales, pero la primera es producto de la infiltración desde la superficie, mientras que la segunda es producto del ascenso vertical de la tabla de agua (Tolman, 1937; Daubenmire, 1982).

Por debajo del nivel freático, en la zona de saturación, el agua ocupa completamente los espacios intersticiales del suelo (Fitts, 2002). Sin embargo, puesto que se encuentra a muchos metros de profundidad, esta zona sólo está al alcance de las freatófitas (Daubenmire, 1982). Si el nivel hidrostático (o freático) es alto, la zona de saturación intercepta la superficie del terreno, y el agua puede aflorar hacia la superficie como un manantial, o mantener húmedas las capas superficiales del suelo (Tolman, 1937; Vogl y McHargue, 1966). La baja concentración de oxígeno en la zona de saturación origina procesos de reducción que se reflejan, entre otras formas, en la presencia de manchas verdes o anaranjadas. A este tipo de cambios visibles en el suelo, efecto de la humedad, se le conoce como hidromorfismo (Maya *et al.*, 1997).

El contenido de agua del suelo puede relacionarse con el potencial hídrico de las plantas y con otras funciones fisiológicas (Franco-Vizcaíno *et al.*, 1990; Franco-Vizcaíno, 1994). Así mismo puede calcularse el balance hídrico del suelo (Escoto-Rodríguez, 1994), o relacionarse con la cobertura y densidad de la vegetación (Balding y Cunningham, 1974; Franco-Vizcaíno, 1994; Amundson *et al.*, 1994).

### **2.3. Vegetación.**

En un estudio cuantitativo de la vegetación de 24 oasis localizados sobre la Falla de San Andrés, y caracterizados por la presencia de palma abanico, *Washingtonia filifera*, Vogl y McHargue (1966) refieren que la distribución de la vegetación está determinada por la cantidad de agua disponible, y definieron tres zonas a lo largo del gradiente de humedad: la hídrica en el arroyo, caracterizada por especies hidrófitas; el oasis propiamente dicho, definido por la presencia de las palmas; y el ecotono oasis-desierto.

A partir de transectos, estos autores obtuvieron cobertura y frecuencia relativas, y con cuadrantes la densidad relativa. Con estos tres parámetros calcularon el valor de importancia (V.I.) de las especies perennes. Encontraron que la mayoría de las especies con V.I. alto fueron freatófitas. Las especies propias del oasis (*W. filifera*, *Pluchea sericea*, *Juncus acutus*, *Prosopis*

*pubescens*, entre otras) obtuvieron mayores V.I. en los oasis de manantial, mientras que las hidrófitas como *Scirpus olneyi* y *Typha dominguensis*, y las especies dependientes de inundaciones para su germinación como *Dalea* spp., fueron más importantes en los oasis fluviales, lo que refleja la mayor disponibilidad de agua superficial en ellos.

La mayor riqueza de especies se concentró en el ecotono oasis-desierto, mientras que la zona hídrica tuvo menor riqueza. Por otro lado, todos los oasis muestreados fueron diferentes entre sí en cuanto a composición: la única especie común a todos fue la palma abanico. El oasis de Whitewater Palms tuvo la mayor proporción de especies exclusivas debido a su altitud y cercanía a la costa.

Arriaga *et al.* (1997) utilizaron el método de intercepción en línea para analizar la estructura de la comunidad vegetal en ocho oasis de Baja California Sur, algunos muy alterados por la actividad humana, en los que existen poblaciones de *Washingtonia robusta* y *Phoenix dactylifera*. Encontraron que la riqueza de especies y la diversidad fueron mayores en las áreas adyacentes a los oasis; la densidad de individuos fue mayor en el matorral adyacente que en el palmar, y la cobertura vegetal fue mayor en el palmar que en el matorral.

Los oasis de Baja California prácticamente no han sido estudiados. Este trabajo es una primera aproximación que describe dos de las características de los oasis de palma azul: la vegetación y la humedad del suelo.

### 3. OBJETIVOS

#### **GENERAL:**

Describir las variaciones espacio-temporales del contenido hídrico del suelo y las características estructurales de la comunidad vegetal en tres oasis de palma azul (*Brahea armata*), para identificar algunos de los factores ecológicos que podrían determinar la presencia de la palma azul en esos sitios.

#### **ESPECÍFICOS:**

- a) Señalar la relación entre el contenido hídrico del suelo y la precipitación en cada estación del año.
  
- b) Medir y comparar el contenido hídrico del suelo en tres puntos de cada oasis: el lecho del arroyo (zona hídrica), el palmar (zona del oasis) y en el ecotono oasis-desierto, para indicar si existe un gradiente de humedad (arroyo>oasis>ecotono) y definir la posible fuente de agua que mantiene a la vegetación riparia y el palmar.
  
- c) Describir las características estructurales de la comunidad vegetal en los tres oasis.

## 4. METODOLOGÍA.

### 4.1. Sitio de estudio.

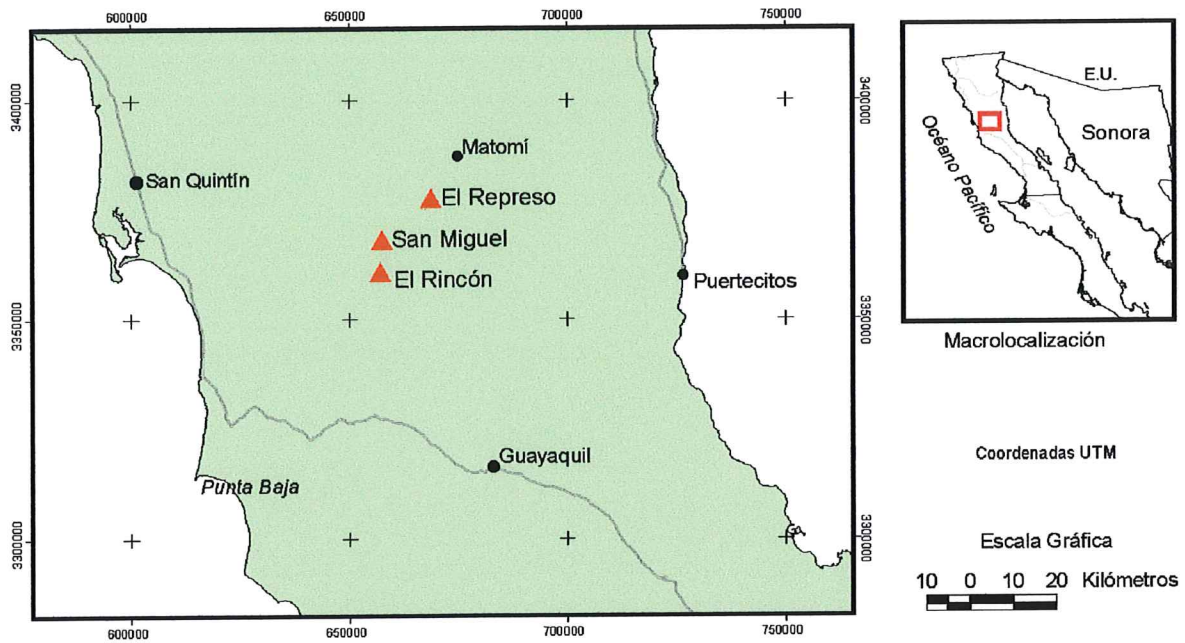
#### 4.1.1. Localización.

La Sierra San Pedro Mártir se encuentra entre los 31° 10' y 30° 30' latitud Norte, y los 115° 44' y 114° 13' longitud Oeste. Su drenaje es principalmente hacia la vertiente del Pacífico, donde confluyen cuatro cuencas importantes: San Rafael, San Telmo, Santo Domingo y San Simón (Escoto-Rodríguez, 1994).

En los márgenes de los arroyos del Suroeste se localizan más de cien oasis de *B. armata*, de los que se eligieron tres como sitios de estudio por su accesibilidad: El Rincón, San Miguel y El Represo (Tabla I, Fig. 1).

**TABLA I. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.**

Localidad	Ubicación	Altitud	Tipo de Vegetación	Especies Representativas (Delgadillo, 1998)
El Rincón	30° 22' 43" N, 115° 21.82' W	718 m	Desierto sonorenses	<i>Fouquieria columnaris</i> <i>Pachycereus pringlei</i>
San Miguel	30° 26' 13" N, 115° 21.46' W	915 m	Ecotono	<i>Ambrosia camphorata</i> <i>Juniperus californica</i>
El Represo	30° 31' 09" N, 115° 14.28' W	1197 m	Chaparral de montaña	<i>Pinus quadrifolia</i> <i>Juniperus californica</i>



**FIG. 1: LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO (CORTESÍA DE M.C. LUIS CARLOS BRAVO P., FACULTAD DE CIENCIAS, UABC).**

**4.1.2 Clima.** En Baja California predominan los climas BW y BS (seco y semiseco de la clasificación de Köppen modificada por García), como resultado de la influencia del cinturón subtropical de altas presiones (Reyes y Rojo, 1985; citado en Escoto-Rodríguez, 1994). En la vertiente del Pacífico, los vientos del oeste traen lluvias que afectan a la zona durante el invierno.

Ocasionalmente durante el verano, la influencia del monzón norteamericano lleva aire húmedo tropical hacia las sierras de Baja California, en la zona de transición entre los regímenes climáticos mediterráneo y tropical, lo que origina lluvias torrenciales acompañadas de tormentas eléctricas. El resto de la estación, la humedad relativa permanece por debajo del 40%.

En la zona de los oasis, la precipitación promedio en el periodo de noviembre a abril, oscila entre 125 y 150 mm; la temperatura máxima entre los 21 y los 18 °C y la mínima entre 9° y 3° C. Durante el verano (mayo-octubre) la precipitación promedio no alcanza 100 mm, y las temperaturas oscilan entre 27° C y 9° C (SPP, 1984a, b).

**4.1.3. Tipo de suelo y Geología.** El suelo es de tipo Regosol eutrítico, poco profundo, en fase lítica (SPP, 1982) es decir, existe una capa de roca continua o trozos de roca muy abundantes que limitan la profundidad efectiva

del suelo a menos de 50 cm (Velasco-Molina, 1991); la textura es gruesa, lo que implica que es un suelo bien drenado. La roca es ígnea intrusiva, con fracturamiento moderado en San Miguel, e intenso en El Rincón y El Represo; con permeabilidad mediana a baja (SPP, 1977). Según la carta de aguas subterráneas (SPP, 1981) la unidad hidrogeológica correspondiente a estos sitios de estudio está constituida por material consolidado con posibilidades bajas, es decir, rocas ígneas intrusivas y extrusivas, sedimentarias y metamórficas, cuyas posibilidades de contener agua dependen de las características físicas de las rocas y de los materiales granulares. Sin embargo, en la carta geológica (SPP, 1977) se reporta la existencia de agua dulce subterránea en San Miguel.

#### **4.2. Medición del contenido hídrico del suelo.**

Se realizaron mediciones del contenido hídrico del suelo en tres oasis, con una sonda dispersora de neutrones (*Hydroprobe Moisture Depth Gauge*, modelo 503 de *Campbell Pacific Nuclear Corporation*). Para acceder el suelo con la sonda, hasta aproximadamente 80 cm de profundidad, se instalaron tubos de PVC en hoyos hechos en el suelo con un barreno. Debido a la presencia de la roca madre a poca profundidad, en algunos casos no fue posible penetrar con el barreno a más de 60 cm (Tabla II). Se colocaron tapones en ambos extremos de los tubos, para evitar la entrada de agua. El

tapón del extremo enterrado fue pegado y sellado, mientras que el del extremo de la superficie quedó libre para quitarse cuando se utilizara la sonda.

Se instalaron tres tubos en cada localidad: en el ecotono entre el oasis y la comunidad xerófila adyacente (Tubo 1); en el oasis (Tubo 2) y en el lecho del arroyo o zona hídrica (Tubo 3), siguiendo la zonación propuesta por Vogl y McHargue (1966). En la zona del oasis en El Represo se colocó un tubo adicional (Tubo 4) donde se encontró una pradera de *Juncus cf. balticus*, una especie indicadora de humedad, y costras de sal en el sedimento, para explorar la posibilidad de que ahí existiera un manantial. En cada tubo se tomaron lecturas, a intervalos de 20 cm, hasta donde el nivel de la roca lo permitió (Tabla II).

A cada valor se le aplicó la razón: **Lectura de la sonda / lectura estándar**, donde la lectura estándar es la obtenida al activar la sonda sin sacarla de su compartimento. Esta razón se convirtió a contenido hídrico gravimétrico ( $\theta_g$ , expresado en Mg agua / Mg suelo) a partir de las curvas de calibración generadas por Escoto-Rodríguez (1994) para Vallecitos, Sierra San Pedro Mártir, pues las características edáficas de ese sitio son muy similares a las de los sitios de estudio de este trabajo (Franco-Vizcaíno, com. pers.). No se hicieron curvas de calibración particulares para éstos, debido a la dificultad que

implicaba obtener las muestras de suelo necesarias. Por otro lado, los objetivos de este estudio no requerían de un alto grado de precisión, pues no se calculó el balance hídrico del suelo.

