



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTRUCTURA Y COMPOSICION DE UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA EN SU LIMITE NORTE DE DISTRIBUCION: SIERRA SAN JAVIER, SONORA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

LEONARDO VARELA ESPINOSA

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE ALBERTO BURQUEZ MONTIJO

2005



FACULTAD DE CIENCIAS SECCION ESCOLAR



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM

0350269



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

Estructura y composición de una selva baja caducifolia en su límite  
norte de distribución: Sierra San Javier, Sonora.

realizado por Leonardo Varela Espinosa

con número de cuenta 6507412-3 , quien cubrió los créditos de la carrera de:  
Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

**A t e n t a m e n t e**

Director de Tesis  
Propietario Dr. José Alberto Búrquez Montijo

Propietario Dr. Fernando Chiang Cabrera

Propietario Dra. Nelly Diego Pérez

Suplente Dr. Jorge Meave del Castillo

Suplente Dra. Angelina Martínez-Yrizar

**Consejo Departamental de Biología**

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**UNIDAD DE ENSEÑANZA  
DE ECOLOGIA**

## **Dedicatoria**

A la memoria de mis padres

Pedro León y Mercedes

A mis hijos y hermanos

## **Selva Baja**

Para Gela y Alberto Búrquez

**Ocaso de verano viejo  
tras la montaña.**

**Ocre y carmín sobre esmeralda;  
Los dedos del otoño han tocado a la Bursera.**

**Selva,  
Galeón herido en océano de brumas  
azules y violáceas.**

**Brisa fresca de ladera  
aromas de raíces y humedades.**

**El triste reclamo del halcón  
desde el dorado incendio de la escarpa.**

**El arroyo,  
rumor de plata atardecida,  
serpea bajo el ramaje imponente del Taxodium.**

**Arroyo eterno,  
Carillón cristalino  
Voz de mujer  
Siempre igual y a cada instante distinta.**

**Leonardo Varela Espinosa**  
Cañón de Campa. San Javier, sonora.  
Septiembre 1996.

## Agradecimientos

**M**i más sincero agradecimiento al Dr. Alberto Búrquez Montijo por su enorme paciencia y tenacidad en la dirección de todo el trabajo de tesis, a la Dra. Angelina Martínez-Yrizar por sus acertados consejos y valiosa ayuda en la reiterada revisión de diversos aspectos del trabajo, y a ambos, especialmente por su invaluable amistad.

Por su incondicional cariño y apoyo, a mi querida familia; Ma. Benita, Mercedes, Consuelo, Pedro Enrique, Roberto, Juan Carlos, y especialmente a mis hijos. Mi más profundo reconocimiento a mi Alma Mater, la Universidad Nacional Autónoma de México, a la cual debo lo más importante de mi formación profesional. Agradezco al comité de sinodales Doctores Alberto Búrquez, Fernando Chiang, Nelly Diego, Jorge Meave y Angelina Martínez-Yrizar, por la revisión cuidadosa del manuscrito, lo que permitió mejorar su contenido y presentación.

Por la identificación de especies al Dr. Richard Felger, Dr. Tom Van Devender, Dr. Víctor Steinmann, Drs. John y Charlotte Reeder, Dr. Billie Turner, Dr. George Yatskievych y Dr. Alberto Búrquez Montijo.

Mi agradecimiento a las empresas Minera Libertad S.A. de C.V. y Minera BHP, S.A. de C.V. quienes amablemente nos permitieron hacer uso de su acervo de fotografías aéreas de la región de San Javier para este proyecto. A la comunidad Ejidal de San Javier, Sonora, por facilitarnos el acceso a esa región.

Por la facilitación de diversos aspectos de la logística de campo, a la Sra. Rosario Flores, entonces Presidenta Municipal de San Javier y al Sr. Rogelio Alday, comandante de Policía. Por su apoyo logístico en el trabajo de campo, a Don Rogelio Ruiz y su esposa Doña Rosa De Ruiz, cuya hospitalidad y amena charla, rica en anécdotas y valiosa información etnobotánica local, hizo más estimulantes y placenteras las largas jornadas de revisión y prensado de ejemplares en los atardeceres y noches transcurridos en el agradable porche de su casa en San Javier. Por su ayuda en el trabajo de campo a Erika Lizeth Cocmea y familia, así como a Alejandro Reyes Coronado. A Don Arcadio Burboa, cronista de San Javier, por la información histórica de esa interesante región. Por su valiosa amistad, estímulo y revisión del texto a la Lic. María del Rosario de la Cruz.

Mis amigos y compañeros del Laboratorio del Instituto de Ecología, Unidad Hermosillo, UNAM: Dra. Cristina Peñalba, Dra. Clara Tinoco, Ecol. María de los Ángeles Quintana, Ecol. Martha Marina Gómez, Dr. Martín Ortiz, Ecol. Noelia de la Torre, M.en C. Enriquena Bustamante, M. en C. Carmen Isela Ortega, Ecol. Arturo Romero, M. en C. Silvia Núñez, C.P. María Jesús García, Jesús Duarte Lugo, que me brindaron siempre su apoyo y ayuda incondicional.

El Ecol. Baruk Giovanni Maldonado siempre me tendió una mano y su amistad. Su ayuda fue decisiva en momentos conflictivos del manejo de archivos y algunos análisis. A la C.P. Georgina Escalante y Luis Carlín por su ayuda en el trabajo de campo, así como al Biol. Edgar Beltrán y a la Biol. Rocío Ponce, que me brindaron su valioso apoyo en el proceso de tramitología en Ciudad Universitaria; además de ser los cuatro, unos excelentes compañeros del ciclismo de montaña. Por su ayuda en el armado de la presentación en Power Point a la L.C.C. Claudia Suzette Sánchez.

Agradezco también a todo el personal del Instituto de Geología UNAM Estación Regional Noroeste, especialmente al Dr. José Luis Rodríguez y al Dr. Juan Carlos García Barragán, por sus amenos e interesantes comentarios en torno a la geología de la región de San Javier. A todos ellos mi amistad y agradecimiento.

Mi gratitud y cariño *In Memoriam* a mi entrañable hermana María Benita Varela Espinosa y al Arq. Hugo Cázares Paniagua, por su apoyo incondicional, amistad y aliento en todas las vicisitudes de la vida y en la realización de este trabajo.

Agradezco el apoyo económico obtenido a través de beca de tesis de licenciatura del CONACYT mediante al proyecto Ref. 3285 P-N9608. Parte substancial del apoyo de trabajo de campo provino del proyecto H-122 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

# ÍNDICE

## 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 Vegetación de México.
- 1.2 Vegetación de Sonora.
- 1.3 La Selva Baja Caducifolia y los ecotonos con otras comunidades.
- 1.4 Importancia de los efectos de la topografía sobre la vegetación.
- 1.5 Importancia de la distribución Norte de la selva baja caducifolia.

## 2. OBJETIVOS

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

- 3.1 Sitio de estudio.
- 3.2 Ambiente físico.
  - 3.2.1 Clima.
  - 3.2.2 Aspectos geológicos.
  - 3.2.3 Hidrología.
  - 3.2.4 Elevaciones.
  - 3.2.5 Modelo Digital de Elevación (MDE).
- 3.3 Ambiente biológico.
  - 3.3.1 Florística y biogeografía.
  - 3.3.2 Colecta de especímenes.
  - 3.3.3 Muestreo de vegetación.
- 3.4 Análisis de los datos.
  - 3.4.1 Análisis simple de gradientes.
  - 3.4.2 Generación del sistema de información geográfica (SIG).

## 4. RESULTADOS

- 4.1 Análisis del Modelo Digital de Elevación.
  - 4.1.1 Distribución de la orientación de las pendientes.
  - 4.1.2 Distribución de la inclinación de pendientes.
  - 4.1.3 Generación del mapa de vegetación.
- 4.2 Composición florística.
- 4.3 Estructura de la vegetación.
  - 4.3.1 Frecuencia.
- 4.4 Análisis directo de gradientes.
  - 4.4.1 Cambios en cobertura en el gradiente de elevación: Cobertura total.
  - 4.4.2 Cambios en cobertura en el gradiente de elevación: Cobertura por especie.
  - 4.4.3 Cambios en cobertura en el gradiente de orientación de las pendientes.
- 4.5 Frecuencia y cobertura de las especies en las unidades de muestreo.
  - 4.5.1 Comunidades ribereñas.
  - 4.5.2 Matorrales espinosos.
  - 4.5.3 Selva Baja Caducifolia.
  - 4.5.4 Transiciones de Selva Baja Caducifolia a Encinares.
- 4.6 Estructura vertical de la vegetación (Perfiles de vegetación).
  - 4.6.1 Matorrales.
  - 4.6.2 Comunidades ribereñas.
  - 4.6.3 Selva Baja Caducifolia.
  - 4.6.4 Transiciones de Selva Baja Caducifolia a Encinares.
- 4.7 Riqueza y diversidad.

## 5. DISCUSIÓN

## 6. CONCLUSIONES

## REFERENCIAS

## LISTADO FLORÍSTICO

## RESUMEN

### Estructura y Composición de una Selva Baja Caducifolia en su Límite Norte de Distribución: Sierra de San Javier, Sonora.

Este trabajo presenta los resultados de un estudio de la composición y estructura de la selva baja caducifolia (SBC) en el límite más norteño de su distribución en el continente americano. En esta región, comparte la misma franja latitudinal con el Desierto Sonorense y los matorrales en las elevaciones bajas, y con los encinares y bosques mixtos de pino-encino en los sitios más elevados en la Sierra Madre Occidental. El área de estudio comprende 10,800 ha en la región de la Sierra de San Javier, Sonora. Cubre un extenso gradiente geomorfológico de elevación (460-1300 m), orientación e inclinación de laderas que permitieron la aplicación del análisis directo de gradientes. Se trabajó con leñosas con más de 10 cm de circunferencia utilizando el método de intersección lineal (líneas de Canfield) para describir la estructura y composición de la vegetación en relación con estos gradientes espaciales.

Los resultados muestran las respuestas de la comunidad vegetal en cuanto a composición y estructura en el accidentado relieve de la región, cuya diversidad espacial se ve reflejada en la diferenciación de cinco unidades de vegetación incluyendo la SBC, matorral, transiciones SBC/encinar, vegetación ribereña, pastizales naturales y pastizales inducidos. El tipo de vegetación predominante en el área es la SBC con variadas expresiones y desarrollo vertical diverso, teniendo una relevante presencia en las elevaciones medias, en donde dominan las coberturas de especies como *Lysiloma divaricatum*, *Jatropha cordata*, y *Chloroleucon mangense*, así como la de *Croton flavescens* en el sotobosque. En las elevaciones altas y bajas, la cobertura muestra valores menores, mientras en toda la comunidad la riqueza de especies tiende a disminuir con la elevación. Las especies dominantes de la SBC presentan amplios rangos de tolerancia a la orientación de laderas, mientras que algunas especies muestran una clara tendencia en ubicarse en una sola orientación, elevación o combinación de ambas. El reemplazo de especies muy relacionadas es evidente a lo largo de estos gradientes. Tal es el caso de las cuatro especies del género *Bursera* que se excluyen mutuamente a lo largo de estos ejes de variación geomorfológica.

Las zonas de baja elevación se caracterizan por la presencia de matorrales donde las coberturas más relevantes las proporcionan especies como *Brogniartia alamosana*, *Haematoxylon brasiletto* y *Guazuma ulmifolia* así como *Taxodium distichum* y otras especies ribereñas que están confinadas a los sitios muy húmedos de las márgenes de los arroyos y los cañones.

Se generó un listado florístico, con un total de 444 especies y 302 géneros en 97 familias.



## 1. INTRODUCCIÓN

En América, el límite Norte del Neotrópico está situado en el lado occidental del continente, en una transición más o menos abrupta entre los 28° y 32° de latitud Norte, ocho a diez grados más al Norte que en la costa oriental de México (Van Devender *et al.* 2000). Estos límites entre la biota tropical y subtropical se ubican dentro del estado de Sonora, una región que también incluye uno de los sitios más áridos de Norteamérica, el Desierto Sonorense (Steinmann y Felger 1997). Las comunidades tropicales del Noroeste de México están representadas por la vegetación de selvas medianas subcaducifolias que se encuentran en algunos cañones aislados y por la selva baja caducifolia (SBC) que está dispuesta como una banda de espesor variable a lo largo de la vertiente occidental de la Sierra Madre Occidental. En un sentido amplio, podrían también incluirse los matorrales y dos de las siete subdivisiones del mismo Desierto Sonorense (Búrquez *et al.* 1999). Sin embargo, en un sentido estricto, las comunidades tropicales mejor representadas en Sonora son las de selva baja caducifolia. Estas comunidades se caracterizan por tener árboles de baja estatura y por estar limitadas por una severa sequía invernal durante la cual la gran mayoría de los árboles pierde completamente las hojas (Miranda y Hernández X. 1963, Rzedowski 1978).

Estas características particulares la diferencian de otros tipos de vegetación con los que se relaciona regionalmente en la misma banda latitudinal, como son el bosque de encino, el bosque de pino, el pastizal, el matorral espinoso y la vegetación del Desierto Sonorense. La selva baja caducifolia en Sonora se distribuye en el piedemonte y las estribaciones Oeste de la Sierra Madre Occidental.

Los estudios florísticos y estructurales son de gran importancia para entender el entorno biogeográfico y la dinámica de la comunidad y del ecosistema. Entre los estudios botánicos más importantes en la región de la Sierra Madre Occidental en Sonora se encuentra el estudio pionero de Gentry (1942), que analiza la dinámica

ecológica de la vegetación de la cuenca del Río Mayo. Una reciente revisión de su trabajo por Martin *et al.* (1998) muestra la enorme riqueza florística de esta región, ya que reportan casi 4,000 especies distribuidas en un gradiente altitudinal de más de 2,000 m. Parte de esta riqueza puede explicarse por el gran desarrollo vertical de la sierra, lo que permite el establecimiento de diferentes tipos de vegetación. También la variación local juega un importante papel. Por ejemplo, Goldberg (1982, 1985) demostró la relación que existe entre los suelos ácidos mineralizados y la presencia de parches de encinar y de bosque de pino-encino en la SBC en bajas elevaciones. Otros dos trabajos pioneros sobre la dinámica de las comunidades vegetales del extremo Norte de la Sierra Madre occidental fueron el de White (1948), quien documentó la vegetación y la flora del río Bavispe en el norte del estado, y el de Marshall (1957), quien describió los bosques de pino-encino de las sierras de la mitad norte del estado de Sonora. Estos dos trabajos describen la vegetación en el extremo norte de la sierra, donde las comunidades tropicales están pobremente representadas por haber alcanzado su límite boreal. Más recientemente, han sido descritos los cambios en la vegetación a lo largo de un gradiente altitudinal en el centro de Sonora, partiendo desde las comunidades de vegetación del Desierto Sonorense hasta los bosques de pino y pino-encino en la sierra alta, pasando por la SBC en las elevaciones medias (Búrquez *et al.* 1992). La descripción de la vegetación en un gradiente espacial en el Sur de Sonora llevado a cabo por Van Devender *et al.* (2000) muestra el cambio gradual de la vegetación desde un matorral denso en la costa hasta matorral abierto tierra adentro y selvas bajas en las montañas.