Posteriormente, se promediaron los valores de  $\theta_g$  calculados para cada incremento de profundidad en cada tubo, de manera que se obtuvo la humedad promedio de la capa de suelo considerada, por estación del año. Este promedio se convirtió a porcentaje (Mg agua / Mg suelo X 100).

Las mediciones se llevaron a cabo en marzo, julio, septiembre y octubre del 2001, y en enero y marzo del 2002. El dato de septiembre se tomó para registrar el posible efecto del huracán Julieta.

**TABLA II. PROFUNDIDADES A LAS QUE FUE POSIBLE MEDIR EL CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO CON LA SONDA DE NEUTRONES. LAS PROFUNDIDADES MENORES A 80 CM SE DEBEN A QUE SE HIZO CONTACTO CON ROCA.**

	<b>El Rincón</b>	<b>San Miguel</b>	<b>El Represo</b>
<b>Tubo 1 (Ecotono)</b>	Menos de 80 cm	80 cm	Menos de 40 cm
<b>Tubo 2 (Oasis)</b>	Menos de 60 cm	Menos de 80 cm	Menos de 80 cm
<b>Tubo 3 (Arroyo)</b>	Menos de 80 cm	80 cm	Menos de 80 cm
<b>Tubo 4 (Manantial)</b>	-	-	Menos de 80 cm

Para los cálculos de contenido hídrico se utilizó la hoja de cálculo Microsoft Excel, versión 2000.

Para registrar la precipitación *in situ* y relacionarla con los datos de contenido hídrico del suelo, se instaló un pluviómetro electrónico en El Rincón, el 19 de febrero del 2001 (*Digital Rain Gauge with accumulation counter*, de *Rainwise Co.*).

#### **4.2.1. Análisis estadístico.**

Para decidir el tipo de prueba estadística que se usaría para el análisis de los resultados, se realizó la prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov a la serie de seis mediciones de cada tubo. Como los resultados no tenían Distribución Normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para hacer las comparaciones (Zar, 1974).

Se eligió esta prueba por ser equivalente a la ANOVA de un factor, para muestras independientes. Así podían compararse por separado cada uno de los dos factores que pueden implicar diferencias en el contenido hídrico del suelo: 1) la ubicación en un gradiente de humedad (TUBO), y 2) la ubicación geográfica y altitudinal (LOCALIDAD).

Los resultados se compararon: 1) espacialmente, entre las tres localidades y entre los tres tubos, a lo largo del gradiente de humedad; y 2) temporalmente, entre estaciones del año. Se empleó un nivel de significancia de 0.05.

El arreglo de los datos para comparar entre Tubos (zonas) y entre localidades se muestra en las Tablas III y IV:

**TABLA III: ARREGLO DE LOS DATOS PARA COMPARAR ESTADÍSTICAMENTE  $\theta_g$  ENTRE TUBOS (ZONAS) DE UNA MISMA LOCALIDAD (GRUPOS A COMPARAR = COLUMNAS).**

<b>El Rincón, Tubo 1</b>	<b>El Rincón, Tubo 2</b>	<b>El Rincón, Tubo 3</b>
$\theta_g$ marzo 2001	$\theta_g$ marzo 2001	$\theta_g$ marzo 2001
$\theta_g$ julio	$\theta_g$ julio	$\theta_g$ julio
$\theta_g$ septiembre	$\theta_g$ septiembre	$\theta_g$ septiembre
$\theta_g$ octubre	$\theta_g$ octubre	$\theta_g$ octubre
$\theta_g$ enero 2002	$\theta_g$ enero 2002	$\theta_g$ enero 2002
$\theta_g$ marzo 2002	$\theta_g$ marzo 2002	$\theta_g$ marzo 2002

**TABLA IV: ARREGLO DE LOS DATOS PARA COMPARAR ESTADÍSTICAMENTE  $\theta_g$  ENTRE LOCALIDADES (GRUPOS A COMPARAR = COLUMNAS).**

<b>El Rincón, Tubo 1</b>	<b>San Miguel, Tubo 1</b>	<b>El Represo, Tubo 1</b>
$\theta_g$ marzo 2001	$\theta_g$ marzo 2001	$\theta_g$ marzo 2001
$\theta_g$ julio	$\theta_g$ julio	$\theta_g$ julio
$\theta_g$ septiembre	$\theta_g$ septiembre	$\theta_g$ septiembre
$\theta_g$ octubre	$\theta_g$ octubre	$\theta_g$ octubre
$\theta_g$ enero 2002	$\theta_g$ enero 2002	$\theta_g$ enero 2002
$\theta_g$ marzo 2002	$\theta_g$ marzo 2002	$\theta_g$ marzo 2002

Como el periodo febrero-marzo del 2001 fue el más húmedo del ciclo de muestreo (el pluviómetro en El Rincón registró 53.4 mm), se realizaron los mismos análisis omitiendo el dato tomado en ese periodo.

Se utilizó el paquete de cómputo *Statistica*, versión 4.5.

### 4.3. Estructura de la vegetación.

Para el análisis de la estructura de la comunidad se aplicó el método de intercepción en línea, con base en la descripción de Franco-López *et al.* (1985), aunque se omitió el cálculo de frecuencia relativa.

En cada localidad se realizaron seis transectos de 30 m de largo (**L**), procurando abarcar las tres zonas en que se dividió cada una: hídrica o arroyo, oasis y ecotono oasis-desierto (Vogl y McHargue, 1966). Se midió la longitud interceptada y la anchura máxima de cada planta, en dirección perpendicular a la línea. Para cada transecto se obtuvo **N**, número total de intercepciones o individuos; **I**, longitud total interceptada por la especie *i*; y **M**, anchura total de cada planta en dirección perpendicular a la línea. Con estos datos se calculó, para cada especie:

a) Cobertura de la especie *i* =  $100 \sum I_i / L$

a') Cobertura relativa de la sp. *i* = **cobertura de la especie *i* x100 /  
cobertura de todas las especies de ese transecto**

b) Abundancia de la sp.  $i$  = **número de individuos por especie**

b') Abundancia relativa de la sp.  $i$  = **no. de individuos de la especie  $i$  / no. total de individuos de ese transecto**

c) Valor de importancia = **cobertura relativa + abundancia relativa**

Para determinar si los transectos podían tratarse como réplicas, se realizó un análisis preliminar con el programa de cómputo MVSP versión 2.1a. Se compararon las tres localidades entre sí y los transectos de cada localidad por separado, en cuanto a composición de especies, mediante el índice de similitud de Jaccard. Este índice binario, determina la similitud entre dos comunidades con base en la presencia/ausencia de sus respectivas especies. El rango de valores de este coeficiente va de cero (no-similitud) a uno (similitud total) (Krebs, 1999).

Como se determinó que los transectos de cada sitio no podían tratarse como réplicas, el valor de importancia (V.I.) de las especies se calculó por transecto, y se utilizó el índice de correlación de Pearson para comparar dicho parámetro entre localidades y entre transectos. El índice de Pearson asume una correlación lineal entre el V. I. de las especies en las dos comunidades a comparar, y su rango de valores va de -1.0 a +1.0 (Krebs, 1999).

Además de los parámetros cuantitativos, se hizo una lista de las especies que ocurrieron en los transectos para comparar la riqueza entre las tres localidades. La lista obtenida a partir de los transectos se comparó con un inventario florístico realizado entre 1999 y el 2000 por Salazar-Ceseña y Montes (inéd.).

## 5. RESULTADOS.

En las tres localidades, el máximo contenido hídrico gravimétrico se registró en marzo del 2001, dentro del periodo en que el pluviómetro instalado en El Rincón registró el mayor volumen de precipitación (Tabla V). Los valores más bajos de  $\theta_g$ , fueron registrados entre julio y octubre del 2001 en las tres localidades. Con el análisis estadístico se determinó que el contenido hídrico del suelo no fue significativamente diferente a lo largo del año.

**TABLA V: PRECIPITACIÓN REGISTRADA POR EL PLUVIÓMETRO INSTALADO EN EL RINCÓN DURANTE EL AÑO DE ESTUDIO.**

PERIODO	PRECIPITACIÓN (mm)
<i>feb-mar / 01</i>	53.4
<i>mar-jul / 01</i>	12.2
<i>jul-sep / 01</i>	0.5
<i>sep-oct / 01</i>	2
<i>oct / 01-ene / 02</i>	17.8
<i>ene-mar / 02</i>	10.7

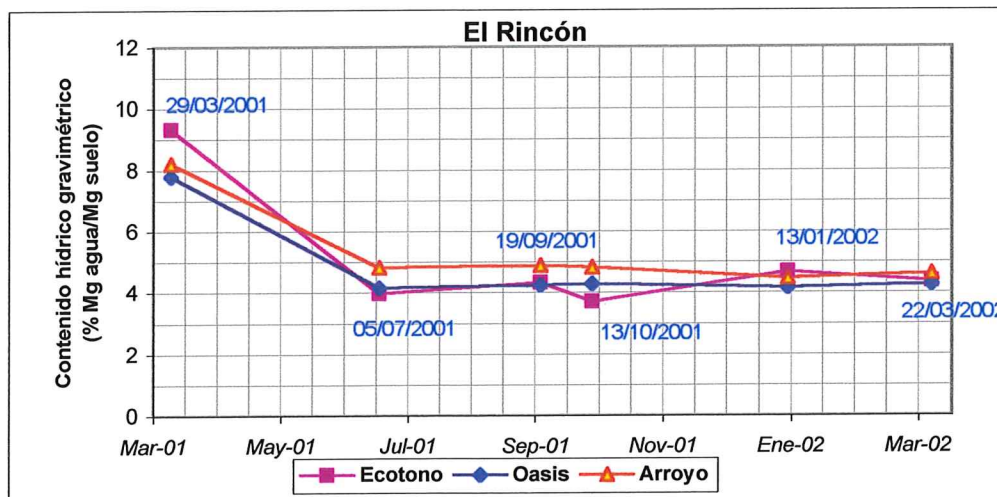
## 5.1. Contenido hídrico del suelo.

### a) Comparación entre Zonas.

La figura 2 muestra los valores de contenido hídrico gravimétrico ( $\theta_g$ ), expresados en porcentaje, para la localidad de El Rincón. El máximo contenido hídrico registrado en esta localidad fue de 9.3%, en marzo del 2001, y el mínimo de 3.7%, en octubre del mismo año; ambos en la zona del ecotono oasis-desierto (Tubo 1). Al comparar los valores de  $\theta_g$  entre las tres zonas con la prueba de Kruskal-Wallis (K-W), no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, al omitir el dato de  $\theta_g$  tomado en el periodo más lluvioso (Tabla V), la diferencia entre zonas resultó significativa (Tabla VI).

En esta localidad siempre hubo agua superficial en una parte del arroyo, pero los puntos donde se instalaron los tubos estuvieron secos durante todo el periodo que comprendió este estudio.

FIG. 2: VARIACIÓN DEL CONTENIDO HÍDRICO GRAVIMÉTRICO DEL SUELO A LO LARGO DEL AÑO, EN EL ECOTONO OASIS-DESIERTO, EL OASIS Y EL ARROYO, EN LA LOCALIDAD EL RINCÓN. NO SE ENCONTRARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE ESTAS ZONAS (PRUEBA DE K-W,  $P > 0.05$ ).

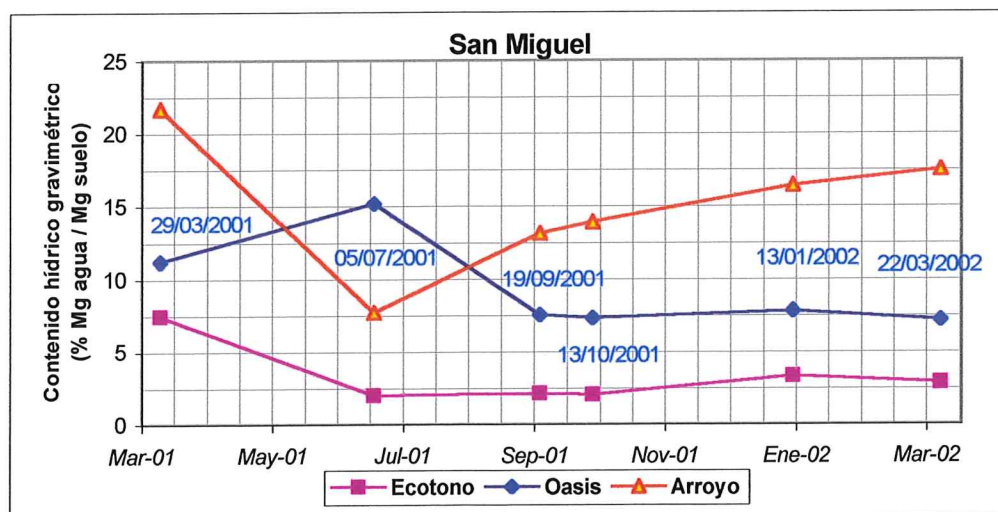


En la figura 3 se muestra el comportamiento del contenido de agua en el suelo de San Miguel, durante el año muestreado. El mayor valor de  $\theta_g$  se registró en la zona del arroyo (Tubo 3), en marzo del 2001, y fue de 21.7%, mientras que el valor más bajo ocurrió en julio del mismo año, en el ecotono oasis-desierto (Tubo 1) y fue 2.01%.

Al comparar estadísticamente entre zonas, se encontró que el contenido hídrico gravimétrico fue significativamente diferente entre ellas. Esta diferencia significativa se mantuvo al omitir el dato de marzo de 2001 (Tabla VI).

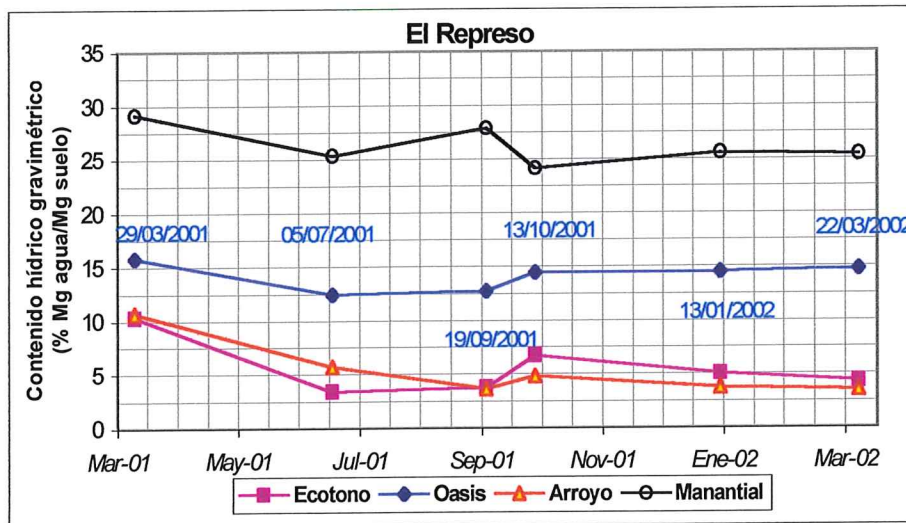
En esta localidad hubo pozas con agua superficial sobre el lecho del arroyo durante todo el año, cerca del área donde se instalaron los tubos de acceso para la sonda.

**FIG. 3: COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO HÍDRICO GRAVIMÉTRICO DEL SUELO A LO LARGO DEL AÑO, EN EL ECOTONO OASIS-DESIERTO, EL OASIS Y EL ARROYO EN SAN MIGUEL. SE ENCONTRARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE ZONAS (KRUSKAL-WALLIS,  $P = 0.002$ ).**



Considerando sólo los Tubos 1, 2 y 3, El Represo fue la única localidad en la que el valor más alto de  $\theta_g$  se registró en la zona del oasis (Tubo 2, Fig. 4): 15.8% en marzo del 2001. El menor valor de  $\theta_g$  fue de 3.4% para el ecotono oasis-chaparral (Tubo 1) y se registró en julio del 2001. Al comparar estadísticamente, se determinó que las diferencias entre las tres zonas de esta localidad son significativas, lo mismo al considerar al Tubo 4 en el análisis. Estas diferencias se mantuvieron durante todo el año (Tabla VI).

**FIG. 4: CONTENIDO HÍDRICO EN EL SUELO DE EL REPRESO, A LO LARGO DEL AÑO, EN EL ECOTONO OASIS-CHAPARRAL, EL OASIS, EL ARROYO Y LA ZONA DONDE SE ENCONTRÓ EVIDENCIA GEOLÓGICA DE UN MANANTIAL. DE ACUERDO CON LA PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS HAY DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS TUBOS 1, 2 Y 3 (P = 0.0034) Y ENTRE LOS CUATRO TUBOS ( P = 0.0002).**



Por otra parte, el contenido hídrico gravimétrico del suelo en el Tubo 4, es significativamente mayor que en los otros tres, de acuerdo con el análisis estadístico: el valor más alto fue 29.1% y el más bajo 24.1%, en marzo y

octubre del 2001, respectivamente. Este resultado sugiere que en ese punto podría existir un manantial, y que gracias a eso el agua alcanza capas más superficiales del suelo.

**TABLA VI: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LA PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS AL COMPARAR ENTRE TUBOS DE UNA MISMA LOCALIDAD.**

	Rincón <sup>Tubo 1</sup> vs. Rincón <sup>Tubo 2</sup> vs. Rincón <sup>Tubo 3</sup>	San Miguel <sup>Tubo 1</sup> vs. San Miguel <sup>Tubo 2</sup> vs. San Miguel <sup>Tubo 3</sup>	Represo <sup>Tubo 1</sup> vs. Represo <sup>Tubo 2</sup> vs. Represo <sup>Tubo 3</sup>	Repr <sup>Tubo 1</sup> vs. Repr <sup>Tubo 2</sup> vs. Repr <sup>Tubo 3</sup> vs. Repr <sup>Tubo 4</sup>
<b>Incluyendo <math>\theta_g</math> de marzo del 2001</b>	$p = 0.0873$	$p = 0.002$	$p = 0.0034$	$p = 0.0002$
<b>Omitiendo <math>\theta_g</math> de marzo del 2001</b>	$p = 0.0167$	$p = 0.0045$	$p = 0.0090$	$p = 0.0011$

### **b) Comparación entre localidades.**

Las diferencias entre localidades se obtuvieron comparando las zonas homólogas de cada una (Tabla VII). No hay diferencias significativas entre localidades al comparar sólo la zona del ecotono, pero sí al comparar la zona del oasis y del arroyo (Fig. 5).

Al omitir del análisis estadístico el valor de  $\theta_g$  registrado en marzo de 2001, la diferencia entre localidades en la zona del ecotono (Tubo 1) resultó significativa (Tabla VII).

FIG. 5: AL COMPARAR  $\theta_g$  ENTRE LOCALIDADES, SE ENCONTRARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS).

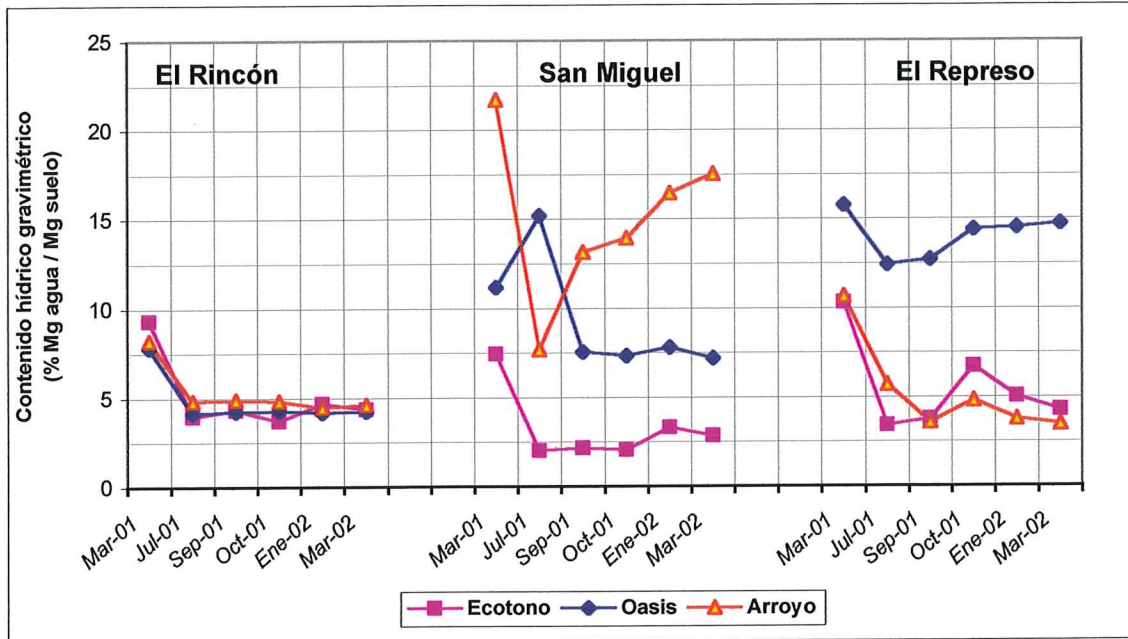


TABLA VII: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LA PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS AL COMPARAR ENTRE LOCALIDADES.

	Rincón <sup>Tubo 1</sup> vs. San Miguel <sup>Tubo 1</sup> vs. Represo <sup>Tubo 1</sup>	Rincón <sup>Tubo 2</sup> vs. San Miguel <sup>Tubo 2</sup> vs. Represo <sup>Tubo 2</sup>	Rincón <sup>Tubo 3</sup> vs. San Miguel <sup>Tubo 3</sup> vs. Represo <sup>Tubo 3</sup>
Incluyendo $\theta_g$ de marzo del 2001	$p = 0.0513$	$p = 0.0025$	$p = 0.0054$
Omitiendo $\theta_g$ de marzo del 2001	$p = 0.0092$	$p = 0.0053$	$p = 0.0068$

## 5.2. Composición y Estructura de la Vegetación.

La finalidad del muestreo de vegetación, fue describir de manera general la estructura y composición de la comunidad de que forma parte *Brahea armata*.

A partir de los transectos, se obtuvo un listado de especies de cada localidad (Anexo I). Puesto que cubrieron sólo el área alrededor de donde se instalaron los tubos, representan una pequeña proporción de la flora total de las localidades.

En El Rincón se registraron 27 especies, en San Miguel 27 y en El Represo 28 especies. Algunas de ellas se encontraron en los tres sitios, otras sólo en dos y otras fueron exclusivas de una localidad.

La lista general de las tres localidades sumó 60 especies; a partir de ella se calculó la proporción de especies comunes a dos o a tres localidades y exclusivas a una sola localidad.

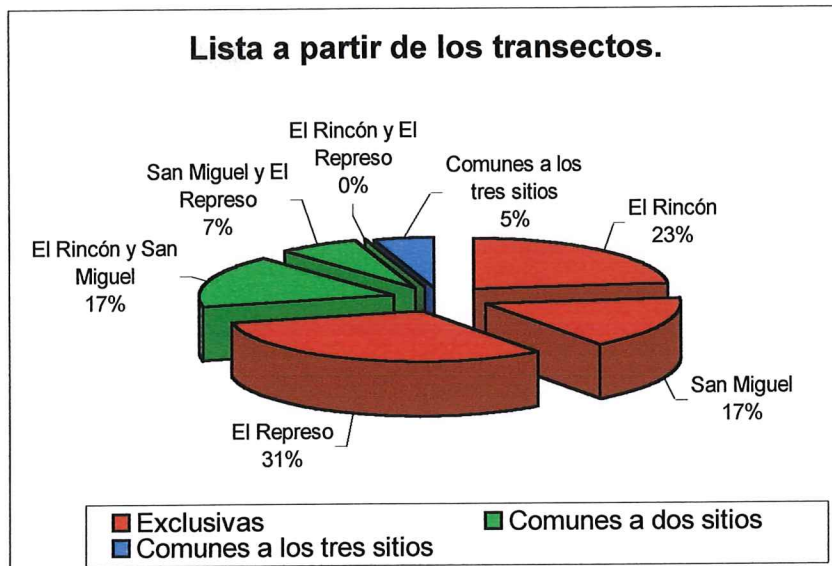
El Represo tuvo la mayor proporción de especies exclusivas: de las 60 especies de la lista, 19 (el 31%) estuvieron presentes sólo en esta localidad. Le sigue El Rincón, con 14 (23%) especies exclusivas y finalmente San Miguel, con sólo 10 (17%). De las 14 especies restantes (no exclusivas) el 17% (10 especies) fueron comunes a El Rincón y San Miguel. El Represo y San Miguel

tuvieron 4 (7%) especies en común y El Rincón y El Represo no tuvieron ninguna especie en común. Del total de especies, sólo 3 (el 5%) fueron comunes a los tres sitios, incluida *Brahea armata* (Fig. 6).