A pesar de estos estudios, se requiere conocer más sobre la SBC en su extremo más norteño en el continente, ya que poco se conoce sobre su estructura y composición en relación con otras selvas secas de México y del mundo. El estudio de estas selvas bajas norteñas, también ofrece oportunidades de probar hipótesis al contrastar estas comunidades menos complejas con sus contrapartes más sureñas, porque son indicadores de cambio global al permitirnos medir la expansión o contracción de las áreas de distribución de los grupos de especies sensibles a cambios en temperatura y precipitación y, sobre todo, porque están en un intenso proceso de degradación

causado principalmente por la ganadería, la silvicultura sin regulaciones y los desmontes para pastizales (Búrquez y Martínez-Yrizar 1997).

En el presente trabajo se analiza la estructura y composición de la SBC en una localidad en Sonora que marca el límite Norte de distribución de la selva en el continente americano. Se examina la variación de la vegetación en relación con los gradientes espaciales, evaluándose la distribución de las elevaciones, orientaciones y grados de pendiente, y observando cuál es la respuesta de la vegetación a estas variables.

### **1.1 Vegetación de México**

Los principales biomas terrestres están constituidos por comunidades de organismos particulares y son reflejo de las condiciones climáticas y morfológicas regionales. La vegetación es un atributo tan característico dentro de los biomas, que es usual que se utilice para la clasificación de las comunidades terrestres más que los rasgos del medio físico. Por otra parte, la vegetación dentro de ecosistema constituye un importante componente fácilmente reconocible que aporta una gran información sobre el mismo, por lo que se emplea usualmente para delimitar unidades ecológicas homogéneas (Matteucci y Colma 1982).

Tal como apunta Rzedowski (1978), en nuestro país están representados prácticamente todos los biomas terrestres del planeta, desde los desiertos hasta las densas selvas, incluyendo la vegetación de alta montaña en los páramos alpinos. El mismo autor señala, como razón fundamental de la riqueza florística de México a la amplia variedad de condiciones fisiográficas, climáticas y distribución geográfica, en donde se conjugan la diversa topografía del país con su gran variación altitudinal, su ubicación a ambos lados del Trópico de Cáncer y la influencia oceánica derivada de la estrechez de su masa continental. El mismo autor discute que esta gran diversidad de biomas no responde únicamente a la amplia variación y combinaciones que presentan las condiciones fisiográficas y climáticas del país, sino también a factores históricos que hicieron que en nuestro país se encontraran el Reino Neotropical con el Neártico.

## 1.2 Vegetación de Sonora

Por su gran extensión territorial y variada orografía, en el estado de Sonora concurren diferentes biomas. Así, existen diferentes pisos altitudinales que inician en los manglares de la costa del Golfo de California, se internan tierra adentro en la subdivisión "Costa Central del Golfo" del Desierto Sonorense, pasan por diferentes expresiones del desierto a los pastizales desérticos, los matorrales, la selva baja caducifolia, los encinares, los bosques mixtos de pino-encino, y los bosques de coníferas en los picos montañosos (Shreve 1951, Felger y Moser 1985, Búrquez y Martínez-Yrizar 1997). De hecho, el paisaje sonorense se compone de una gran cantidad de biomas que incluyen varios de los más importantes tipos de vegetación de México (Gentry 1942, White 1948, Marshall 1957, Rzedowski 1978, Brown y Lowe 1980, Brown 1982, Búrquez *et al.* 1992).

Se estima que la flora de Sonora incluye entre 4,500 y 5,000 especies, lo que significa la concentración entre el 15 y el 20% de la flora Mexicana en tan sólo 10% del área del país (Rzedowski 1991, Felger *et al.* 2001). Basta considerar que más de un tercio de la subprovincia biogeográfica descrita por Shreve (1951) como Desierto Sonorense se encuentra dentro de los límites del estado, y que cinco de las siete mayores subdivisiones vegetales del Desierto Sonorense se encuentran mejor representadas en Sonora que en cualquier otra entidad federativa, por lo que se puede asegurar que la diversidad de especies encontrada en la porción del Desierto Sonorense dentro de este estado es mayor que en casi cualquier otro desierto del mundo de acuerdo con Búrquez *et al.* (1999). Estos mismos autores señalan que en buena medida la gran diversidad vegetal del Desierto Sonorense obedece a su amplia variación topográfica y al grado de continentalidad que se presenta en sus límites, cuyos efectos combinados crean un mosaico complejo de asociaciones vegetales influenciadas por las distintas condiciones edáficas y climáticas.

En sus límites Noreste y Este, el Desierto Sonorense es reemplazado por el matorral desértico Chihuahuense y por pastizales y encinares abiertos. Hacia el Noroeste se encuentra el seco y menos variado Desierto de Mojave. A lo largo de su frontera más

norteña se extiende una extensa banda de chaparral. Al Este se despliega la Sierra Madre Occidental, hacia el Oeste el Mar de Cortés y el Océano Pacífico. En el Sur, son claras las transiciones del desierto hacia el matorral espinoso y la SBC, lo que hace a la región sureña del Desierto Sonorense rica en elementos tropicales (Crosswhite y Crosswhite 1982, Búrquez *et al.* 1999).

### **1.3 La selva baja caducifolia y los ecotonos con otras comunidades**

La selva baja caducifolia comprende un conjunto heterogéneo de comunidades características de clima cálido y con una marcada estacionalidad en la precipitación. Están dominadas por especies arbóreas que pierden las hojas durante la temporada seca del año por un periodo que va de los cuatro a ocho meses, siendo este su atributo fenológico más notable (Rzedowski 1978, Miranda y Hernández X. 1963). A la SBC se le ha ubicado en un gradiente de mayor a menor humedad entre el bosque tropical subcaducifolio y el bosque espinoso. Este tipo de vegetación ha sido denominado de diferentes maneras por otros autores: Gentry (1942) le llamó "short tree forest", Hastings y Turner (1965) "shrubby tree jungle", Leopold (1950) y varios otros autores "tropical deciduous forest" y Rzedowski (1978) "bosque tropical caducifolio".

Las selvas bajas caducifolias representan cerca del 42% del área continental mundial con clima tropical y subtropical (Murphy y Lugo 1995), siendo uno de los ecosistemas tropicales más amenazados por la acción humana. Hasta recientemente se estimaba que en Mesoamérica tan sólo el 0.1% de la extensión original del bosque tropical seco contaba con algún estatus oficial de protección (Janzen 1988). Sin embargo, en relación con su cobertura e importancia biológica y económica, son pocos los trabajos monográficos de carácter ecológico realizados en ellos (Murphy y Lugo 1986, Maass *et al.* 1988, Martínez-Yrizar y Sarukhán 1990, Martínez-Yrizar 1995, Martínez-Yrizar *et al.* 1996, Trejo 1998, Trejo y Dirzo 2000, Maass *et al.* en prensa).

La SBC en América se extiende desde el Norte de Brasil, pasa por Centroamérica y llega hasta el Noroeste de México. En nuestro país su distribución geográfica es particularmente característica de la vertiente del Pacífico Mexicano (Rzedowski 1978),

principalmente entre la costa del Océano Pacífico y el piedemonte de la porción costera de la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre Occidental, desde el Este de la parte central de Sonora y Oeste de Chihuahua hasta Chiapas. Se le encuentra también en la porción Sur de Baja California Sur y en la Península de Yucatán (Gentry 1942, Rzedowski 1978, Arriaga y León de la Luz 1989, Trejo 1998, Trejo y Dirzo 2000).

En cuanto a la vegetación e importancia florística de la SBC, se considera que la mayor proporción de endemismos se concentra en la Cuenca del Balsas, en la Península de Yucatán y en el Noroeste de México (Rzedowski 1978). En términos biogeográficos la flora de la SBC muestra gran abundancia de elementos neotropicales y escasa presencia de los holárticos (Rzedowski 1978). La estructura vertical de este tipo de vegetación consiste de un solo estrato arbóreo, sin embargo, puede mostrar dos y aisladamente algunos árboles emergentes (Gentry 1942, Rzedowski 1978). La altura de los árboles se encuentra entre los 5 y 15 m, siendo los más frecuentes entre los 8 y 12 m.

La SBC se encuentra usualmente debajo de los 1,500 m de elevación, integrándose hacia arriba con los bosques de encinos y pinos e imperceptiblemente con el matorral espinoso desde el nivel del mar en las costas tropicales de México (Trejo 1998). Sin embargo, su distribución altitudinal se reduce en el límite de su distribución a la franja entre los 500 y 1,200 m (Gentry 1942, Búrquez *et al.* 1992, Búrquez *et al.* 1999). Como consecuencia de su marcada respuesta a la elevación, tanto la temperatura como la precipitación anual constituyen factores ecológicos determinantes de la distribución geográfica de la SBC.

El régimen de temperatura de las SBC es muy variable. De acuerdo con un estudio realizado por Trejo (1998), el gradiente térmico donde se encuentran las SBC en el país cubre desde los 18 a los 28°C de temperatura media anual, aunque la mayor proporción de estas selvas se concentra en el intervalo de 22 a 26°C, incluyendo principalmente climas cálidos subhúmedos ( $Aw_0$ ), y marginalmente los semiáridos cálidos ( $Bs_1$ ), cálidos subhúmedos de humedad intermedia ( $Aw_1$  y  $Aw_2$ ), semicálidos

subhúmedos  $A(C)w_0$  y  $(A)Cw_0$ , una pequeña porción en climas semiáridos y semicálidos (BS,) y otros climas, siendo estos desde isotermales a extremos. Sin embargo, la isoterma mínima extrema de  $0^{\circ}\text{C}$  determina la extensión de la distribución de estas comunidades, ya que la mayoría de las especies no toleran temperaturas por debajo del punto de congelación (Rzedowski 1978). Respecto a la precipitación, estas selvas están presentes desde regímenes muy áridos hasta muy húmedos, siendo lo más importante la distribución de la lluvia en dos eventos separados; las lluvias de invierno generalmente escasas o ausentes y las abundantes lluvias monzónicas de verano normalmente menores a los 1,000 mm anuales.

Aunque se les encuentra en una variedad de suelos que van desde suelos derivados de calizas hasta suelos volcánicos, la SBC manifiesta una marcada preferencia por suelos someros y pedregosos. Generalmente, parecen restringirse a las laderas de los cerros, y no se le encuentra comúnmente en las planicies aluviales de suelos más profundos, en donde son substituidas por matorrales espinosos o sabanas, ni en las cañadas, donde se desarrollan selvas medianas subcaducifolias.

#### **1.4 Importancia de los efectos de la topografía sobre la vegetación**

Los rasgos topográficos tienen un efecto muy importante en la distribución de la vegetación. Esto se debe principalmente al gradiente maestro que crea el desnivel de elevación, el cual está acompañado por cambios muy importantes en temperatura y precipitación. Asimismo, tanto la orientación de las pendientes como su inclinación están relacionadas con el grado de insolación, creando el fenómeno conocido como efecto de ladera (Whittaker 1975).

Las selvas que alcanzan las mayores elevaciones están limitadas por las bajas temperaturas, por lo que existe un techo de elevación en el cual pueden crecer estas selvas, mientras que en las bajas elevaciones probablemente la mayor limitante sea la disponibilidad de agua.

Por otra parte, la orientación de las pendientes es un rasgo del relieve de significancia a nivel del mesoclima debido a la exposición diferencial de las laderas a la radiación solar, a los vientos dominantes y posiblemente a otros factores. Así, tenemos que en el hemisferio boreal, una ladera con orientación Norte recibe menor radiación solar que una con exposición Sur, con el resultado de que en el primer caso las condiciones son de carácter más húmedo y fresco que en las segundas (Whittaker 1975, Billings 1978). Además de la orientación, el ángulo de inclinación de las laderas genera gradientes adicionales que se manifiestan en las tasas de erosión, en las características del suelo y en su capacidad de infiltrar y retener agua y nutrientes.

En combinación con los gradientes directamente inducidos por la topografía, pueden presentarse otros, como son las diferencias en el tipo de suelo. En este sentido, Goldberg (1982) analiza la distribución en parches de las comunidades de encinar abierto y selva baja caducifolia en función de los afloramientos de suelos ácidos de origen volcánico alterados por acción hidrotérmica en una localidad de la Sierra Madre Occidental en Sonora central. Shreve (1942) destaca las diferencias de la cobertura vegetal entre áreas de suelo profundo y otras contiguas de suelo somero con abundantes piedras y grava, siendo en este último por lo general mayor la biomasa, el número de especies y de formas biológicas y, por tanto, la complejidad de la vegetación.

### **1.5 Importancia del límite de la distribución Norte de la SBC**

En la región serrana del Noroeste de México existen condiciones de particular importancia respecto a la riqueza de especies como consecuencia de su ubicación y diversa topografía. En esta latitud confluyen ampliamente las provincias biogeográficas Neotropical y Neártica. En Sonora, en esta región la SBC se presenta como una comunidad límite en su intervalo de distribución en el continente Americano (Búrquez *et al.* 1992, 1999), formando una variada y densa cubierta vegetal en la vertiente Oeste de la Sierra Madre Occidental, desde el Sur del estado hasta los 30° N, en elevaciones que van de los 250 a los 1,200 m. En estos sitios la SBC se asocia con el matorral desértico y el bosque espinoso en las partes bajas, y arriba con el bosque de encino



(Martínez-Yrizar *et al.* 2000). Existen pocos trabajos comparativos entre estas SBC y las de otras latitudes, por lo que es importante conocer las diferencias más notables en cuanto al funcionamiento, a la estructura del bosque y composición de especies, así como su relación con otros tipos de vegetación.

## **2. OBJETIVOS**

El propósito del presente trabajo fue realizar una descripción florística y estructural de una selva baja caducifolia en su límite Norte de distribución en América, y generar un listado florístico preliminar para la región. En particular se abordan los siguientes aspectos:

- a) Análisis de la estructura y composición de la SBC en sitios representativos de los gradientes de elevación, orientación e inclinación de laderas en la zona de estudio.
- b) Análisis del grado de variación en composición y estructura entre sitios de SBC en el límite Norte de su distribución.
- b) Análisis de la distribución de la SBC en relación con otras comunidades vegetales asociadas en el área.
- c) Generación de un listado florístico para la región.
- f) Recomendaciones para la conservación del área.

(Martínez-Yrizar *et al.* 2000). Existen pocos trabajos comparativos entre estas SBC y las de otras latitudes, por lo que es importante conocer las diferencias más notables en cuanto al funcionamiento, a la estructura del bosque y composición de especies, así como su relación con otros tipos de vegetación.

## **2. OBJETIVOS**

El propósito del presente trabajo fue realizar una descripción florística y estructural de una selva baja caducifolia en su límite Norte de distribución en América, y generar un listado florístico preliminar para la región. En particular se abordan los siguientes aspectos:

- a) Análisis de la estructura y composición de la SBC en sitios representativos de los gradientes de elevación, orientación e inclinación de laderas en la zona de estudio.
- b) Análisis del grado de variación en composición y estructura entre sitios de SBC en el límite Norte de su distribución.
- b) Análisis de la distribución de la SBC en relación con otras comunidades vegetales asociadas en el área.
- c) Generación de un listado florístico para la región.
- f) Recomendaciones para la conservación del área.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Sitio de estudio**

El estudio se realizó en la región centro-oriental de Sonora, México, en el extremo Suroeste de la sierra El Aliso, a 25 km al Oeste del río Yaqui, en la región denominada Sierra San Javier, que incluye al poblado del mismo nombre, con las coordenadas 28° 36' N y 109° 44' W, aproximadamente 4 km al Norte del km 140 de la carretera federal No.16 Hermosillo-Yécora. Como zona de trabajo se ubicó un rectángulo de 9 y 12 km de lado, que comprende un área de 108 km<sup>2</sup> (10,800 ha); Está delimitado arbitrariamente por las siguientes coordenadas geográficas 109° 48' W y 28° 38' 30" N; 109° 42' 30" W y 28° 38' 30" N; 109° 42' 30" W y 28° 32' N; 109° 48' W y 28° 32' N (Figuras 1 y 2).

#### **3.2 Ambiente Físico**

##### **3.2.1 Clima**

De acuerdo con la información de la estación meteorológica San Javier, situada en el centro del área de trabajo, en la cota de los 750 m, la temperatura media anual es de 18.7 °C, con una precipitación media anual de 638.2 mm (García 1978). El clima del área se clasifica como semicálido templado con verano caliente, con régimen de lluvias con predominancia de las lluvias de verano y escasas lluvias de invierno, muy extremo, con una oscilación térmica de 14.2 °C, (A)Ca(w<sub>o</sub>)(x')(e'), de acuerdo con García (1978). En las partes altas de las montañas los climas son de tipo templado (Cw) con presencia de heladas, mientras que en las partes más bajas se encuentran climas tipo B, principalmente esteparios desérticos tipo Bw<sub>0</sub>.

Con los datos de clima se calculó el índice higrotérmico de Martonne en 22.2, el cual resulta del cociente de la precipitación total anual entre la temperatura media más 10 (Margaleff 1974). El valor del índice para este sitio se ubica entre los subtropicales, muy por arriba del índice de 7.0 para el Desierto Sonorense en la estación de Hermosillo. El aspecto más relevante del clima regional en relación con la vegetación, es la marcada estacionalidad de la época de lluvias con dominancia de la lluvia de verano. El climograma de la región (Figura 3) muestra que las lluvias de verano se

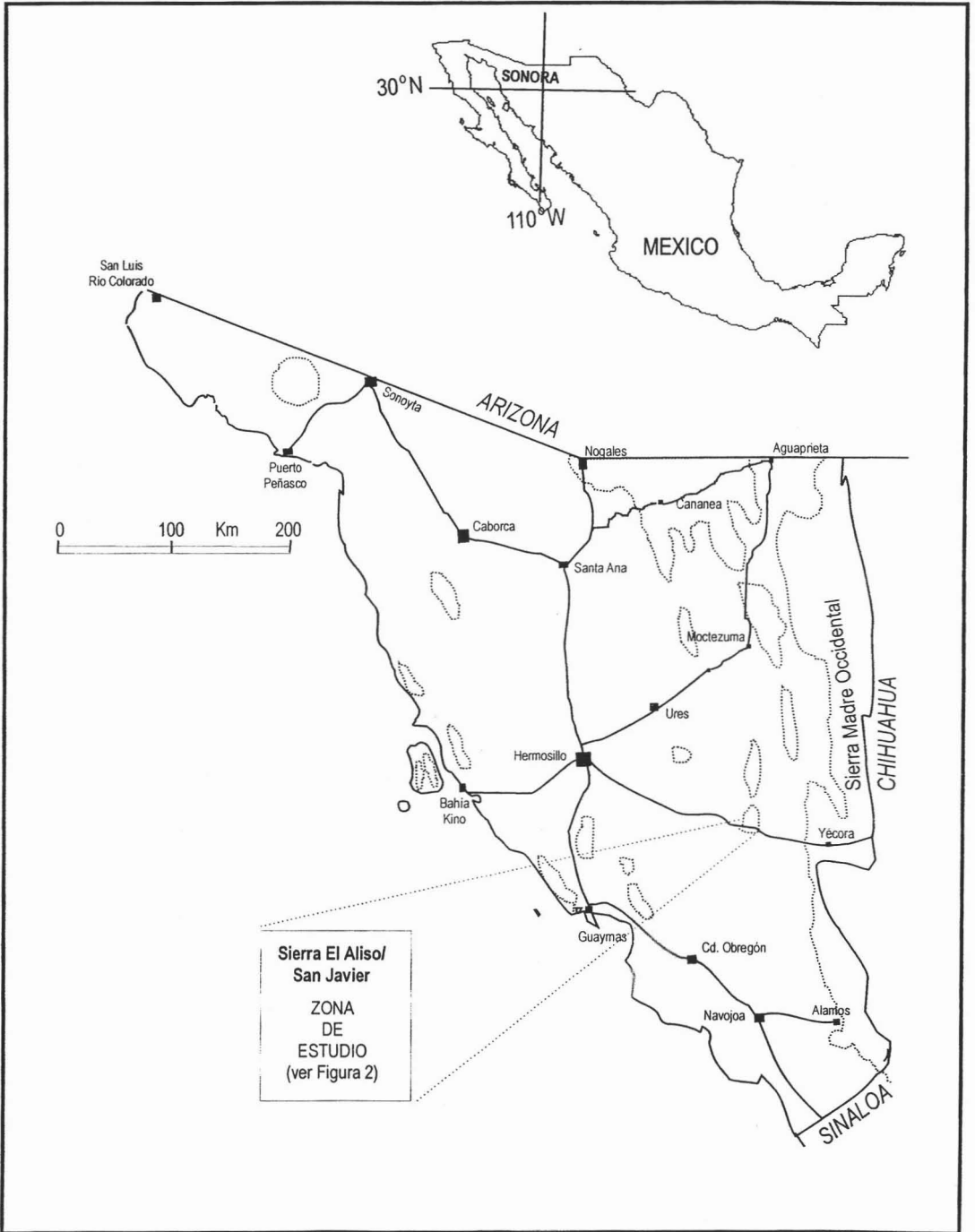
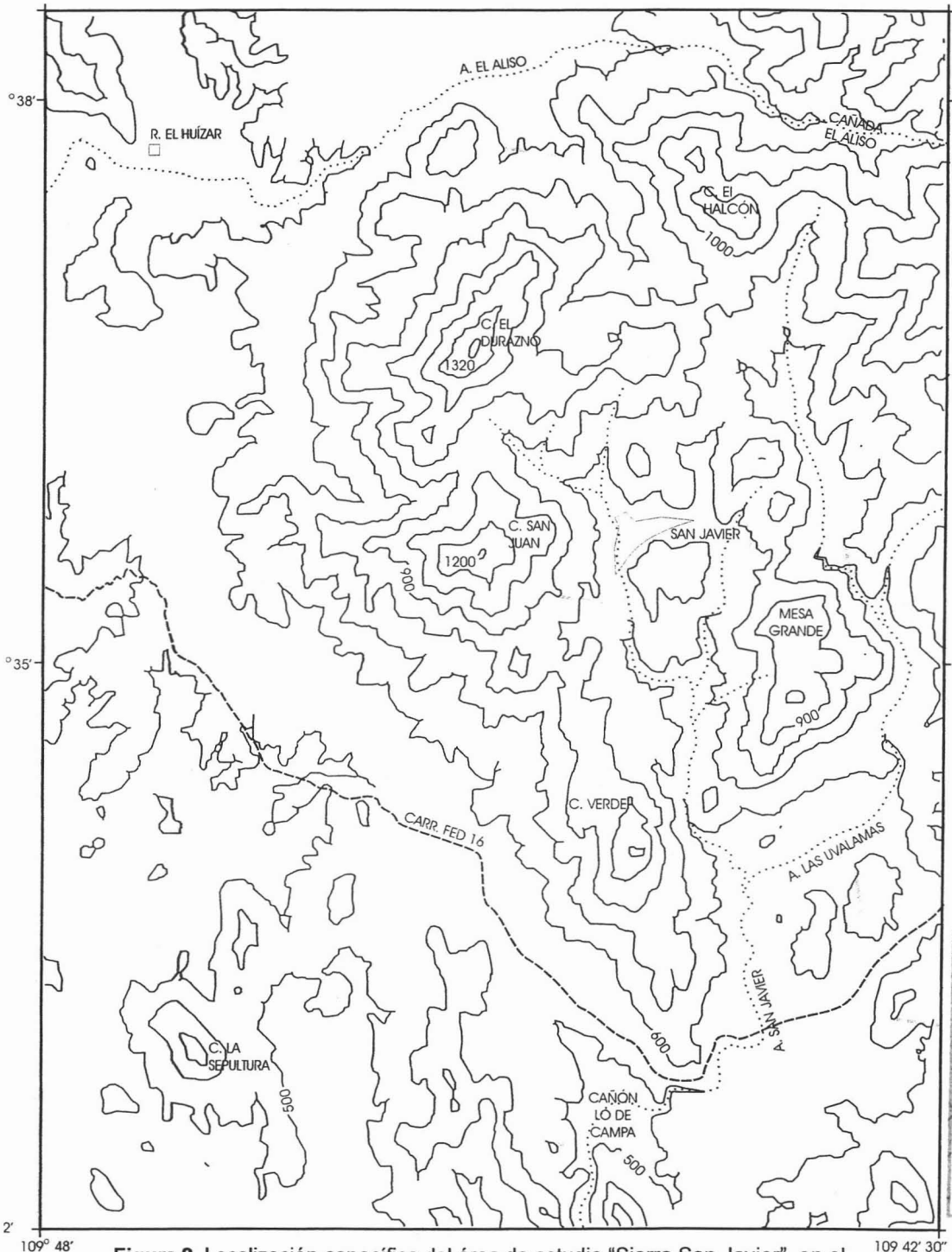


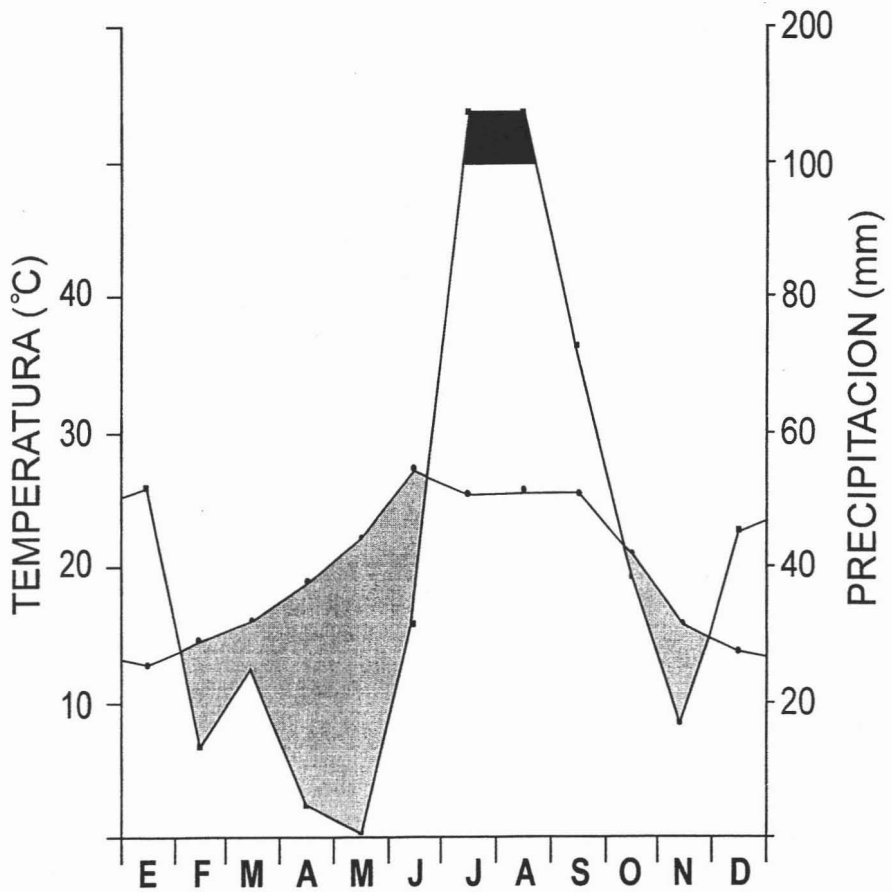
Figura 1. Localización del área de estudio en México y en el estado de Sonora. Las líneas punteadas indican la cota de 500 m.

TESIS CON  
 PAT A DE ORICEN



TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN

**Figura 2.** Localización específica del área de estudio "Sierra San Javier", en el extremo sudoeste de la Sierra de El Aliso. Equidistancia entre curvas de nivel, 100 m. Las líneas punteadas indican los principales arroyos. Escala 1:50,000.



**Figura 3.** Climograma de San Javier, Sonora. Temperatura promedio anual = 18.7 °C. Precipitación promedio anual = 638.2 mm. Altitud = 750 m (García 1978).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

presentan en promedio de junio a octubre. Durante este periodo se registra un promedio de precipitación de 507.4 mm, representando el 80% del total anual. Las lluvias de invierno, conocidas regionalmente como equipatas, se presentan en menor medida (del 12 al 15% del total anual), y usualmente de mediados de diciembre a mediados de febrero, pudiendo incluso no presentarse en años muy secos. La temporada de sequía puede variar de cuatro a seis meses (otoño-primavera).

### **3.2.2 Aspectos geológicos**

La región de la Sierra de San Javier y El Aliso está constituida principalmente por rocas sedimentarias paleozoicas y triásicas. En el extremo Oeste del área se ubica la zona de contacto entre las rocas volcánicas de la formación Tarahumara y el batolito Sierra de San Javier, localidad tipo del grupo Barranca (Stewart y Roldán-Quintana 1991). Los suelos del área son someros y pedregosos. En la zona se presentan parches de suelos ácidos alterados por acción hidrotérmica (la mineralización en solución acuosa caliente generalmente asociada al magmatismo; White 1957) que se reflejan en cambios característicos en la vegetación, situación documentada para la región general por Goldberg (1982) y Búrquez *et al.* (1992).