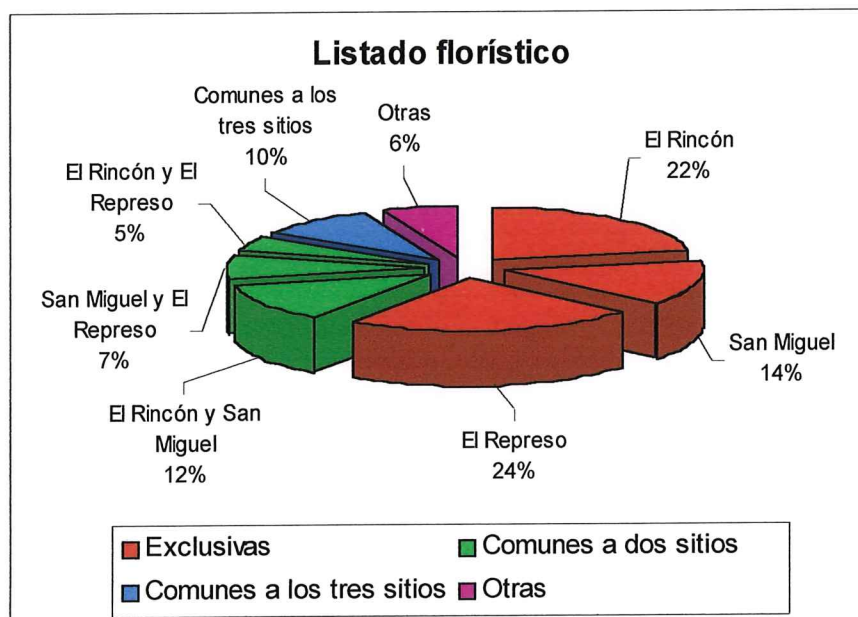
Puesto que los transectos cubrieron un área de muestreo pequeña, alguna especie pudo ser omitida por azar y aparecer como exclusiva cuando en realidad se encontraba en más de una localidad. Para dimensionar este posible error, las proporciones se calcularon a partir de un listado florístico de 233 especies realizado en las mismas localidades (Salazar-Ceseña y Montes, inéd.). En la figura 7 se muestra que, en esencia, las proporciones se mantienen, pues El Represo sigue siendo la localidad con mayor número de especies exclusivas (56), le sigue El Rincón (52) y finalmente San Miguel (32). Sólo 23 especies (9.87%) resultaron comunes a los tres sitios, y las dos localidades con mayor número de especies comunes a ambas fueron El Rincón y San Miguel (28).

Algunas de las especies comunes a las tres localidades, pero que no se registraron como tales a partir de los transectos, incluyen a *Baccharis sarothroides*, *Ephedra aspera*, *Ericameria diffusa*, *Lotus rigidus*, *Malosma laurina*, *Prosopis glandulosa*, *Salix* sp., *Simmondsia chinensis* y *Yucca schidigera*. De acuerdo con el listado florístico de referencia, otras especies comunes a las tres localidades no reportadas en este estudio son: *Acalypha*

**FIG. 6: PROPORCIÓN DE ESPECIES EXCLUSIVAS Y COMUNES EN LOS SITIOS DE ESTUDIO A PARTIR DE LOS TRANSECTOS.**



**FIG. 7: PROPORCIÓN DE ESPECIES EXCLUSIVAS Y COMUNES EN LOS SITIOS DE ESTUDIO A PARTIR DEL LISTADO DE REFERENCIA (SALAZAR-CESEÑA Y MONTES, INÉD.).**



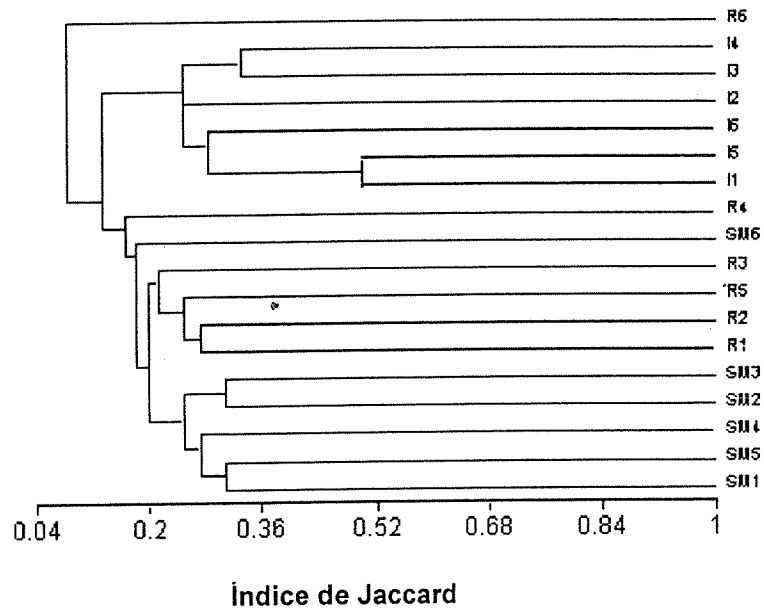
*californica*, *Echinocereus engelmannii*, *Opuntia rosarica* y *Salvia apiana* (Salazar-Ceseña y Montes, inéd.).

La comparación por composición de especies arrojó una similitud menor a 0.1 (índice de Jaccard) entre localidades. Excepto por el transecto seis de El Rincón y seis de San Miguel, los transectos de cada localidad formaron unidades independientes al hacer un análisis de agrupamiento, lo que resalta la falta de similitud expresada con el índice de Jaccard, cuyo rango de valores va de cero a uno (Fig. 8).

La estructura de las comunidades se describió mediante la abundancia (Ab) y el valor de importancia (V.I.). Los transectos de cada localidad mostraron una baja similitud entre sí en cuanto a composición de especies (secciones 5.2.1 a 5.2.3), por lo que los cálculos de los parámetros estructurales se hicieron por separado para cada transecto.

La comparación de la estructura de las localidades, por abundancia, resultó en una baja correlación (índice de Pearson: 0.159), lo que complementa el resultado de la comparación por composición de especies, pues la falta de similitud por composición y la baja correlación por estructura indican que las comunidades son diferentes entre sí.

**FIG. 8: ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO Y COMPARACIÓN POR COMPOSICIÓN DE ESPECIES ENTRE LOCALIDADES ("R", EL RINCÓN; "SM", SAN MIGUEL; "I", EL REPRESO; NÚMERO, NO. DE TRANSECTO).**



Los resultados de las comparaciones entre los transectos de cada localidad se mencionan en las páginas siguientes.

### 5.2.1. El Rincón.

La figura 9, muestra los parámetros estructurales de la vegetación, por transecto, en El Rincón.

La mayor correlación por estructura de la vegetación, se encontró entre los transectos uno y cinco (índice de Pearson: 0.796, al comparar abundancias), el primero con exposición suroeste y el segundo con exposición sureste. Esta

fuerte correlación se explica por la dominancia de *Ambrosia chenopodifolia* en ambos (Fig. 9). El número cinco, mostró una comunidad mixta, con elementos xeroriparios como *Acacia greggii* y *Prosopis glandulosa* (Cartron *et al.*, 2000) y de afinidad costera como *Malosma laurina*, además de *Eriogonium fasciculatum* y *Viguiera laciniata*. En el transecto uno estuvieron presentes *Agave cf. cerulata*, *Ephedra aspera*, *E. fasciculatum* y *V. laciniata*.

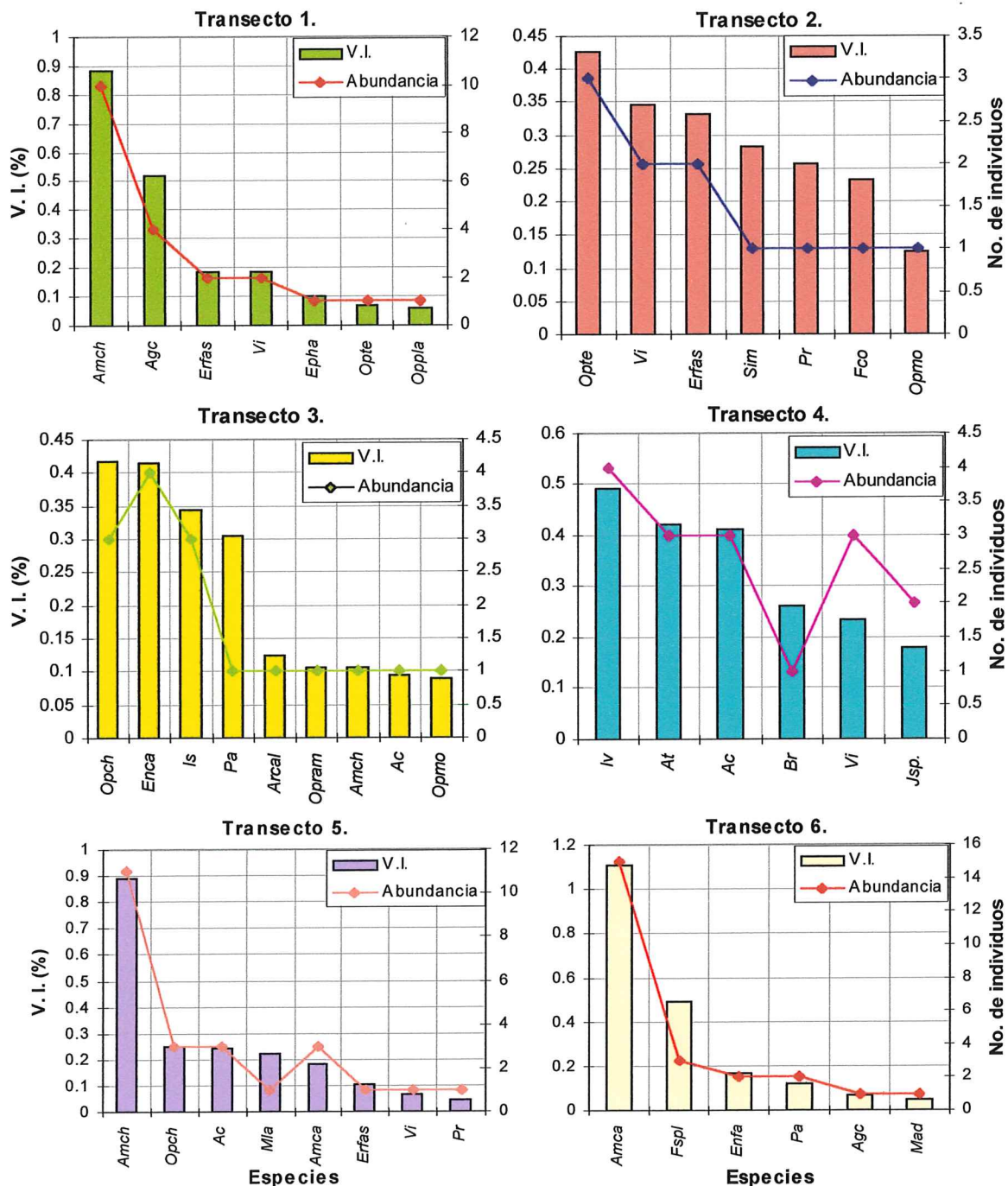
En general, en cuanto a composición de especies, la similitud fue baja; los valores más altos fueron entre los transectos uno y dos (índice de Jaccard: 0.273, Fig. 10), los cuales se hicieron en la ladera de dos cerros, con exposición oeste y noroeste, respectivamente. Las especies en común fueron *E. fasciculatum*, *Opuntia tesajo* y *V. laciniata*. En el transecto dos también estaba presente *Fouquieria columnaris*.

Los transectos tres y cuatro se realizaron en la zona del oasis y cruzando el arroyo, respectivamente; destaca la presencia de especies xeroriparias, como *Acacia greggii* (Cartron *et al.*, 2000), y riparias como *Juncus acutus* y *Brahea armata*. Su similitud por composición fue baja (0.071, índice de Jaccard), y la correlación por estructura fue negativa (-0.157, índice de Pearson). En el transecto tres, que incluyó la zona del ecotono oasis-desierto, las especies con mayor V. I. fueron propias del Desierto Sonorense como *Encelia californica* y

*Opuntia* spp. (Turner *et al.*, 1995), mientras que en el cuatro fueron *Isocoma menziesii* y *Atriplex polycarpa*.

El transecto seis, por su parte, se separa del resto de las muestras por su composición de especies (índice de Jaccard: 0.083), pues incluye tres especies exclusivas: *Encelia farinosa*, *Fouquieria splendens* y *Mammillaria dioica*. En cuanto a su estructura, predomina *Ambrosia camphorata*.

La ubicación de las especies en cada una de las zonas definidas en la Metodología, se muestra en la figura 11.



**FIG. 9: EL RINCÓN.** Ac, *Acacia greggii*; Agc, *Agave cf. cerulata*; Amca, *Ambrosia camphorata*; Amch, *A. chenopodiifolia*; Arcal, *Artemisia californica*; At, *Atriplex polycarpa*; Br, *Brahea armata*; Enca, *Encelia californica*; Enfa, *E. farinosa*; Epha, *Ephedra aspera*; Erfas, *Eriogonum fasciculatum*; Fco, *Fouquieria columnaris*; Fspl, *F. splendens*; Is, *Isocoma menziesii*; Iv, *Iva hayessiana*; Jsp. *Juncus* sp.; Ma, *Malosma laurina*; Mad, *Mammillaria dioica*; Opra, *Opuntia ramosissima*; Opch, *O. cholla*; Opmo, *O. molesta*; Oppla, *O. "plana"*; Opte, *O. tesajo*; Pa, *Pachycereus pringlei*; Pr, *Prosopis glandulosa*; Sim, *Simmondsia chinensis*; Vi, *Viguiera laciniata*.

FIG. 10: ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO Y COMPARACIÓN POR COMPOSICIÓN DE ESPECIES ENTRE LOS TRANSECTOS DE EL RINCÓN.

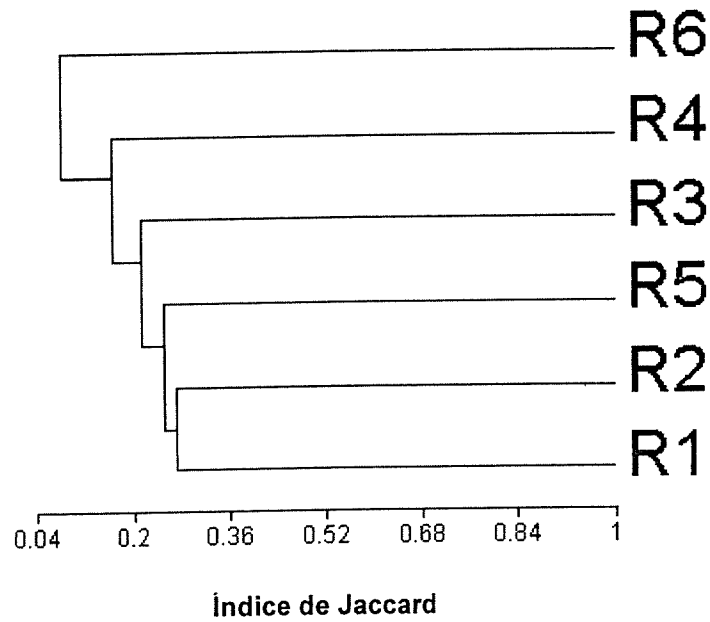
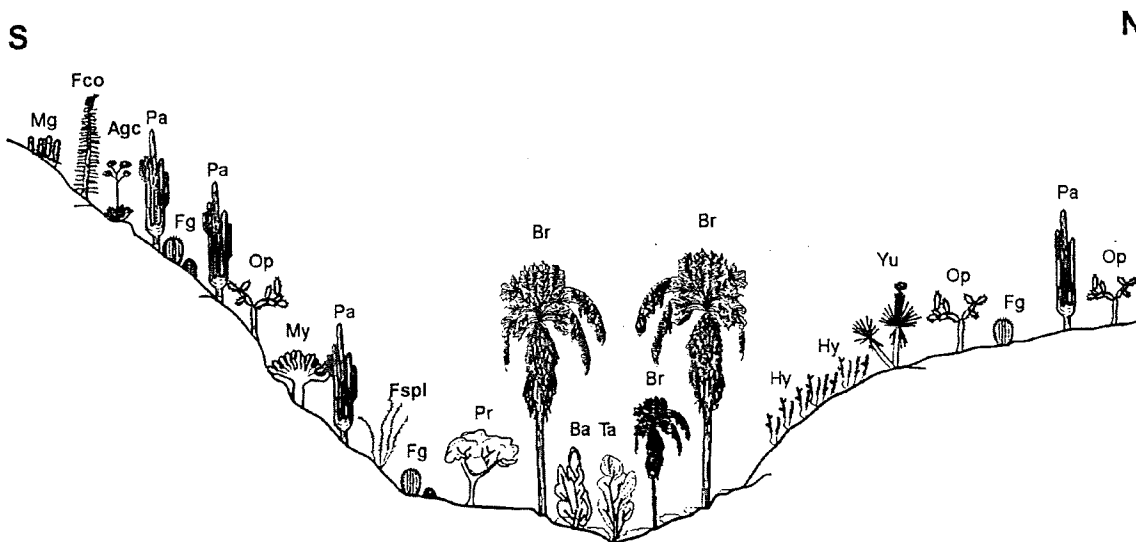


FIG. 11: PERFIL DE VEGETACIÓN Y UBICACIÓN DE LAS ESPECIES DE ACUERDO AL GRADIENTE DE HUMEDAD EN EL RINCÓN. (Agc, *Agave cf. cerulata*; Ba, *Baccharis* spp.; Br, *Brahea armata*; Fco, *Fouquieria columnaris*; Fg, *Ferocactus gracilis*; Fspl, *Fouquieria splendens*; Hy, *Hyptis emoryi*; Mg, *Machaerocereus gummosus*; My, *Myrtilocactus cochal*; Op, *Opuntia* spp., Pa, *Pachycereus pringlei*; Pr, *Prosopis glandulosa*; Ta, *Tamarix pentandra*; Yu, *Yucca schidigera*).



### 5.2.2. San Miguel.

En San Miguel (Fig. 12) los transectos con mayor correlación estructural por abundancia fueron uno y tres (índice de Pearson: 0.609), los cuales se hicieron paralelos al arroyo, en el oasis y en el ecotono, respectivamente. En el primero se registraron, entre otras, *Artemisia tridentata*, *Isocoma menziesii*, *Opuntia* spp., *Acacia greggii*, y *Brahea armata*. En el transecto tres también estuvieron presentes *I. menziesii*, y *B. armata*, además de *Baccharis sarothroides* y *Malosma laurina*.

La similitud por composición fue baja en general; los valores más altos se registraron entre los transectos uno y cinco (índice de Jaccard 0.333, Fig. 13). En ellos coinciden *Ericameria diffusa*, *Isocoma menziesii*, *Opuntia* sp.<sup>2</sup> y *Prosopis glandulosa*, además de que ocurren *B. armata*, *Baccharis sarothroides*, *Acacia greggii*, *Ambrosia camphorata* y *Ferocactus* cf. *gracilis*. El transecto uno se hizo en la zona del oasis, paralelo al arroyo, y el cinco en una ladera con exposición sur.

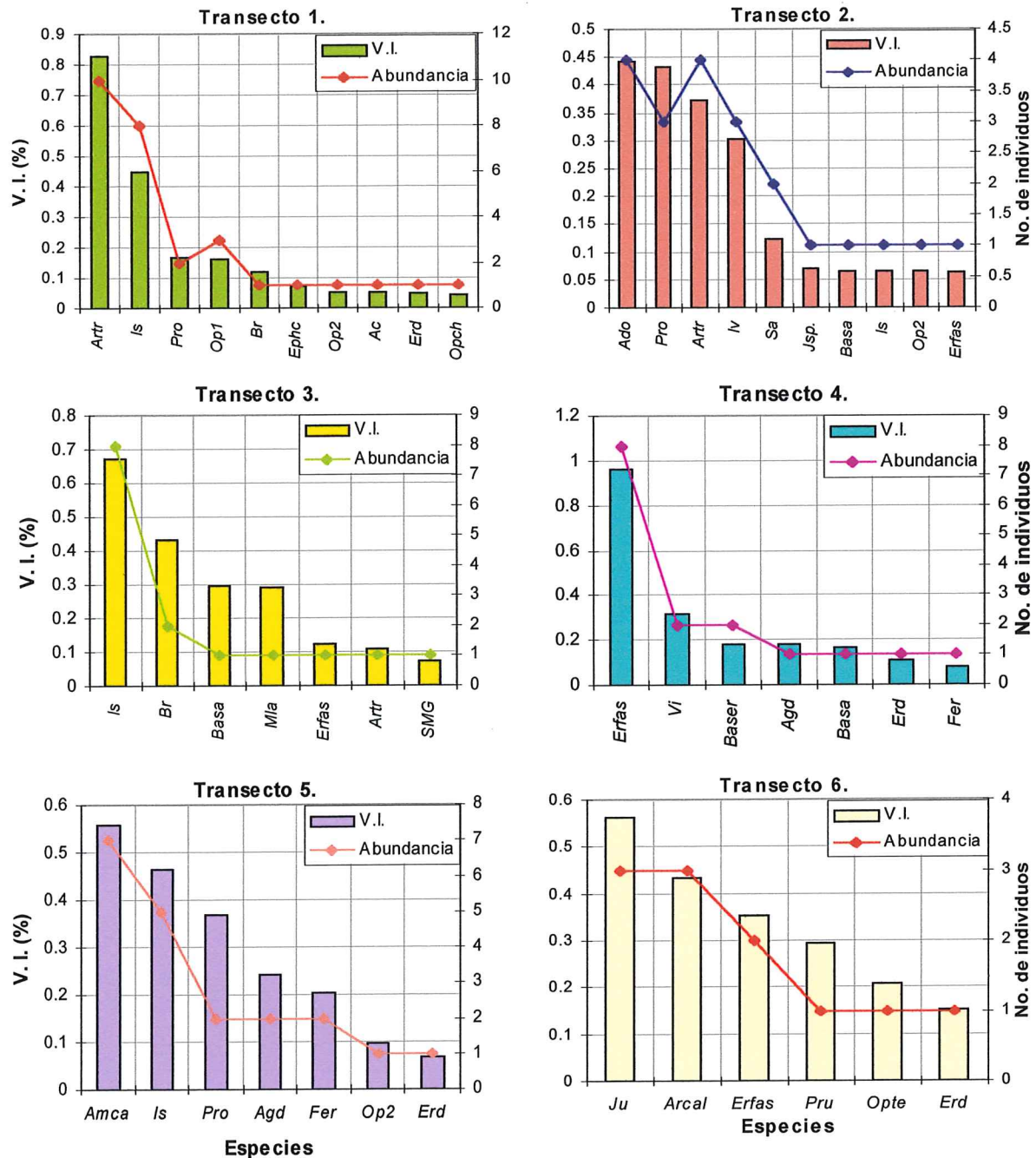
El transecto dos cruzó el arroyo; tuvo una similitud de 0.308 con el transecto tres, por su composición de especies (Fig. 13) y una baja correlación por estructura con los transectos cinco, tres y uno (índice de Pearson: 0.414). Algunas especies que ocurrieron en este transecto fueron *Adolphia californica*,

*Juncus* sp. y *Salix* sp., mientras que las especies en común con el transecto tres incluyeron a *Artemisia tridentata*, *B. sarothroides* e *Isocoma menziesii*.

El transecto cuatro comparte la presencia de *Agave* cf. *deserti* y *Ferocactus gracilis* con el cinco (índice de Jaccard: 0.273), ambos se hicieron en una ladera con exposición suroeste. En el agrupamiento (Fig. 13) el transecto cuatro también se une con el uno por la similitud de éste con el transecto cinco, sin embargo las muestras uno y cuatro sólo comparten a *Ericameria diffusa*.

El transecto seis fue, aparentemente, el que menor grado de similitud por composición tuvo con respecto a los demás (Fig. 13). La exposición fue suroeste y se captaron individuos de *Eriogonium fasciculatum*, *Prunus* cf. *fremontii*, *Opuntia tesajo*, *Juniperus californica* y *Artemisia californica*. Por la estructura de la vegetación, este transecto y el cuatro, mostraron una correlación positiva entre sí (índice de Pearson: 0.292), pero negativa con el resto de las muestras.

El perfil de vegetación (Fig. 14) muestra la localización de las especies a través del gradiente de humedad.



**FIG. 12: SAN MIGUEL.** Especies: Ac, *Acacia greggii*; Ado, *Adolphia californica*; Agd, *Agave cf. deserti*; Amca, *Ambrosia camphorata*; Arcal, *Artemisia californica*; Artr, *A. tridentata*; Br, *Brahea armata*; Basa, *Baccharis sarothroides*; Baser, *B. sergiloides*; Ephc, *Ephedra cf. californica*; Erd, *Ericameria diffusa*; Erfas, *Eriogonium fasciculatum*; Fer, *Ferocactus cf. gracilis*; Is, *Isocoma menziesii*; Iv, *Iva hayessiana*; Ju, *Juniperus californica*; Jsp., *Juncus sp.*; Mla, *Malosma laurina*; Opch, *Opuntia cholla*; Op1, *Opuntia sp.1*; Op2, *O. sp.2*; Opte, *O. tesajo*; Pro, *Prosopis glandulosa*; Pru, *Prunus cf. fremontii*; Sa, *Salix sp.*, SMG, no determinada; Vi, *Viguiera laciniata*.

FIG. 13: ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO Y COMPARACIÓN POR COMPOSICIÓN DE ESPECIES ENTRE LOS TRANSECTOS DE SAN MIGUEL.