### **3.2.3 Hidrología**

La región en la que se ubica la zona de estudio pertenece a la Provincia Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Valles del Norte, Región Hidrológica RH9 Sonora Sur, cuenca del Río Yaqui (INEGI 1993). En el área de estudio todos los escurrimientos son intermitentes excepto en un corto tramo del arroyo San Javier, donde en la época seca, las filtraciones permiten un cierto flujo superficial en un cañón conocido como Cañón de Campa. En el extremo Noreste, en la sierra El Aliso, nace el arroyo del mismo nombre, cuyo escurrimiento corre con dirección Oeste bordeando al cerro El Durazno colectando escorrentías menores de la misma y las provenientes del Norte de la región como el arroyo Las Lajas. Este último ingresa a la zona por su esquina Noroeste y confluye con el arroyo El Aliso al Sur del rancho El Huisar; desciende al Sur con el nombre de arroyo El Pajarito por fuera del margen Oeste del área de estudio, colectando los drenajes menores de la vertiente Oeste-Suroeste del cerro San Juan.

En la porción central del tercio superior de la zona, los escurrimientos que nacen en las cañadas de las vertientes Sur de los cerros El Halcón y El Durazno dan lugar al arroyo San Javier conocido también en su nacimiento como Arroyo La Nahuila. Éste pasa por el poblado San Javier, desciende al Sur entre los cerros San Juan, Mesa Grande y Cerro Verde más al Sur, donde se le une el arroyo Las Uvalamas, el cual nace con el nombre de Arroyo El Mimbres o La Tranvía en las cañadas altas, entre los cerros La Aurora y El Carrizo al Noreste de la zona, y que en su paso por las profundas barrancas de la vertiente Este del cerro La Aguja, toma el nombre de arroyo El Carbón.

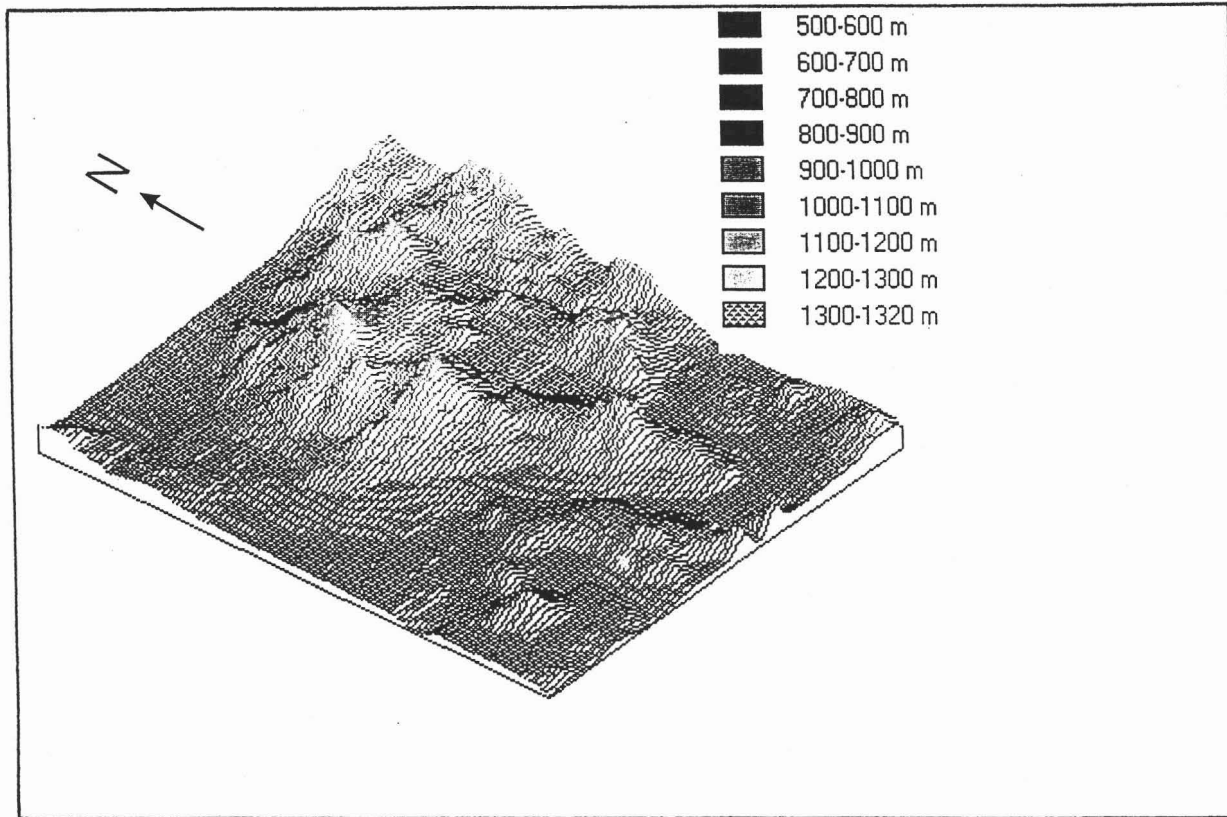
El arroyo San Javier, en su trayecto al Sur cruza la carretera 16, ya en tierras más bajas (en la cota de 500 m), saliendo de la zona de estudio en su límite sureño por el Cañón de Campa, colectando antes los escurrimientos de la vertiente Oeste del Cerro Verde (Figura 2). Fuera de la zona de estudio, el arroyo San Javier se une más adelante con el arroyo El Pajarito, integrándose después al río Tecoripa para unirse más al Sur con el río Yaqui en su camino al Golfo de California.

### **3.2.4 Elevaciones**

La Sierra de San Javier corresponde a un macizo montañoso que comprende el cuadrante SW de la Sierra del Aliso. La zona de estudio presenta elevaciones que van desde los 460 m a los 1,320 m, cubriendo un intervalo de 860 m e incluyendo vertientes con diversa orientación geográfica. Las mayores elevaciones corresponden a los cerros El Durazno (1,320 m), y el San Juan (1,200 m) localizados en el centro de la zona de estudio, seguidos por el cerro El Halcón (1,160 m) en el extremo Noreste, y hacia el Sur por los cerros El Verde a 1,200 m, Mesa Grande con 1,020 m y la sepultura con 740 m (Figura 2).

Varios cañones con agua permanente y escasa insolación están presentes en la zona de estudio. Entre éstos destacan el cañón El Aliso y el Cañón de Campa. En la zona central del área de estudio se encuentra el cerro San Juan, con 1,200 m de elevación, en cuyas laderas se ubica el poblado de San Javier en la cota de los 750 m. Esta abrupta topografía se muestra en el ortomapa de la Figura 4, donde se puede observar





**Figura 4.** Ortomapa de la zona de estudio, en donde se aprecia la accidentada topografía del área, lo que determina un marcado gradiente de elevación en su eje Norte-Sur y diversas orientaciones de ladera. Las elevaciones más bajas corresponden a la cota de 460 m, mientras que el pico más alto alcanza los 1320 m.

que la zona de estudio es un complejo mosaico de geoformas que determinan una gran variedad de exposición de laderas, pero con una dominante inclinación en su eje Norte-Sur.

### **3.2.5 Modelo digital de elevación (MDE)**

Para modelar la geomorfología regional, se utilizó el modelo digital de elevación distribuido por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) con resolución de 3 segundos de arco por píxel (82 m aproximadamente a los 28° 30' de latitud Norte). El análisis del modelo permitió evaluar la distribución de las diferentes elevaciones, orientaciones y grado de pendiente de las laderas. Esta información se utilizó para describir el área de estudio y para elaborar posteriormente un modelo geomorfológico simple de la distribución potencial de la vegetación basada únicamente en combinaciones de características topográficas utilizando el programa de análisis geográfico IDRISI (Eastman 1997).

## **3.3 Ambiente Biológico**

### **3.3.1 Florística y biogeografía**

El tipo de vegetación predominante en el sitio de estudio es la selva baja caducifolia en sus límites boreales dentro del continente americano. En la región de estudio este tipo de vegetación se alterna con el bosque de encino en los sitios altos y con el matorral espinoso en las zonas bajas, tal como lo han descrito para la región Búrquez *et al.* (1999).

### **3.3.2 Colecta de especímenes**

Se realizó la colecta e identificación de material botánico en 41 localidades distribuidas en la zona de estudio, tratando de cubrir las áreas más representativas de la vegetación en diferentes elevaciones y ambientes. Los sitios de muestreo se localizaron con un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) Magellan Nav 5000 Dx y la carta topográfica Tecoripa/H12D64 escala 1:50,000 del INEGI (1984). Con esta información se elaboró un listado florístico para la región, integrándolo en un banco de

datos en formato de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

### 3.3.3 Muestreo de la vegetación

Para el análisis estructural de la vegetación se utilizó el método de intersección lineal conocido como línea de Canfield (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974). En total se obtuvieron 74 unidades de muestra de 30 m cada una, que representan 2,220 m lineales de muestreo que permitieron estimar los valores de cobertura de las especies arbóreas y arbustivas. Los sitios de muestreo se distribuyeron en un intervalo de elevación de 460 m a 1200 m. En cada unidad de muestra se cuantificó la cobertura por especie, la cobertura total de la vegetación y el espacio abierto sin cobertura vegetal con las siguientes convenciones:

Cobertura por especie = Cobertura lineal de la especie / longitud total de la línea de intersección (30 m).

Espacio abierto = long. sin cobertura / long. total de la línea de intersección (30 m)

Cobertura vegetal total por línea de intersección =  $\sum_{i=1}^S sp_i$

Donde  $sp_i$  es la fracción de la cobertura total que la especie en particular  $s$  representa en la línea de intersección, y  $S$  es el número total de especies que aparecieron en la línea.

Las líneas de intersección o unidades de muestra, se utilizaron como valores individuales para el análisis simple de gradientes (pues cada línea tiene asociado un grupo único de variables topográficas, climáticas y edáficas). En el caso de la estimación de la dominancia, las líneas se agruparon en cuatro tipos generales de vegetación: matorrales, SBC, transiciones a encinar y vegetación ribereña.

Ya que adicionalmente se tomaron valores de la estatura de los individuos en cada línea, se dibujaron perfiles esquemáticos de vegetación con objeto de ilustrar algunos de los aspectos que se consideraron útiles destacar en el análisis de cobertura y composición.

Para localizar las unidades de muestreo se utilizó un diseño arbitrario y tratando de maximizar la variación ambiental para obtener muestras representativas de las principales zonas de vegetación, del intervalo de elevación del terreno y de la orientación de las pendientes, incluyendo las zonas ribereñas. En todos los casos la georreferencia de los sitios se realizó con GPS y la carta topográfica. Los rumbos e inclinación de las líneas de intersección en las laderas se obtuvieron con una brújula Bronton. La identificación del material botánico se realizó en el laboratorio del Instituto de Ecología, Unidad Regional Noroeste, Universidad Nacional Autónoma de México y con el apoyo del Dr. Richard S. Felger del Drylands Institute Tucson Arizona, del Dr. Thomas Van Devender del Museo del Desierto Arizona-Sonora, Tucson Arizona, el Dr. Alberto Búrquez del Instituto de Ecología UNAM, Hermosillo, Sonora, del Dr. Víctor Steinmann del Instituto de Ecología A.C. Pátzcuaro, Michoacán, el Dr. Billie L. Turner de la Universidad de Texas, Austin Texas, Dr. George Yatskievych del Missouri Botanical Garden, y los Drs. John y Charlotte Reeder del Herbario de la Universidad de Arizona, Tucson Arizona.

### **3.4 Análisis de los datos**

#### **3.4.1 Análisis simple de gradientes**

Con base en la localización de cada sitio se asignó un valor de elevación, orientación y grado de pendiente a cada unidad de muestreo, basándose en el modelo digital de elevación. Estos valores se utilizaron como variables independientes para relacionarlas con la cobertura de cada especie y producir un análisis simple de gradientes.

#### **3.4.2 Generación del sistema de información geográfica (SIG)**

Para generar el sistema de información geográfica se utilizó como base el modelo digital de elevación. Sobre esta base se añadieron elementos obtenidos de imágenes, información local y observación directa en el campo.

Se digitalizaron 20 fotografías aéreas de la región de San Javier (abril 1995), en escala 1:25,000 con una resolución de 300 pixeles por pulgada. Se utilizó solamente el 30.2% central de la imagen para reducir el error de paralaje topográfico.

Posteriormente, se corrigieron por un método digital de ensayo y error para aproximar el plano fotográfico a una proyección ortogonal sobre al plano topográfico. Se integraron las 20 imágenes en una sola que cubría las coordenadas del área de estudio. La resolución de esta imagen se hizo equivalente a la del modelo digital de elevación y la gama de color se mantuvo en 8 bits de resolución (256 colores).

Sobre el mapa de bits se generó un mapa de vegetación por fotointerpretación directa y corroboración en campo, identificando y trazando en computadora el mosaico con los distintos tipos de vegetación. Se trazó también la infraestructura como carreteras, caminos, poblados, ranchos, etc., y los arroyos y drenajes más importantes.

Se digitalizaron las coordenadas geográficas de los sitios donde se realizó el muestreo de vegetación para integrarlas como otra capa de información en el SIG. Con el mosaico de vegetación se calculó el porcentaje de área ocupado por cada tipo de vegetación en la zona de estudio utilizando el programa IDRISI (Eastman 1997) versión 2.0, y se analizó el modelo digital de elevación INEGI para correlacionar la vegetación con los rasgos topográficos.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Análisis del Modelo Digital de Elevación**

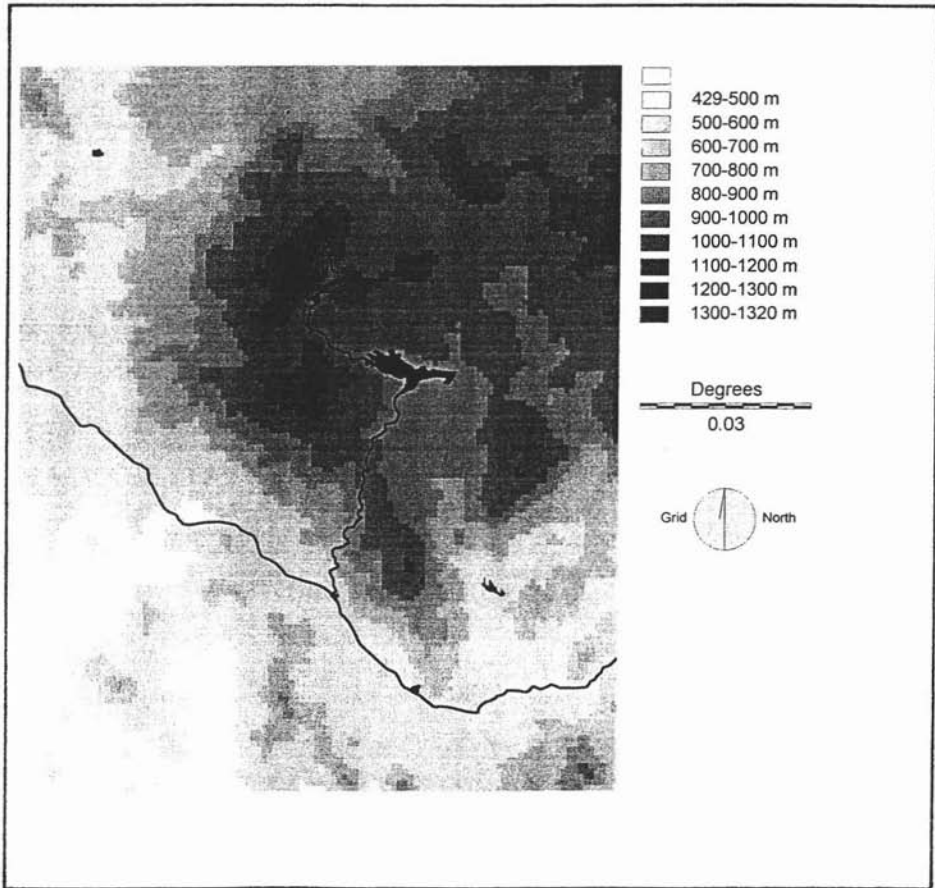
Al reclasificar las elevaciones del modelo digital de elevación del área de estudio en intervalos de 100 m, se encontró que el 85% del área estudiada se encuentra en elevaciones entre 500 y 1,000 m. El intervalo más frecuente es el de 500-600 m, que representa un tercio de la superficie total, mientras que las elevaciones por debajo de los 500 m representan un 9% y las mayores de 1,000 m tan sólo un 6% del total del área de estudio (Figura 5, Tabla 1). La amplia distribución de elevaciones permite una gran diversidad de hábitats a lo largo del gradiente altitudinal, estando mal representados los sitios muy bajos que típicamente presentan matorrales xerófilos, así como los sitios muy altos con pastizales y encinares.