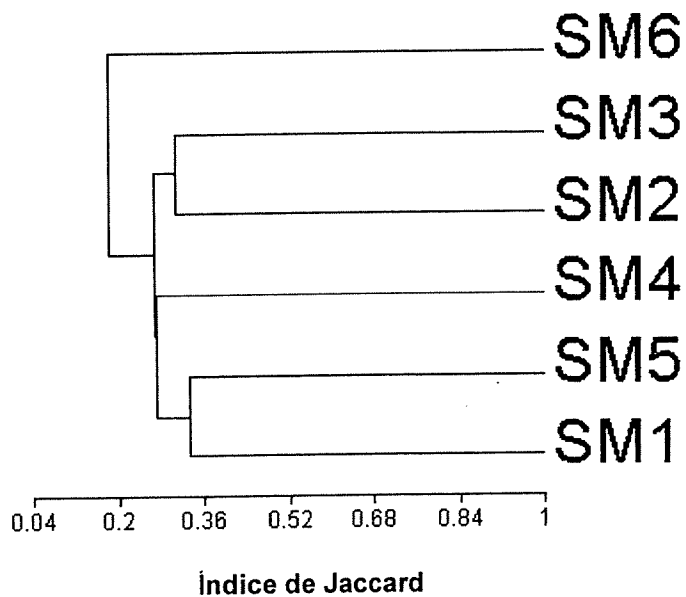
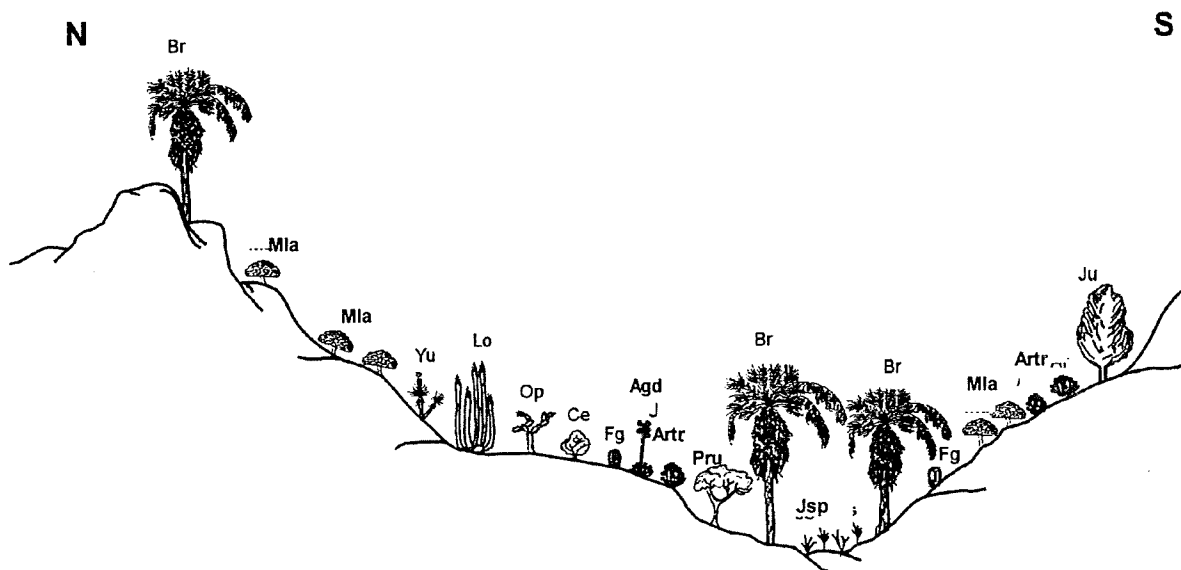


FIG. 14: PERFIL DE VEGETACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS ESPECIES DE ACUERDO AL GRADIENTE DE HUMEDAD EN SAN MIGUEL. (Ag, *Agave* cf. *deserti*; Ar, *Artemisia tridentata*; Br, *Brahea armata*, Ce, *Ceanothus* sp., Fg, *Ferocactus gracilis*; Js, *Juncus* sp.; Ju, *Juniperus californica*; Lo, *Lophocereus schottii*; Ma, *Malosma laurina*; Op, *Opuntia* spp.; Pr, *Prunus* cf. *fremontii*).



### 5.2.3. El Represo.

Fue en esta localidad donde los transectos mostraron la mayor similitud y correlación, tanto por composición como estructuralmente. Los transectos con el valor más alto fueron el uno y el cinco (índice de Pearson: 0.951; índice de Jaccard: 0.5), realizados en la zona del ecotono oasis-chaparral, con exposición suroeste el primero y sur-sureste el segundo. En ambos estuvieron presentes más o menos con la misma abundancia *Adenostoma fasciculatum*, *Juniperus californica* y *Opuntia* spp. (Fig.15).

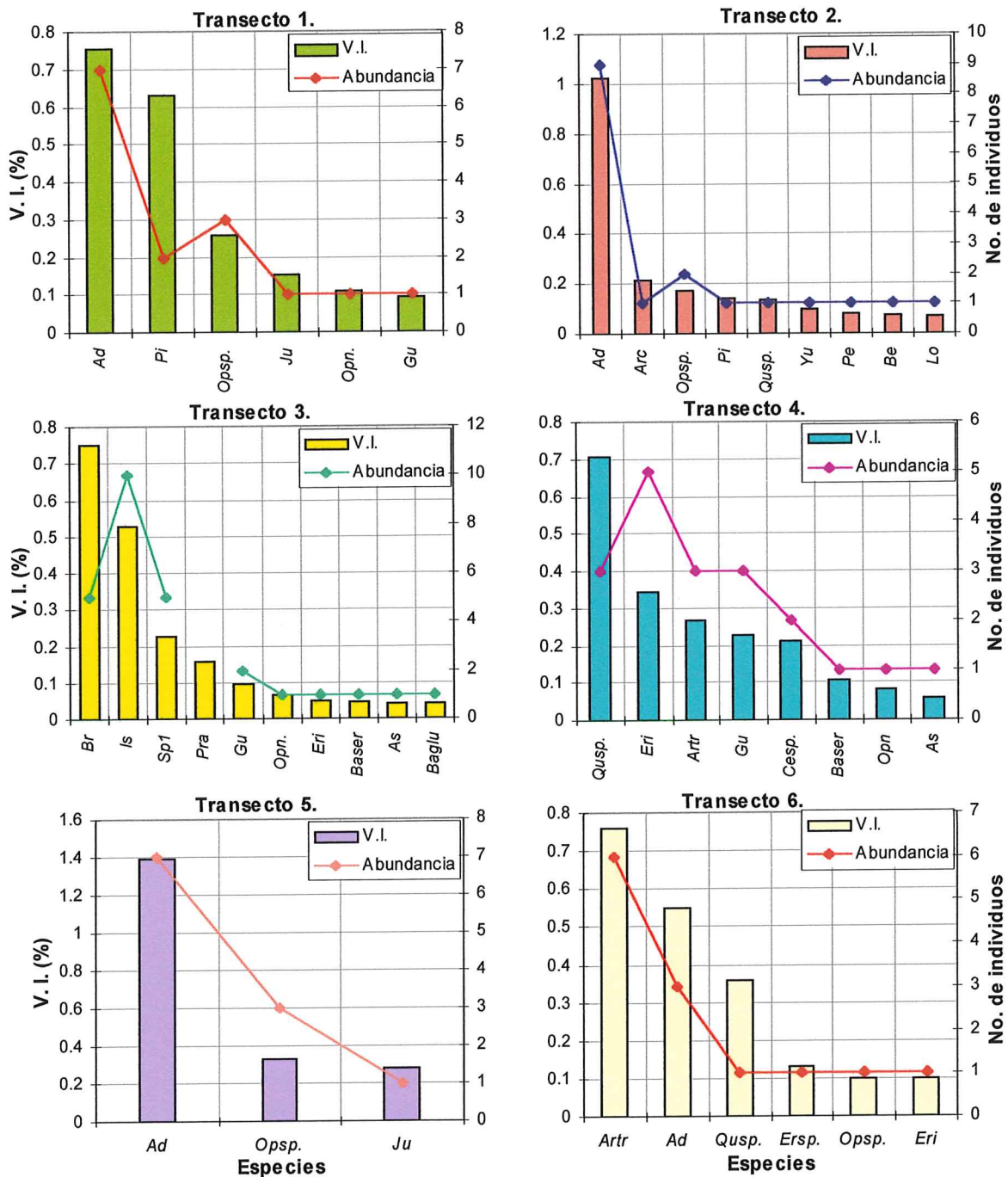
Los transectos tres y cuatro fueron hechos en la zona del oasis. Según el índice de Jaccard, su similitud por composición es de 0.357. Las especies predominantes que acompañan a *Brahea armata* son características de ambientes riparios, como *Juncus* cf. *balticus*, *Baccharis glutinosa*, *Baccharis sergiloides*, etc.

El transecto dos mostró una alta correlación por estructura de la vegetación con el cinco y el uno (índice de Pearson: 0.933), probablemente por la dominancia de *A. fasciculatum* en los tres (Fig. 15). Sin embargo, al considerar sólo la composición de especies, el transecto dos se separa del resto de las muestras (Fig. 16) con una similitud de 0.25 (índice de Jaccard), pues incluye especies no registradas en ninguna otra muestra, como *Arctostaphylos* cf.

*glauca*, *Bernardia myricifolia*, *Lotus rigidus*, *Pellaea mucronata* y *Yucca schidigera*.

El transecto seis abarcó una zona de chaparral, por lo que compartió especies características de esa comunidad, como *A. fasciculatum*, *Opuntia* sp. y *Quercus* sp., con los transectos uno, dos y cinco (índice de Jaccard: 0.286).

La figura 17 muestra el perfil de vegetación de esta localidad.



**FIG.15: EL REPRESO.** Especies: Ad, *Adenostoma fasciculatum*; Arc, *Arctostaphylos cf. glauca*; Artr, *Artemisia tridentata*; As, *Astragalus sp.*; Baglu, *Baccharis glutinosa*; Baser, *B. sergiloides*; Be, *Bernardia myricifolia*; Br, *Brahea armata*; Cesp, *Ceanothus sp.*; Eri, *Eriodyction angustifolium*; Ersps, *Eriogonium sp.*; Gu, *Gutierrezia sarothrae*; Is, *Isocoma menziesii*; Ju, *Juniperus californica*; Lo, *Lotus rigidus*; Opsp, *Opuntia sp.*; Opn, *O. sp.*; Pra, *Juncus cf. balticus*; Pe, *Pellaea mucronata*; Pi, *Pinus cf. quadrifolia*; Qusp, *Quercus sp.*; Sp<sub>1</sub>, no determinada; Yu, *Yucca schidigera*.

FIG. 16: ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO Y COMPARACIÓN POR COMPOSICIÓN DE ESPECIES ENTRE LOS TRANSECTOS DE EL REPESO.

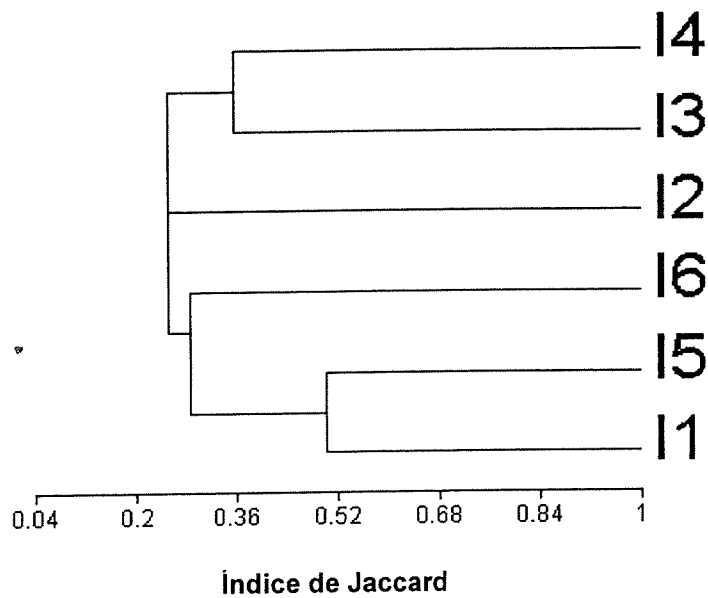
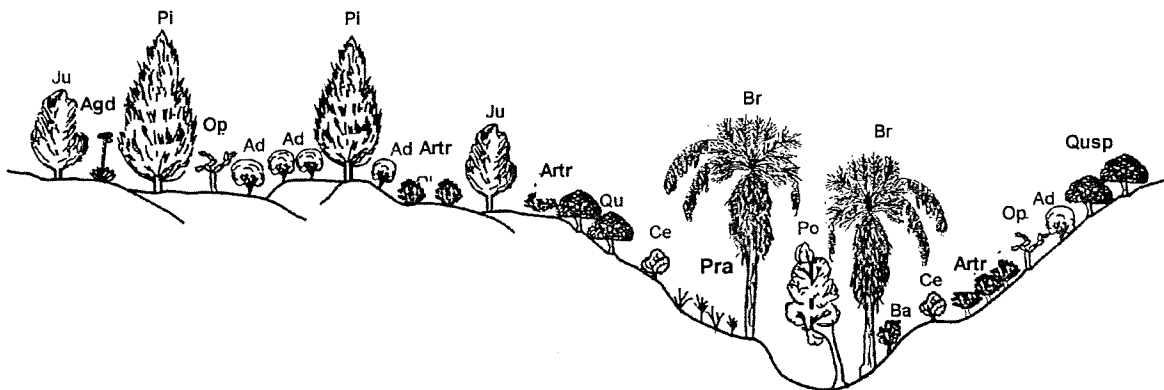


FIG. 17: PERFIL DE VEGETACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS ESPECIES CONFORME EL GRADIENTE DE HUMEDAD EN EL REPESO. (Ad, *Adenostoma fasciculatum*; Agd, *Agave cf. deserti*; Artr, *Artemisia tridentata*; Br, *Brahea armata*; Cesp, *Ceanothus sp.*; Pra, *Juncus cf. balticus*; Ju, *Juniperus californica*; Op, *Opuntia spp.*, Pi, *Pinus cf. quadrifolia*; Po, *Populus sp.*, Qusp, *Quercus sp.*).