#### **4.1.1 Distribución de la orientación de las pendientes**

Utilizando el modelo digital de elevación se calculó la orientación de las pendientes en el área de estudio. El resultado del programa de análisis de superficies (IDRISI) en fracciones de grado, fue reclasificado en cuatro orientaciones que incluyen los cuadrantes de 45° a los lados de cada punto cardinal (Figura 6). Este análisis mostró una marcada orientación preferencial hacia el Oeste. Estas pendientes cubren casi el 40% del área de estudio y, junto con las pendientes orientadas al Sur, abarcan más del 63% del terreno. En términos de área de cobertura, los sitios completamente planos, esto es, sin orientación alguna, cubren aproximadamente el 3% del área de estudio. Estos sitios comprenden las cumbres de las montañas, mesas y algunos bajíos (Tabla 2). La pobre representación de pendientes orientadas al Norte y al Este le brinda al área de estudio un carácter xérico, ya que predominan las pendientes orientadas al Sur y al Oeste. Geomorfológicamente las pendientes Sur tienen mayor insolación, mientras que las pendientes orientadas hacia el Oeste presentan un mayor déficit hídrico pues reciben la insolación cuando la temperatura ambiental es máxima.

#### **4.1.2 Distribución de la inclinación de las pendientes**

El área de estudio se caracteriza por ser extremadamente abrupta. Sin embargo, las pendientes no se distribuyen uniformemente, sino que gran parte de los sitios de



**Figura 5.** Modelo hipsográfico de las elevaciones en el área de estudio basado en el modelo digital de elevación. Los datos están reclasificados en intervalos de 100 m.

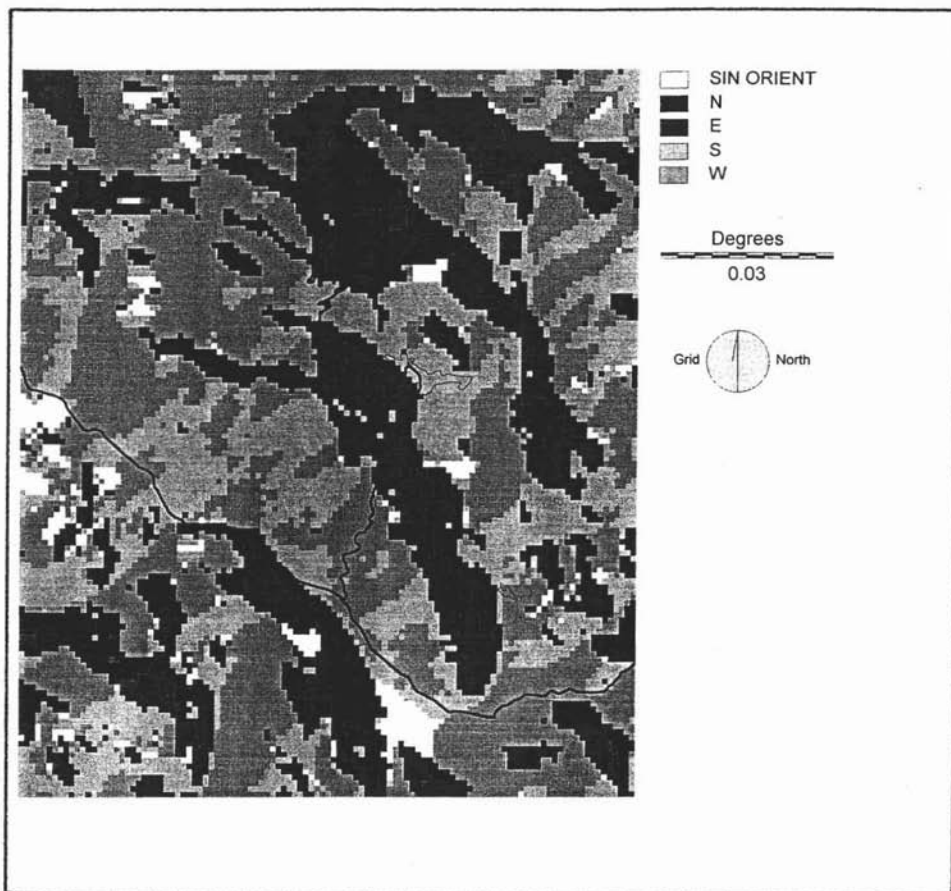
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 1.** Distribución de las elevaciones en el área de estudio en la sierra de San Javier, Sonora, determinadas a partir del Modelo Digital de Elevación de INEGI.

Intervalo de Elevación (m)	Superficie (ha)	Porcentaje
429 – 500	966.28	8.98
500 – 600	3417.10	31.78
600 – 700	2043.85	19.01
700 – 800	1333.50	12.40
800 – 900	1331.10	12.38
900 – 1000	976.30	9.08
1000 – 1100	479.50	4.56
1100 – 1200	171.35	1.59
1200 – 1300	28.56	0.26
1300 – 1320	2.25	0.02

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





**Figura 6.** Distribución de la orientación de las pendientes en el área de estudio basado en el modelo digital de elevación. Los datos crudos se reclasificaron en cuatro orientaciones que incluyeron los cuadrantes de 45° a los lados de cada punto cardinal.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**Tabla 2.** Superficie ocupada por cada unidad de orientación en la zona de estudio.

Orientación	Superficie (ha)	Porcentaje
Sin orientación	347.33	3.23
N	1682.94	15.65
E	1894.48	17.62
S	2764.87	25.72
W	4059.98	37.77

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

deposición aluvial están concentrados en el cuadrante SW, mientras que existen en los demás cuadrantes áreas dispersas con farallones y barrancos con fuertes pendientes (Figura 7).

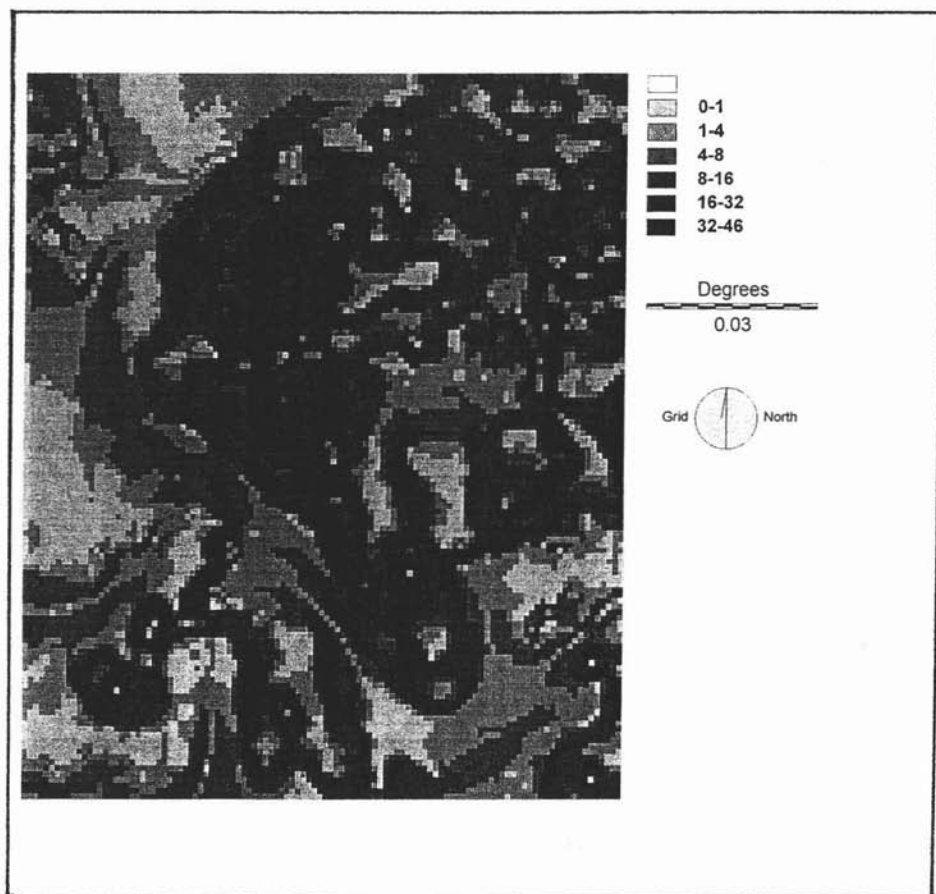
En total, solamente 14% del área de estudio puede clasificarse como áreas de depósito con pendientes muy ligeras (de 0-1°, Tabla 3). Poco más del 40% son sitios con pendientes moderadas, mientras que el 45% restante incluye sitios con pendientes muy inclinadas o inaccesibles (8-46°, Tabla 3). En estas últimas existen suelos muy poco profundos, principalmente litosoles, y procesos erosivos muy acelerados.

#### **4.1.3 Generación del mapa de vegetación**

Como una herramienta adicional de análisis, se generó un mapa de vegetación utilizando técnicas de fotointerpretación. El análisis de fotografía aérea a color escala 1:20,000 y los muestreos de campo permitieron la separación de distintas unidades de vegetación en la zona de estudio basándose en características de color, textura e información de campo.

#### **4.2 Composición Florística**

Como resultado de la colecta de material botánico, se generó un listado florístico de la región de San Javier (ver Listado Florístico anexo) en términos generales siguiendo el sistema de clasificación de Cronquist (1981) y de Mabberley (1997). Se encontraron 444 especies con 34 variedades, 14 subespecies y 302 géneros agrupados en 97 familias. De éstas, la mejor representada en el muestreo fue Leguminosae con 55 especies, en segundo término quedó Asteraceae con 45, el tercero corresponde a Euphorbiaceae con 28, y en cuarto lugar quedó Solanaceae con 17 especies. En la familia Pteridaceae predomina el género xerofítico *Cheilanthes*, del cual se colectaron 10 especies, en menor medida los géneros *Pellaea*, con dos especies, y una especie de *Argyrochosma*, *Astrolepis*, *Bommeria*, *Notholaena* y *Pityrogramma*. De la familia Aspleniaceae se colectó una especie de *Asplenium* y de la Polypodiaceae una de *Phlebodium*. Los representantes de este grupo son relativamente escasos y se circunscriben a sitios protegidos en cañadas o exposiciones favorables en donde



**Figura 7.** Distribución de la inclinación de las pendientes en el área de estudio basado en el modelo digital de elevación. Los valores se agrupan en una escala logarítmica de octavas en grados de inclinación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 3.** Superficie ocupada por cada unidad de pendiente en la zona de estudio.

Inclinación (°)	Característica	Superficie (ha)	Porcentaje
0 – 1	Sitios planos	1489.97	13.86
1 – 4	Con ligera inclinación	2344.66	21.81
4 – 8	Con marcada inclinación	2113.95	19.66
8 – 16	Abruptos	2339.33	21.76
16 – 32	Extremadamente abruptos	2333.16	21.70
32 – 46	Despeñaderos	128.54	1.19

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

incluso la mayoría permanecen retraídos en latencia durante la estación seca, para reverdecer con la estación húmeda. Algo similar ocurre con la bromeliácea *Tillandsia recurvata* y algunas selaginelláceas.

Entre las asteráceas son abundantes *Ambrosia cordifolia*, *A.confertifolia* y *A. ambrosioides*, *Baccharis salicifolia* y *B. thesioides*, *Brickellia brandegei*, *B. coulteri* con tres variedades y *B. diffusa*, tres especies de *Bidens* y de *Eupatorium*, tres especies de *Perityle* y dos de *Pluchea*. También son comunes *Lagascea decipiens*, *Lasianthaea fruticosa*, *Helianthus annuus*, *Montanoa leucantha*, *Porophyllum macrocephalum* y *Vernonia triflosculosa*. Entre las especies de la familia Bignoniaceae destacan *Tabebuia chrysantha* y *T. impetiginosa*. Las burseráceas se presentan con seis especies de *Bursera*. En los terrenos por debajo de los 500 m se encuentran cuatro especies de *Opuntia*, dos especies de *Mammillaria* y de *Stenocereus*, así como *Pachycereus pecten-aboriginum*. Diez especies trepadoras anuales de *Ipomoea* representan en el sotobosque a las Convolvulaceae, junto con dos especies de *Evolvulus*, y la Cuscutaceae *Cuscuta americana*. Un componente conspicuo de la SBC son los grandes árboles de *Ipomoea arborescens*. Entre las numerosas euforbiáceas se encuentra *Jatropha cordata*, y también son relevantes *Croton flavescens* y *C. alamosanus* por su abundancia en el estrato arbustivo, en donde también es un importante constituyente *Ambrosia cordifolia*. En las zonas de disturbio es común *Acacia cochliacantha* y *Ambrosia ambrosioides*. Las cesalpinoideas resultan notorias en el estrato arbustivo por las llamativas flores de *Ceasalpinia pulcherrima* y *C. platyloba*; del género *Senna* encontramos cinco especies entre las que sobresalen *S. pallida* por sus características flores amarillas, y en el estrato arbóreo los grandes individuos de *S. atomaria*. Cuatro especies de *Abutilon*, cinco de *Sida* y dos de *Anoda* representan a las malváceas. Las fagáceas *Quercus chihuahuensis* y *Q. tuberculata* son componentes importantes de la vegetación arbórea en elevaciones por arriba de los 800 m y especialmente en sitios de suelo mineralizado o con exposición Norte. La familia Rubiaceae se encuentra representada por cinco especies de *Randia*, mientras que las solanáceas están presentes con cuatro especies de *Physalis* y ocho de *Solanum*.