NE

SW



## 6. DISCUSIÓN.

### 6.1 Contenido hídrico del suelo.

#### a) Comparación entre zonas.

Al observar las gráficas de cada localidad, puede verse que en general, el arroyo y el oasis tienden a ser más húmedos que el ecotono. La excepción ocurrió en El Rincón, donde sólo en el periodo menos seco (febrero-marzo 2001), el contenido hídrico del suelo ( $\theta_g$ ) fue mayor en el ecotono que en las otras dos zonas. Es posible que haya llovido pocos días antes de la fecha en que se tomó la lectura con la sonda, lo que provocó que  $\theta_g$  en el ecotono se incrementara y fuera más parecido al del oasis y el arroyo, aunque no había agua superficial en ninguna de las zonas.

La posible relación entre precipitación e incremento de  $\theta_g$  en el ecotono en esta localidad, se destacó al omitir del análisis estadístico el valor de  $\theta_g$  de marzo del 2001. Después de esa fecha, la precipitación fue muy escasa (Tabla V) y el contenido hídrico registrado en el suelo del ecotono oasis-desierto se mantuvo significativamente más bajo que en el arroyo en los meses subsecuentes, es decir, se acentuó el gradiente de humedad. Por eso al excluir del análisis estadístico el dato del periodo menos seco, la diferencia entre zonas resultó significativa (Tabla VI).

En San Miguel y El Represo, el contenido hídrico de la zona del arroyo y del oasis, tendió a ser significativamente mayor que en el ecotono durante todo el año.

Las diferencias de  $\theta_g$  entre zonas parecen indicar que en el arroyo y el oasis la fuente de humedad es distinta a la del ecotono. Es posible que haya una fuente de agua subterránea en el arroyo y el oasis y que el contenido hídrico del ecotono en las tres localidades, dependa más de la precipitación, como lo sugieren los resultados de El Rincón.

En zonas áridas, el contenido hídrico del suelo en un área donde la única entrada de agua es la precipitación, es bajo una vez terminada la temporada de lluvias (Escoto-Rodríguez, 1994; Franco-Vizcaíno, 1994), a menos que haya ocurrido un evento pluvial excepcional. Esto se debe a que las capas superficiales del suelo suelen secarse rápidamente y sólo una baja proporción de la humedad se almacena como agua capilar o se filtra para recargar un depósito subterráneo, pues normalmente en el verano la precipitación es escasa y la evapotranspiración elevada (Escoto-Rodríguez, 1994). Si además el suelo es poco profundo y arenoso, su capacidad de almacenamiento de agua es baja (Daubenmire, 1982; Franco-Vizcaíno, 1994) y la poca humedad almacenada de las lluvias invernales se consume o evapora rápidamente al

inicio del verano.

En cambio, donde existe una fuente de agua adicional a la precipitación, o donde la capacidad de almacenamiento del suelo es mayor,  $\theta_g$  puede mantenerse relativamente estable durante todo el año e incluso ser mayor que en áreas que dependen sólo de la precipitación. La escorrentía no es una fuente de agua permanente en las zonas áridas, como lo demuestra el que no existan arroyos superficiales perennes (Díaz y Troyo, 1997; Maya *et al.*, 1997), pero sí lo son los depósitos subterráneos y manantiales asociados a fallas geológicas (Heindl, 1961, citado en Maya *et al.*, 1997; Vogl y McHargue, 1966; Rea *et al.*, 1983; Cornett y Glenn, 1986; Schwenkmeyer, 1986).

Algunas observaciones en campo respaldan la hipótesis de que podría existir una fuente de agua subterránea abasteciendo a los oasis de palma azul. Por ejemplo, en El Rincón no se detectó agua superficial en ninguno de los puntos donde se midió con la sonda, pero el mayor  $\theta_g$  se registró en el arroyo, aún en las estaciones más secas. No se encontraron evidencias de hidromorfismo en el suelo, pero sí había agua superficial en el arroyo corriente arriba, por lo que es probable que el arroyo fluya por el subsuelo, a una profundidad accesible para las palmas y el resto de las especies riparias. De acuerdo con Vogl y McHargue (1966), esto permitiría clasificar al oasis de El

Rincón como oasis fluvial (*wash oases*).

En San Miguel, además de las pozas con agua en el arroyo, también se encontraron puntos donde el hidromorfismo (las costras de sal y la humedad aparente del sedimento) parecía indicar la existencia de un manantial, lo que indica que el oasis pertenece a los dos tipos propuestos por Vogl y McHargue (1966): fluvial y de manantial, es decir, que es un oasis mixto.

En El Represo, el arroyo también estuvo seco todo el periodo que duró este estudio, sin embargo en esta localidad se encontraron evidencias claras de hidromorfismo, sobre todo en la zona del oasis (Tubos 3 y 4), además de que  $\theta_g$  fue alto incluso en las capas superficiales del suelo (Fig. 4). Esto permite suponer que el palmar se abastece de un depósito subterráneo poco profundo, que aflora hacia la superficie, es decir, que es un oasis de manantial (Vogl y McHargue, 1966).

#### **b) Comparación entre Localidades.**

La comparación entre las zonas homólogas de las tres localidades refuerza la hipótesis de que el ecotono oasis-desierto (Tubo 1) es el más afectado por la precipitación, pues es la única zona en que la omisión del  $\theta_g$  obtenido durante el periodo menos seco tiene un efecto: al incluir en el análisis estadístico el

dato de marzo del 2001, no hubo diferencias significativas entre Localidades en la zona del ecotono, pero al omitirlo, la diferencia fue significativa (Tabla VII).

En cambio, las diferencias entre las zonas del oasis y el arroyo, se mantuvieron significativas durante todo el año. Estas diferencias entre localidades en los Tubos 2 y 3, pueden explicarse considerando que cada localidad se encontraba en un contexto ambiental distinto: altitud, tipo de suelo, sistema de drenaje, etc., y que en cada localidad la fuente de agua es distinta, por lo que cada oasis pertenece a un tipo distinto: fluvial en El Rincón, mixto en San Miguel y de manantial en El Represo (Vogl y McHargue, 1966; Schwenkmeyer, 1986).

De acuerdo con estos resultados, puede decirse que los oasis de *Brahea armata* no dependen exclusivamente de los arroyos como fuente de humedad, sino que cuentan con un suministro de origen subterráneo, lo que mantiene una disponibilidad de agua relativamente constante. Aunque estos resultados muestran sólo una tendencia, la presencia de palma azul y de otras especies de plantas que requieren humedad permanente en el arroyo y el oasis, respalda esta hipótesis (Sección 6.3).

## 6.2 Composición y Estructura de la Vegetación.

Al igual que en los oasis de *Washingtonia filifera* al sur de California (Vogl y McHargue, 1966), los oasis de *Brahea armata* seleccionados para este estudio comparten una baja proporción de especies (Fig. 6 y 7). Esto explica la baja similitud en cuanto a composición obtenida del análisis con el índice de Jaccard.

Así mismo, la composición de especies exclusivas de cada localidad comprueba que cada oasis pertenece a un tipo de vegetación distinto: en El Rincón se encontraron varias especies representativas del Desierto Sonorense, como *Pachycereus pringlei* y *Fouquieria columnaris*, que no se encontraron en ninguna de las otras dos localidades. Algunas especies que se encontraron sólo en El Represo (*Adenostoma fasciculatum*, *Arctostaphylos glauca* y *Pinus cf. quadrifolia*) son características del chaparral de montaña. Por otra parte, las especies reportadas como exclusivas en San Miguel no son características de un solo tipo de vegetación, sino que hubo elementos del chaparral de montaña (*Juniperus californica*), el desierto sonorense (*Ferocactus cf. gracilis*, *Mammillaria* sp.) y muy pocas especies de afinidad costera (como *Malosma laurina*), por lo que representa un ecotono entre varios tipos de vegetación.

La mayor proporción de especies exclusivas en El Represo, puede explicarse con base en su ubicación respecto a las otras dos localidades. Por un lado, es la localidad con mayor altitud sobre el nivel del mar. Esto coincide con lo reportado en el oasis de Whitewater Palms en California, que debido a su altitud y cercanía a la costa tuvo mayor número de especies exclusivas respecto a otros 23 oasis (Vogl y McHargue, 1966). Por otro lado, El Represo se encuentra a casi 15 km de San Miguel y a más de 20 km de El Rincón, mientras que la distancia entre estas últimas es aproximadamente 7 km.

La relativa cercanía entre San Miguel y El Rincón, y la ausencia de un gradiente altitudinal muy pronunciado entre ellas, podrían explicar que estas localidades compartan una mayor proporción de especies (Fig. 6 y 7). Sin embargo, El Rincón se ubica definitivamente en el Desierto Sonorense, mientras que San Miguel tiene elementos de distintos tipos de vegetación, lo que podría explicar la menor proporción de especies exclusivas en esta última localidad.

Además de la composición de especies, a una comunidad también la definen las formas de vida, la estratificación vertical y horizontal, la cobertura, dispersión y abundancia de las especies (Brower y Zar, 1977). En este sentido, la abundancia y el valor de importancia de las especies de cada localidad se calcularon para complementar la descripción de las comunidades vegetales

con las que coincide la palma azul en tiempo y espacio. El hecho de que estas comunidades hayan resultado estructuralmente distintas, refuerza las diferencias en cuanto a fisonomía y composición florística mencionadas previamente.

En resumen, los sitios de estudio están ubicados a través de un gradiente de vegetación (Fig. 1) y un ligero gradiente altitudinal. Las diferencias entre ellos, en cuanto a composición y estructura, pueden explicarse a la luz de los diferentes contextos florísticos y ambientales en que se encuentran.

### **6.3. Relación entre el contenido hídrico del suelo y la vegetación.**

Aunque los transectos no se hicieron siguiendo estrictamente la zonación propuesta por Vogl y McHargue (1966), sí abarcaron las tres zonas definidas por ellos en función de la disponibilidad de agua (arroyo, oasis y ecotono oasis-desierto).

El análisis de agrupamiento muestra que en cada localidad, los transectos realizados en la misma zona (ecotono, oasis o arroyo) y/o en condiciones ambientales similares (exposición, cercanía al arroyo, etc.) se agrupan, aún con valores de similitud no muy altos (Fig. 8, 10, 13 y 16). Esto permite ubicar a las especies en una de las tres zonas referidas y relacionar su ubicación con el contenido de humedad del suelo.

En cada localidad, la zona del ecotono presentó las especies representativas de cada tipo de vegetación: desierto en El Rincón, una zona de transición entre chaparral de montaña y desierto en San Miguel, y chaparral en El Represo. En el oasis y el arroyo estuvieron presentes especies propias de zonas riparias y *Brahea armata* (Fig. 11, 14 y 17).

Las especies de zonas áridas no confinadas a la orilla de los ríos se consideran xerófitas, es decir que mediante mecanismos fisiológicos, morfológicos y/o fenológicos evaden o resisten la sequía periódica (Daubenmire, 1982), y son capaces de sobrevivir y llevar a cabo sus funciones con una escasa reserva de humedad en el suelo (Franco-Vizcaíno, 1994). La presencia de especies desérticas y de chaparral en el ecotono de las tres localidades, complementa las mediciones de  $\theta_g$  en esa zona, donde la humedad parece ser significativamente menor que en el arroyo y el oasis (Tabla VI).