Entre las leñosas arborescentes predominan las leguminosas, dominando *Lysiloma divaricatum*, que en la zona de estudio en ocasiones llega a formar pequeños bosques monoespecíficos, lo mismo que *Chloroleucon mangense*. Aquí cabe mencionar que *Acacia coulteri* es una especie difícil de diferenciar en campo de *Lysiloma divaricatum* durante la época de secas (que fue el periodo más importante de muestreo), cuando ambas especies carecen totalmente de hojas, razón por la cual, a pesar de que *Acacia coulteri* no está representada en los muestreos, cabría esperar que un cierto número de individuos hayan sido incluidos en los muestreos como *L. divaricatum*. En forma más dispersa se encuentran también *Lysiloma watsonii* y *Senna atomaria*. Cuatro especies de *Acacia* se presentan en el área. En el estrato arbóreo junto con las leguminosas, son conspicuas las burseráceas con abundancia de *Bursera fagaroides*, *B. lancifolia*, *B. laxiflora* y algunos individuos de *B. penicillata*. Son comunes también árboles de la bombacácea *Ceiba acuminata*. En algunas zonas ribereñas y cañadas húmedas la familia Moraceae está representada por cinco especies de *Ficus* de gran porte; en los escarpes pronunciados de la SBC destaca por el característico claro brillante de sus troncos y raíces, la rupícola *Ficus petiolaris*. En los sitios ribereños son abundantes también grandes individuos de *Guazuma ulmifolia*, en donde es posible encontrar *Platanus wrightii* y *Taxodium distichum*.

### **4.3 Estructura de la vegetación**

#### **4.3.1 Frecuencia**

De acuerdo con el muestreo de 74 líneas de intersección, solamente siete de las especies que aparecieron en los muestreos presentan una frecuencia mayor del 20% (esto es, que aparecieron en más de 15 unidades de muestreo), y un poco más del 25% de las especies aparecieron con una frecuencia mayor del 10% (en más de ocho unidades de muestreo, Figura 8). El valor más alto de frecuencia lo presentan las especies arbóreas, entre las que destacan *Lysiloma divaricatum* (69%), que representa el componente arbóreo dominante en esta SBC, *Jatropha cordata* (54%) y *Chloroleucon mangense* (38%) (Figura 8). Sin embargo, las euforbiáceas arbustivas del género *Croton*, las cuales agrupan un complejo de tres especies difíciles de separar por caracteres vegetativos, presentan una elevada frecuencia; ésta, sin embargo, puede

FRECUENCIA RELATIVA (%)

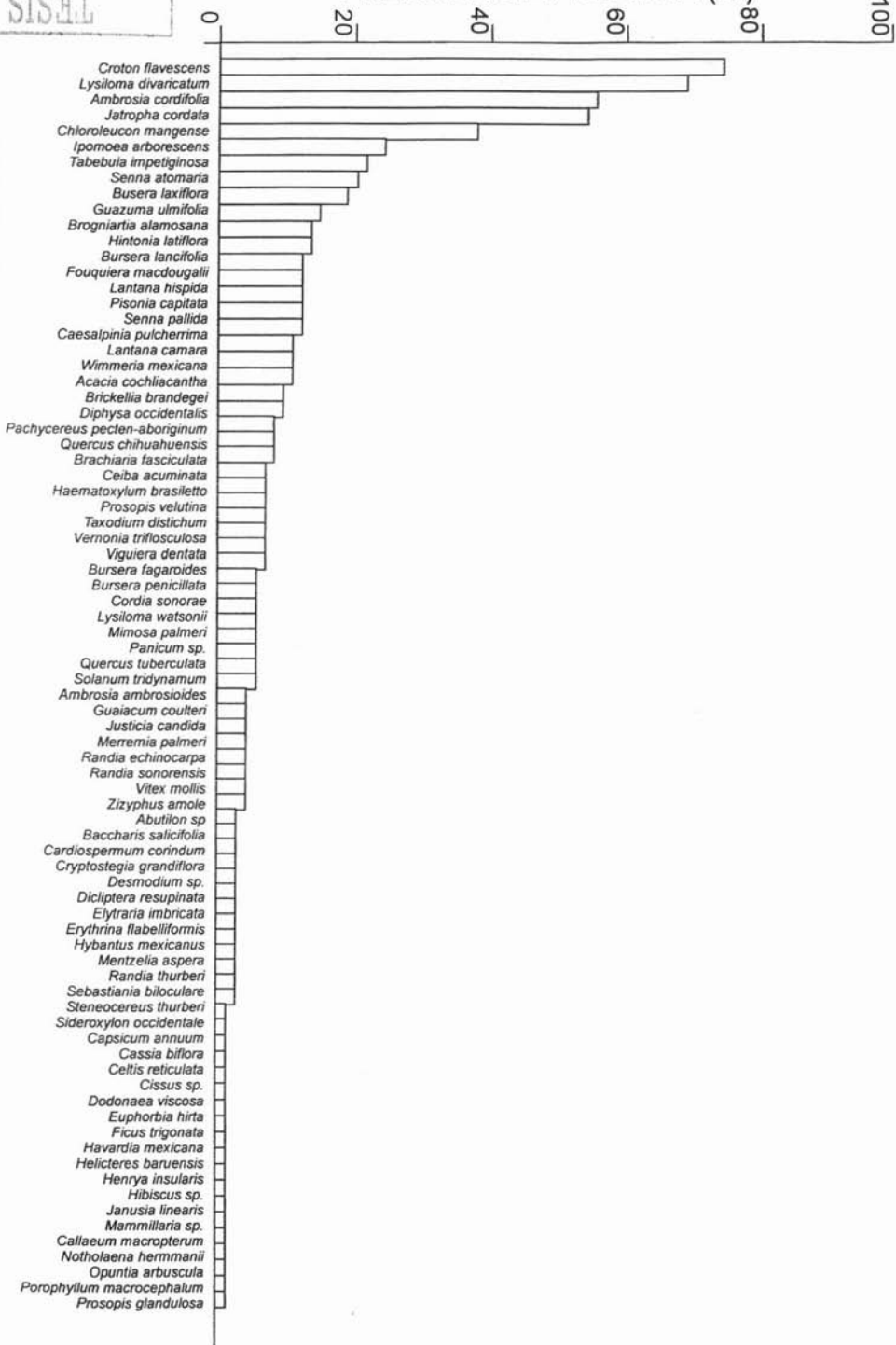


Figura 8. Distribución de frecuencias absolutas de las especies leñosas en el área de estudio, resultante del análisis de 74 líneas de intercepción.



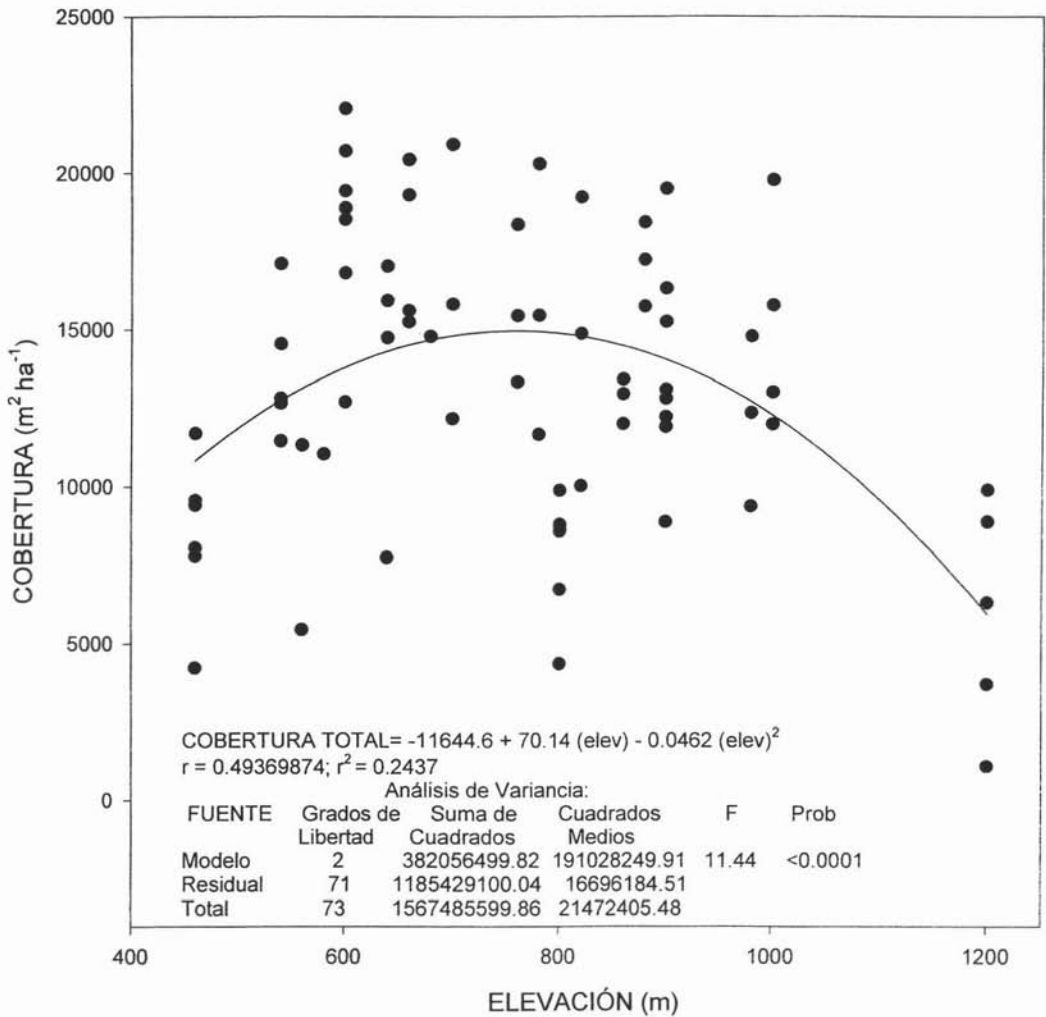
atribuirse principalmente a *Croton flavescens* y, en menor grado a *Croton alamosanus*. La frecuencia conjunta de estas especies alcanza el valor más alto de presencia global, con un 74%, mientras que en el tercer lugar de frecuencia global se encuentra la compuesta subarborescente *Ambrosia cordifolia*, que aparece en el 55% de las muestras y es un importante elemento del sotobosque de la SBC.

#### **4.4 Análisis directo de gradientes**

Para realizar el análisis de gradientes, se promediaron todas las líneas muestreadas en cada uno de los sitios que estuvieran a la misma elevación o con la misma orientación de la pendiente. Este procedimiento agrupó a las líneas de intersección en ocho categorías de elevación, y en cuatro categorías de orientación. Las líneas de intersección ubicadas en cada categoría se utilizaron como réplicas para graficar el cambio en la cobertura total y la cobertura por especie a lo largo de ambos gradientes ambientales.

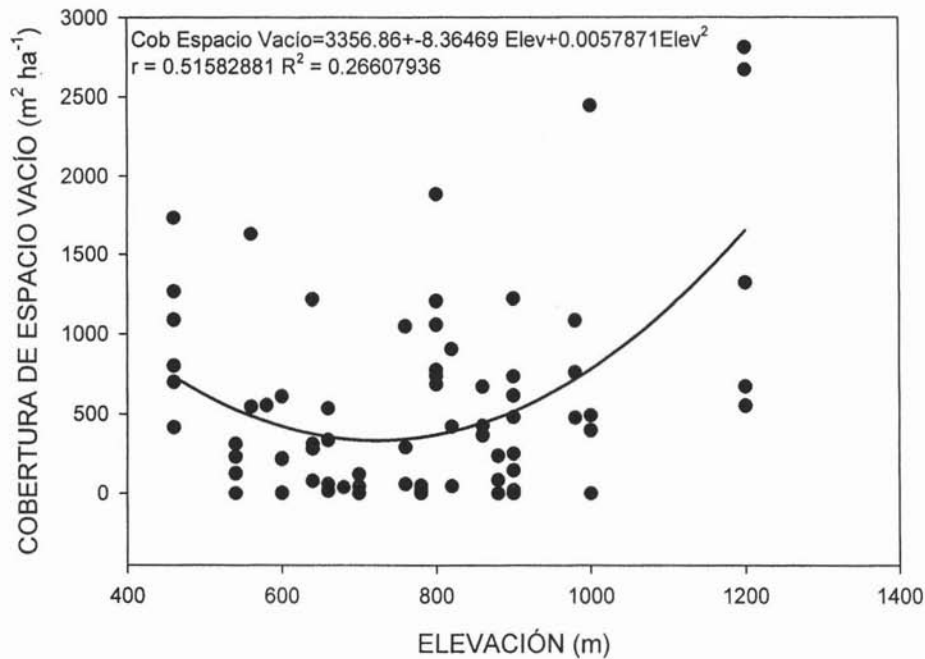
##### **4.4.1 Cambios en cobertura en el gradiente de elevación: cobertura total**

Al relacionar la cobertura total de la vegetación en cada unidad de muestreo con la elevación, se observa una tendencia estadísticamente significativa a incrementar la cobertura en elevaciones intermedias, mientras que en elevaciones bajas y altas la cobertura es menor (Figura 9). En los sitios bajos es común la presencia de matorrales con grandes claros entre los arbustos, en algunos casos con elementos del Desierto Sonorense, mientras que en los sitios más altos están presentes encinares abiertos con amplias áreas de pastizales. La cobertura total en las unidades de muestreo en elevaciones intermedias, las cuales contienen SBC, es mayor tanto porque hay un dosel más continuo, como porque existe una mayor sobreposición de las copas de las especies leñosas que forman un dosel de varias capas con al menos dos estratos diferenciados. La contraparte de esta tendencia, la proporción de espacio sin cobertura, sigue una tendencia inversa con respecto a la elevación, lo que muestra la estrecha correlación entre la cantidad de espacio vacío y la cobertura total (Figura 10).



**Figura 9.** Relación entre la elevación y la cobertura total de la vegetación en las unidades de muestreo. Se aprecia una tendencia significativa al incremento de cobertura en las elevaciones medias y al decremento en las elevaciones bajas y altas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 10.** Relación entre la elevación y la cobertura del espacio vacío, donde se muestra el mayor espaciamiento entre las copas de las especies leñosas en las altas y baja elevaciones, en comparación con la abundante cobertura de las especies de la SBC en las elevaciones intermedias.

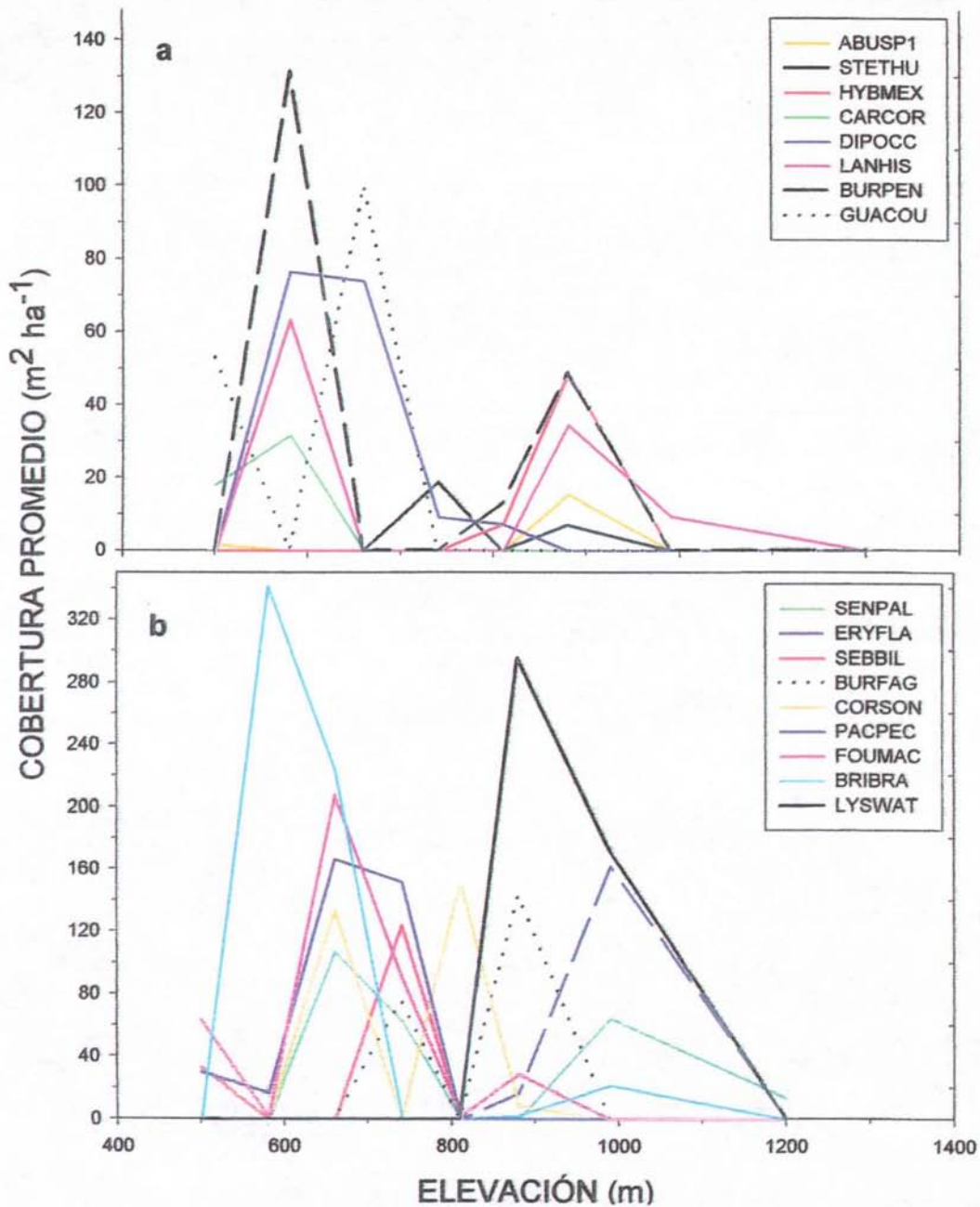
#### 4.4.2 Cambios en cobertura en el gradiente de elevación: cobertura por especie

El comportamiento de la cobertura promedio por especie en función de la elevación para las 80 especies que aparecieron en las unidades de muestreo no presenta un patrón definido. En general las especies se distribuyen en el gradiente altitudinal de manera independiente unas de otras y muestran diferencias notables de cobertura, aún cuando se observan grupos en la Figura 11a,b,c,d y e, son sólo artefactos de la representación gráfica pues las especies se segregan para mostrar su variación más claramente (notar las diferencias en la escala de cobertura).

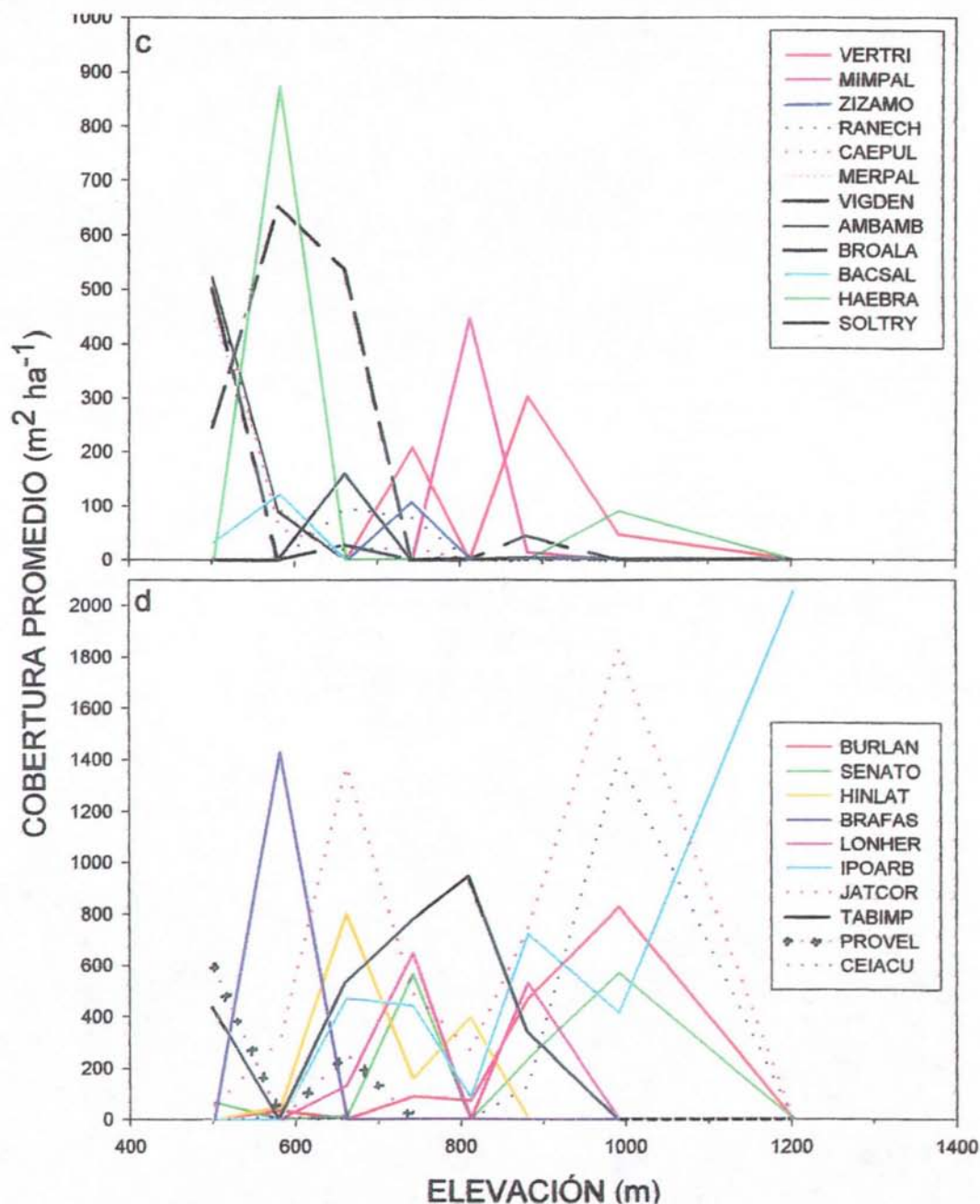
Treinta especies sólo estuvieron presentes en una elevación determinada (Tabla 5). La mayoría de éstas son herbáceas, subarborescentes o pequeñas cactáceas. Sin embargo, algunos arbustos grandes como *Dodonaea viscosa*, la introducida *Cryptostegia grandiflora* y *Randia sonorensis* se encuentran también confinadas a sitios muy específicos, al igual que algunas especies arbóreas de gran porte como *Havardia mexicana*, *Prosopis glandulosa*, *Quercus tuberculata*, *Vitex mollis*, *Taxodium distichum* y *Ficus trigonata*, las cuales localmente presentan altos valores de cobertura pero están restringidas a una sola elevación (Tabla 5).

Destaca la gran cobertura de *Lysiloma divaricatum* como la especie arbórea dominante a lo largo de todo el intervalo de elevación, desde los 450 hasta los 1,000 m, siendo codominante en la mayoría de los sitios *Croton flavescens* (Figura 11e). Otras especies con elevados valores de cobertura en un extenso intervalo altitudinal son *Chloroleucon mangense*, *Jatropha cordata*, *Ambrosia cordifolia*, *Ipomoea arborescens*, *Tabebuia impetiginosa* y *Guazuma ulmifolia* (Figura 11d y e).

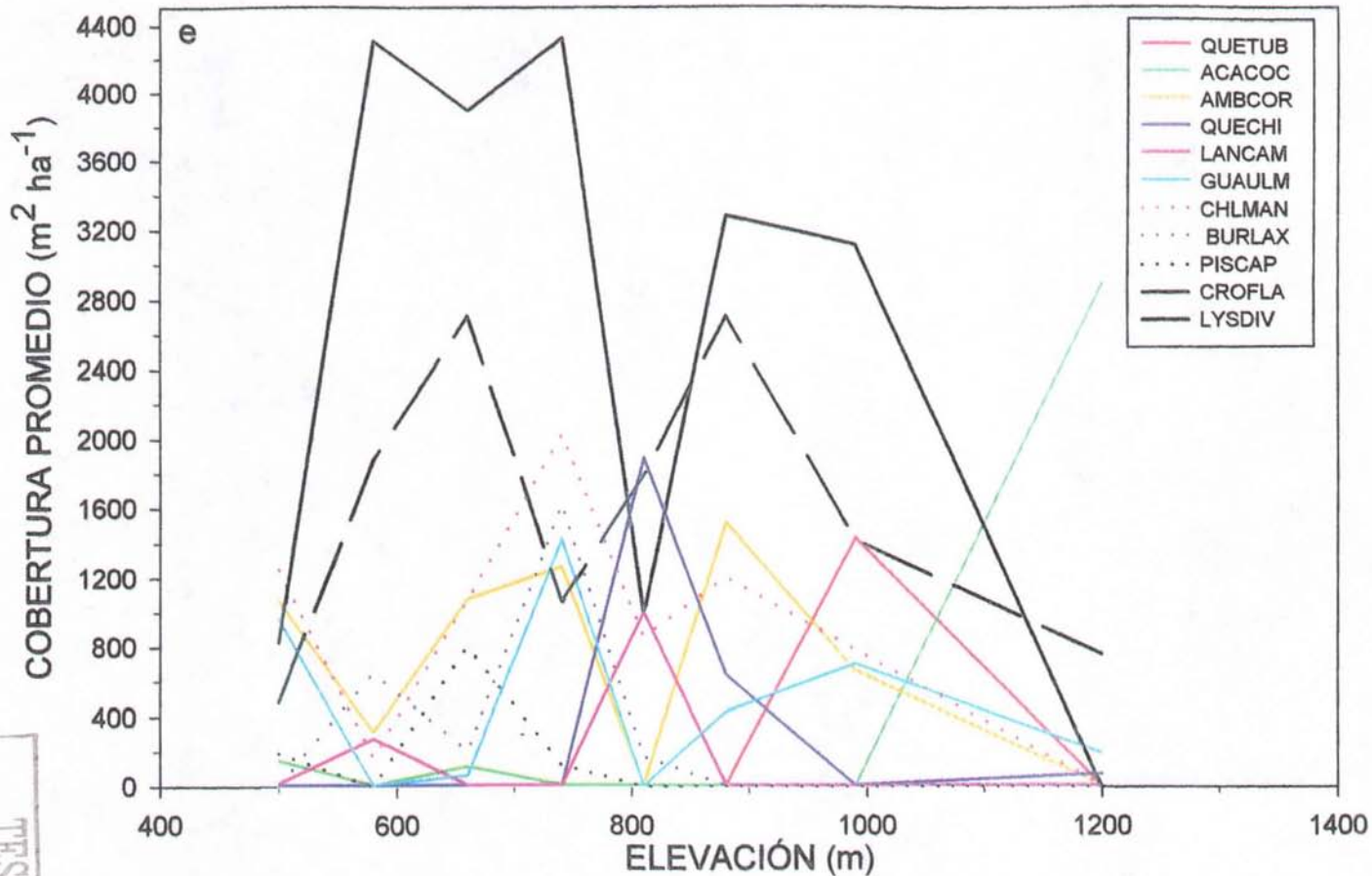
Especies arbóreas como *Ceiba acuminata*, *Fouquieria macdougalii* y *Pachycereus pecten-aboriginum*, que son muy conspicuas en el campo debido a sus características de tamaño, tipo de follaje o flores vistosas, presentan valores de cobertura que se ubican en el promedio de la mayoría de las especies arbóreas de la SBC (Figura 11b,d). Lo mismo es patente para *Stenocereus thurberi*, *Guaiacum coulteri*, *Erythrina*



**Figura 11.** Comportamiento de la cobertura promedio por especie en función de la elevación (ver texto). Las especies se separaron en cinco grupos con propósitos puramente ilustrativos. a y b) especies con escasa cobertura, entre 0.01 y 335 m² ha⁻¹, c y d) especies abundantes, con coberturas que exceden los 100 m² ha⁻¹ e) especies extremadamente abundantes. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.



**Figura 11 (cont).** Comportamiento de la cobertura promedio por especie en función de la elevación (ver texto). Las especies se separaron en cinco grupos con propósitos puramente ilustrativos. a y b) especies con escasa cobertura, entre 0.01 y 335 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, c y d) especies abundantes, con coberturas que exceden los 100 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e) especies extremadamente abundantes. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.



**Figura 11 (cont).** Comportamiento de la cobertura promedio por especie en función de la elevación (ver texto). Las especies se separaron en cinco grupos con propósitos puramente ilustrativos. a y b) especies con escasa cobertura, entre  $0.01$  y  $335 m^2 ha^{-1}$ , c y d) especies abundantes, con coberturas que exceden los  $100 m^2 ha^{-1}$  e) especies extremadamente abundantes. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Clave de las especies que aparecieron en los muestreos de campo y se mencionan en las figuras y tablas subsecuentes, incluyendo al espacio vacío.