Por su parte, en los ecosistemas riparios, la presencia de elementos méxicos, como *Populus* spp., *Salix* spp. y *Prosopis* spp., indica humedad permanente en el suelo (Rodiek, 1981). En el arroyo y el oasis de los sitios de estudio de este trabajo se encontró, entre otras, una especie de cada uno de esos géneros, lo que corresponde con el mayor  $\theta_g$  registrado en esas dos zonas (Fig. 5).

En las zonas áridas y semiáridas, las especies riparias no dependen sólo de la precipitación, sino que requieren acceso al agua del arroyo y a fuentes subterráneas (Cartron *et al.*, 2000). Como ya se mencionó, en los sitios de estudio de este trabajo los arroyos siempre estuvieron secos, pero se registraron los mayores valores de contenido hídrico en el suelo, por lo que es posible que la vegetación esté subsistiendo gracias a fuentes de agua subterráneas, prácticamente permanentes.

Por otro lado, la diferencia de contenido hídrico en el suelo entre localidades también se apoya en la diferencia de tipo de vegetación. De acuerdo con Shreve (1936), la vegetación de chaparral requiere mayor disponibilidad de agua que la vegetación desértica. Esto se refleja en su fisonomía, pues en el chaparral los individuos son más altos y están más densamente distribuidos que en el desierto.

#### **6.4. La palma azul.**

Aunque su valor de importancia y abundancia no fueron altos en ninguna de las tres localidades, la especie común a los tres sitios mejor representada fisionómicamente fue la palma azul. Probablemente, si se hubieran hecho transectos dentro de la zona del palmar, su V.I. hubiera sido más alto, su peso como especie común a las tres localidades hubiera sido mayor y las localidades hubieran resultado más similares entre sí.

La baja similitud florística entre localidades, así como las diferencias en cuanto a contenido hídrico del suelo en el arroyo y el oasis, reflejan que, aparentemente, ninguno de esos dos factores determina su presencia en los oasis estudiados y su ausencia en otras zonas riparias. Es necesario realizar más investigación en estos sitios, para conocer los factores físicos y bióticos que determinan la distribución de *Brahea armata*.

Algunos de estos factores son: las características físicas y químicas del suelo (Daubenmire, 1982); historia evolutiva y biogeográfica de *B. armata*; fenología y fisiología de la especie, etc.

## 7. CONCLUSIONES.

1. Los datos pluviométricos y de contenido hídrico del suelo, demuestran que el agua es muy escasa en los sitios de estudio. Sin embargo, existe un gradiente de humedad (arroyo>oasis>ecotono) independiente de la precipitación, lo que indica la existencia de una fuente subterránea de agua.

2. Las diferencias de  $\theta_g$  entre zonas pueden explicarse si se considera la posibilidad de que en el arroyo y el oasis haya una fuente de agua subterránea y que en el ecotono  $\theta_g$  dependa más de la precipitación.

3. Las diferencias de  $\theta_g$  entre localidades, pueden explicarse considerando que cada una pertenece a un tipo de oasis distinto: El Rincón es un oasis fluvial, El Represo un oasis de manantial y San Miguel un oasis mixto.

4. La distribución de la vegetación al interior de cada localidad, corresponde con la disponibilidad de agua en el suelo indicada por las diferencias en  $\theta_g$ .

5. La composición florística y la estructura de la vegetación indican que los sitios de estudio están ubicados a través de un gradiente de vegetación y un ligero gradiente altitudinal. Las diferencias entre ellos, pueden explicarse a la

luz de los diferentes contextos florísticos y ambientales en que se encuentran.

6. Puesto que ni  $\theta_g$  ni la comunidad vegetal son similares en las tres localidades, es probable que esos factores no determinen la presencia de *Brahea armata* en los oasis estudiados y su ausencia en otras zonas riparias.

7. Es necesario realizar más investigación en estos sitios, para conocer los factores biogeográficos, evolutivos, físicos y bióticos que determinan la distribución de *Brahea armata*.

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

- Amundson, R., E. Franco-Vizcaíno, R. C. Graham y M. DeNiro. 1994. The relationship of precipitation seasonality to the flora and stable isotope chemistry of soils in the Vizcaíno desert, Baja California, México. *J. Arid Env.* **28**: 265-279.
- Arriaga, L., S. Díaz, R. Domínguez y J.L. León. 1997. *Composición Florística y Vegetación*. Capítulo 6. En: *Los oasis de la península de Baja California*. Arriaga, L. y R. Rodríguez-Estrella. (eds.). Publicación No. 13. CIBNOR. 96-106 pp.
- Balding, F. R. y G. L. Cunningham. 1974. The influence of soil water potential on the perennial vegetation of a desert arroyo. *The Southwestern Naturalist* **19**(3): 241-248.
- Berndsston, R. y H. Chen. 1994. Variability of soil water content along a transect in a desert area. *J. Arid Env.* **27**: 127-139.
- Brower, J. E. y J. H. Zar. 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. W. M. C. Brown Company Publishers. E. U. A. 194 pp.
- Cartron, J. L.E., S.H. Stoleson, P.L.L. Stoleson y D.W. Shaw. 2000. *Riparian areas*. En: *Livestock Management in the American Southwest: Ecology, Society and Economics*. Jemison, R. y C. Raish (eds.). Elsevier Science B. V. 281- 327 pp.

- Cornett, J.W. 1989. *Desert palm oasis*. Palm Springs Desert Museum. Companion Press. Sta. Barbara, Ca., 47 pp.
- Cornett, J.W. y T. Glenn. 1986. The largest Desert Fan Palm oases. *Principes* 30(2): 82-84.
- Daubenmire, R.F. 1982. *Ecología Vegetal: tratado de autoecología de plantas*. 3ª ed. Limusa. México. 496 pp.
- Delgadillo, J. 1998. *Florística y ecología del norte de Baja California*. 2ª ed. Universidad Autónoma de Baja California. 407 pp.
- Díaz, S. y E. Troyo. 1997. *Balance hidrológico y análisis de la aridez*. Capítulo 4. En: *Los oasis de la península de Baja California*. Arriaga, L. y R. Rodríguez-Estrella (eds.). Publicación No. 13. CIBNOR. Págs. 35-49.
- Escoto-Rodríguez, M. 1994. *Balance de agua del suelo en tres sitios de estudio en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California*. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. 96 pp.
- Fitts, C. R. 2002. *Groundwater Science*. Academic Press. Gran Bretaña. 450 pp.
- Franco-López, J. y G. De la Cruz. 1985. *Manual de Ecología*. 1ª ed. Trillas. México. 266 pp.
- Franco-Vizcaíno, E. 2001. Comunicación Personal. Laboratorio de Ecología de Zonas Áridas y Semiáridas. CICESE.

- Franco-Vizcaíno, E. 1994. Water regime in soils and plants along an aridity gradient in central Baja California, Mexico. *J. Arid Env.* **27**: 309-323.
- Franco-Vizcaíno, E., G. Goldstein y I. P. Ting. 1990. Comparative gas exchange of leaves and bark in three stem succulents of Baja California. *Amer. J. Bot.* **77**(10): 1272-1278.
- Gardner, W.H. 1986. Water content. In: Klute, A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part I. Agronomy* **9**: 383-411.
- Gregory, S.V., F.J. Swanson, W.A. McKee y K.W. Cummins. 1991. An Ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience* **41**(8): 540-551.
- Grismer, L. L. y J. A. McGuire. 1993. The oases of Central Baja California, Mexico. Part I: A preliminary account of the relict mesophilic herpetofauna and the status of the oases. *Bull. Southern California Academy of Sciences* **92**(1): 2-24.
- Kramer, P. J. 1983. *Water relations of plants*. Academic Press. E. U. A. 489 pp.
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*. 2a. ed. Adisson Wesley Longman, E.U.A. 620 pp.
- Maya, Y., R. Coria y R. Domínguez. 1997. *Caracterización de los oasis*. Capítulo 2. En: *Los oasis de la península de Baja California*. Arriaga, L. y R. Rodríguez-Estrella (eds.). Publicación No. 13. CIBNOR. 5-25 pp.

- Minnich, R.A. y E. Franco-Vizcaíno. 1998. *Land of Chamise and Pines: Historical Accounts and Current Status of Northern Baja California's Vegetation*. University of California Publications in Botany. Vol. 80. University of California Press, Berkeley. 166 pp.
- Rea, A.M., G.P. Nabhan y K.L. Reichhardt. 1983. Sonoran Desert Oases: plants, birds and native people. *Environment Southwest* **503**: 5-9.
- Rodiek, J. 1981. Wetland trees of Arizona for possible oasis use in arid regions. *Desert plants* **3**(2): 88-91.
- Salazar-Ceseña, M. y C. Montes. 2002. Inédito. Laboratorio de Ecología de Zonas Áridas y Semiáridas. CICESE.
- Schwenkmeyer, D. 1986. The Palm Oasis: our tropical vestige. *Environment Southwest* **514**: 18-23.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 1977. Carta Geológica (1:50,000). México.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981. Carta Hidrológica de aguas subterráneas (1:250,000). México.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1982. Carta Edafológica (1:250,000). México.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1984a. Carta de efectos climáticos regionales, Noviembre a Abril (1:250,000). México.

\_\_\_\_\_1984b. Carta de efectos climáticos regionales, Mayo a Octubre (1:250,000). México.

Shreve, F. 1936. The transtition from desert to chaparral in Baja California. *Madroño* **3**: 257-320.

Tolman, C.F. 1937. *Ground Water*. The Maple Press Co., E.U.A., 593 pp.

Turner, R. M., J.E. Bowers y T.L. Burgess. 1995. *Sonoran Desert Plants: An ecological Atlas*. The University of Arizona Press. E.U.A. 504 pp.

Velasco-Molina, H. A. 1991. *Las zonas áridas y semiáridas. Sus características y manejo*. 1ª ed. Limusa. México. 725 pp.

Vogl, R. J. y L. T. McHargue. 1966. Vegetation of California Fan Palm Oases on the San Andreas Fault. *Ecology* **47**(4): 532-540.

Zar, J. H. 1974. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. E. U. A. 620 pp.

## ANEXO I.

### LISTADO FLORÍSTICO POR LOCALIDAD.

#### **El Rincón:**

*Acacia greggii*  
*Agave cf. cerulata*  
*Ambrosia camphorata*  
*Ambrosia chenopodifolia*  
*Artemisia californica*  
*Atriplex polycarpa*  
*Brahea armata*  
*Encelia californica*  
*Encelia farinosa*  
*Ephedra aspera*  
*Eriogonium fasciculatum*  
*Fouquieria columnaris*  
*Fouquieria splendens*  
*Isocoma menziesii*  
*Iva hayessiana*  
*Juncus sp.*  
*Malosma laurina*  
*Mammillaria dioica*  
*Opuntia cf. ramosissima*  
*Opuntia cholla*  
*Opuntia molesta*  
*Opuntia sp. (nopal)*  
*Opuntia tesajo*  
*Pachycereus pringlei*  
*Prosopis glandulosa*  
*Simmondsia chinensis*  
*Viguiera laciniata*

#### **San Miguel:**

*Acacia greggii*  
*Adolphia californica*  
*Agave cf. deserti*  
*Ambrosia camphorata*  
*Artemisia californica*  
*Artemisia tridentata*  
*Baccharis sarothroides*  
*Baccharis sergiloides*  
*Brahea armata*

*Ephedra* cf. *californica*  
*Ericameria diffusa*  
*Eriogonium fasciculatum*  
*Ferocactus* cf. *gracilis*  
*Isocoma menziesii*  
*Iva hayessiana*  
*Juncus* sp.  
*Juniperus californica*  
*Malosma laurina*  
*Opuntia cholla*  
*Opuntia* spp.  
*Opuntia tesajo*  
*Prosopis glandulosa*  
*Prunus* cf. *fremontii*  
*Salix* sp.  
*Vigueria laciniata*

**El Represo:**

*Adenostoma fasciculatum*  
*Arctostaphylos* cf. *glauca*  
*Artemisia* cf. *dracunculus*  
*Artemisia tridentata*  
*Astragalus* sp.  
*Baccharis glutinosa*  
*Baccharis sarothroides*  
*Baccharis sergiloides*  
*Bernardia myricifolia*  
*Brahea armata*  
*Ceanothus* sp.  
*Eriodictyon angustifolium*  
*Eriogonium fasciculatum*  
*Eriogonium* sp.  
*Gutierrezia sarothrae*  
*Isocoma menziesii*  
*Juncus* cf. *balticus*  
*Juniperus californica*  
*Lotus rigidus*  
*Opuntia* spp.  
*Pellaea mucronata*  
*Pinus* cf. *quadrifolia*  
*Quercus* sp.  
*Rhus integrifolia*  
*Salix* sp.  
*Yucca schidigera*