Abreviatura	Especie	Abreviatura	Especie
ABUSP1	<i>Abutilon</i> sp.	HINLAT	<i>Hintonia latiflora</i>
ACACOC	<i>Acacia cochliacantha</i>	HYBMEX	<i>Hybanthus mexicanus</i>
AMBAMB	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	IPOARB	<i>Ipomoea arborescens</i>
AMBCOR	<i>Ambrosia cordifolia</i>	JANLIN	<i>Janusia linearis</i>
BACSAL	<i>Baccharis salicifolia</i>	JATCOR	<i>Jatropha cordata</i>
BRAFAS	<i>Brachiaria fasciculata</i>	JUSCAN	<i>Justicia candida</i>
BRIBRA	<i>Brickellia brandegei</i>	LANCAM	<i>Lantana camara</i>
BROALA	<i>Brongniartia alamosana</i>	LANHIS	<i>Lantana hispida</i>
BURFAG	<i>Bursera fagaroides</i>	LONHER	<i>Lonchocarpus hermannii</i>
BURLAN	<i>Bursera lancifolia</i>	LYSDIV	<i>Lysiloma divaricatum</i>
BURLAX	<i>Bursera laxiflora</i>	LYSWAT	<i>Lysiloma watsonii</i>
BURPEN	<i>Bursera penicillata</i>	MAMSP1	<i>Mammillaria</i> sp.
CAEPUL	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	MENASP	<i>Mentzelia aspera</i>
CALMAC	<i>Callaeum macropterum</i>	MERPAL	<i>Merremia palmeri</i>
CAPANN	<i>Capsicum annuum</i>	MIMPAL	<i>Mimosa palmeri</i>
CARCOR	<i>Cardiospermum corindum</i>	NOTHER	<i>Notholaena hermannii</i>
CASBIF	<i>Cassia biflora</i>	OPUARB	<i>Opuntia arbuscula</i>
CEIACU	<i>Ceiba acuminata</i>	PACPEC	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>
CELRE1	<i>Celtis reticulata</i>	PANICU	<i>Panicum</i> sp.
CHLMAN	<i>Chloroleucon mangense</i>	PISCAP	<i>Pisonia capitata</i>
CISSUS	<i>Cissus</i> sp.	PORMAC	<i>Porophyllum macrocephalum</i>
CORSON	<i>Cordia sonorae</i>	PROGLA	<i>Prosopis glandulosa</i>
CROFLA	<i>Croton flavescens</i>	PROVEL	<i>Prosopis velutina</i>
CRYGRA	<i>Cryptostegia grandiflora</i>	QUECHI	<i>Quercus chihuahuensis</i>
DESMOD	<i>Desmodium</i> sp.	QUETUB	<i>Quercus tuberculata</i>
DICRES	<i>Dicliptera resupinata</i>	RANECH	<i>Randia echinocarpa</i>
DIPOCC	<i>Diphysa occidentalis</i>	RANSON	<i>Randia sonorensis</i>
DODVIS	<i>Dodonaea viscosa</i>	RANTHU	<i>Randia thurberi</i>
ELYIMB	<i>Elytraria imbricata</i>	SEBBIL	<i>Sebastiania bilocularis</i>
ERYFLA	<i>Erythrina flabelliformis</i>	SENATO	<i>Senna atomaria</i>
EUPHIR	<i>Euphorbia hirta</i>	SENPAL	<i>Senna pallida</i>
FICTRI	<i>Ficus trigonata</i>	SIDOCC	<i>Sideroxylon occidentale</i>
FOUMAC	<i>Fouquieria macdougalii</i>	SOLTRY	<i>Solanum tridynamum</i>
GUACOU	<i>Guaiacum coulteri</i>	STETU	<i>Stenocereus thurberi</i>
GUAULM	<i>Guazuma ulmifolia</i>	TABIMP	<i>Tabebuia impetiginosa</i>
HAEBRA	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	TAXDIS	<i>Taxodium disticum</i>
HAVMEX	<i>Havardia mexicana</i>	VACIO	Espacio vacío
HELBAR	<i>Helicteres baruensis</i>	VERTRI	<i>Vernonia triflosculosa</i>
HENINS	<i>Henrya insularis</i>	VIGDEN	<i>Viguiera dentata</i>
HIBSP1	<i>Hibiscus</i> sp.	VITMOL	<i>Vitex mollis</i>
		ZIZAMO	<i>Zizyphus amole</i>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Tabla 5.** Especies que aparecen en el muestreo en un solo piso altitudinal. Árbol 1 = árbol pequeño, Árbol 2 = árbol mediano, Árbol 3 = árbol grande.

Especie	Forma de crecimiento	Elevación (m)	Cobertura Promedio (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
<i>Dicliptera resupinata</i>	Hierba	460	43
<i>Havardia mexicana</i>	Árbol 1	460	98
<i>Prosopis glandulosa</i>	Árbol 2	460	133
<i>Taxodium distichum</i>	Árbol 3	460	637
<i>Cassia biflora</i>	Árbol 2	540	5
<i>Callaeum macropterum</i>	Trepadora	540	8
<i>Randia thurberi</i>	Arbusto	540	18
<i>Opuntia arbuscula</i>	Cactácea	540	30
<i>Sideroxylon occidentale</i>	Árbol 2	540	87
<i>Cissus</i> sp.	Trepadora	560	8
<i>Desmodium</i> sp.	Hierba	560	80
<i>Ficus trigonata</i>	Árbol 3	580	170
<i>Euphorbia hirta</i>	Hierba	600	2
<i>Notholaena hermannii</i>	Hierba	600	2
<i>Porophyllum macrocephalum</i>	Hierba	600	5
<i>Mentzelia aspera</i>	Hierba	600	9
<i>Panicum</i> sp.	Pasto	600	255
<i>Randia sonorensis</i>	Árbusto	660	199
<i>Dodonaea viscosa</i>	Arbusto	800	22
<i>Vitex mollis</i>	Árbol 1	800	436
<i>Mammillaria</i> sp.	Cactácea	820	3
<i>Helicteris baruensis</i>	Árbol 1	820	40
<i>Janusia linearis</i>	Trepadora	900	1
<i>Hibiscus</i> sp.	Arbusto	900	2
<i>Elytraria imbricata</i>	Hierba	900	6
<i>Henrya insularis</i>	Hierba	900	11
<i>Justicia candicans</i>	Arbusto	900	126
<i>Capsicum annum</i>	Arbusto	1000	10
<i>Celtis reticulata</i>	Árbol 1	1000	25
<i>Cryptostegia grandiflora</i>	Trepadora	1000	41

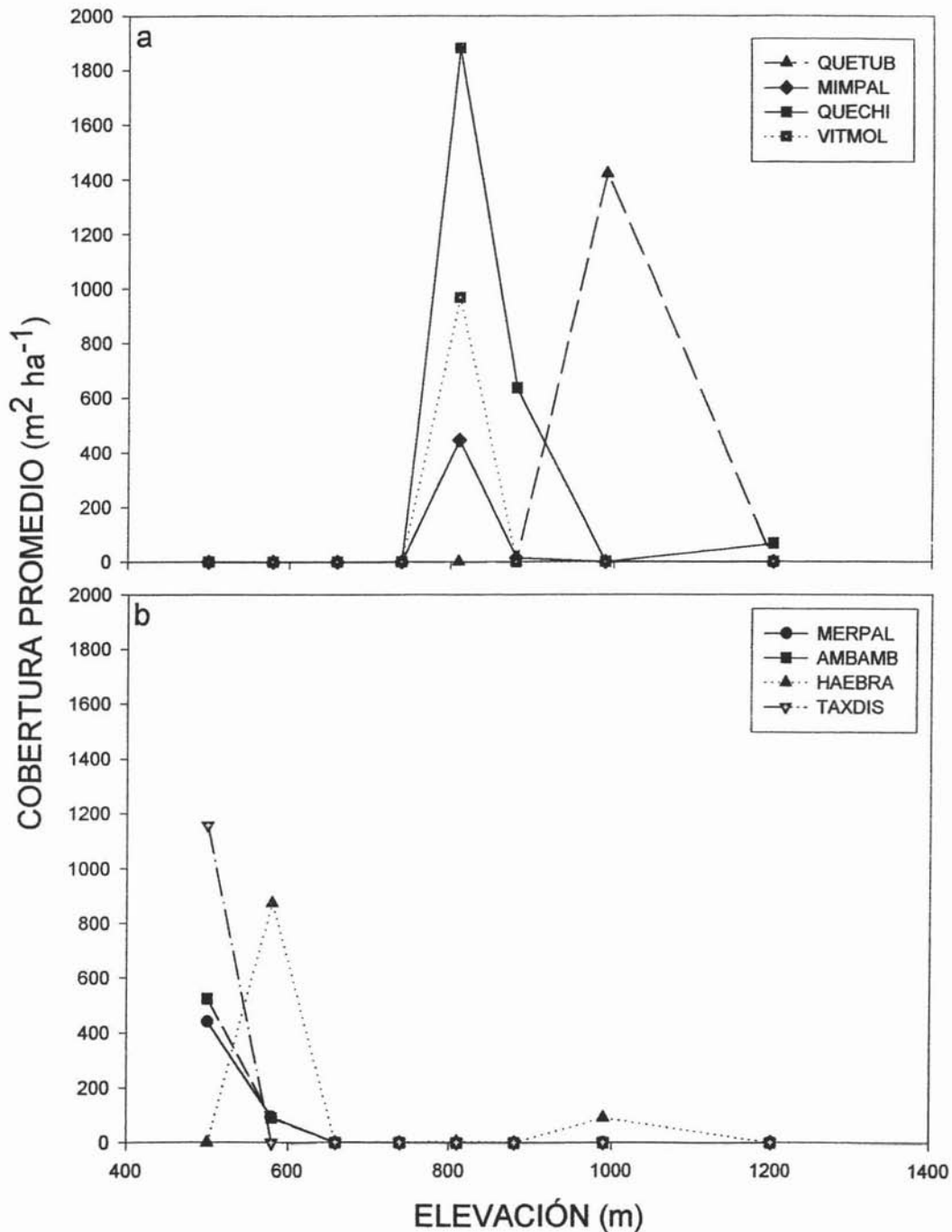
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*flabelliformis* y algunas especies del género *Bursera* como *B. penicillata* y *B. fagaroides* (Figura 11a, b) quienes presentan no sólo distribuciones altitudinales relativamente restringidas, sino que también tienen valores de cobertura bajos a pesar de su clara prominencia.

*Mimosa palmeri* y *Vitex mollis* son especies típicas de sitios más secos de la SBC junto con *Quercus chihuahuensis* y *Q. tuberculata*, que parecen restringirse a los sitios más elevados (Figura 11c, 12a). Su presencia en elevaciones intermedias parece estar influenciada por cambios en el tipo de suelo, ya que los sitios ubicados entre 800 y 900 m, donde presentan una elevada cobertura, son suelos con evidente alteración hidrotérmica.

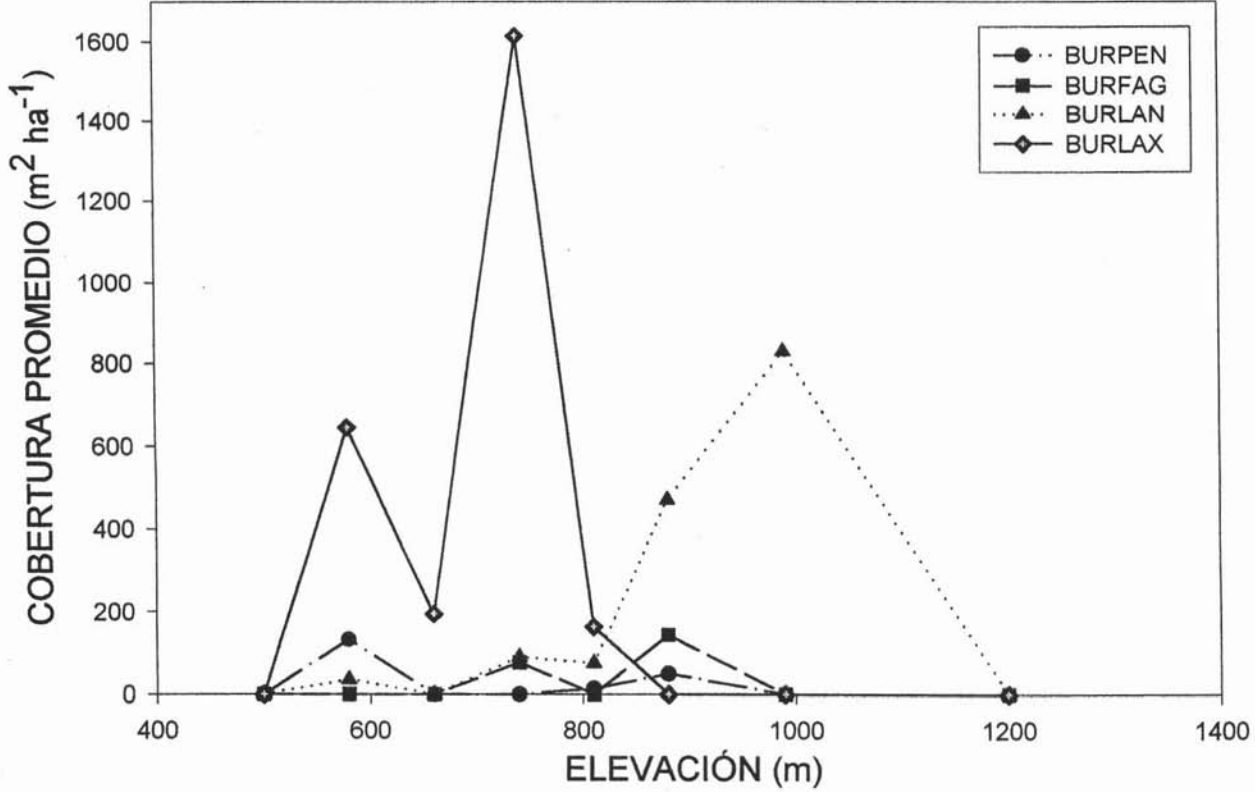
Asimismo, existen especies de baja elevación que son especies más típicas de matorrales o de los bosques de galería que están presentes en sitios relativamente planos y húmedos (Figura 12b). Entre éstas se encuentran *Merremia palmeri*, una trepadora característica de arroyos en el Desierto Sonorense y también común en sitios de matorral, *Ambrosia ambrosioides*, que es abundante en sitios con disturbio, *Haematoxylum brasiletto*, especie muy conspicua en los matorrales, y *Taxodium distichum*, el árbol de mayor porte de toda la región y que está confinado a los bosques de galería que bordean los cursos de agua permanente.

Un ejemplo de la repartición del hábitat, en términos del gradiente de elevación, es el caso de las cuatro especies del género *Bursera* que se encuentran en el área de estudio (Figura 13). *Bursera laxiflora*, una especie muy abundante en el Desierto Sonorense, es la especie más común en sitios de baja elevación, *B. fagaroides* presenta su pico de abundancia en elevaciones medias, aunque siempre con muy baja cobertura, mientras que *B. lancifolia* está presente sólo en los sitios más elevados. *B. penicillata* tiene poca representación en todo el gradiente, apareciendo en elevaciones bajas y medias; su presencia parece obedecer a variables que no están directamente asociadas con la elevación, entre las que probablemente se cuentan requerimientos de suelo y humedad muy específicos.



**Figura 12.** Comportamiento de la cobertura promedio por especie en función de la elevación. a) cobertura de las especies que se restringen a los sitios más elevados en la transición de SBC a encinar. b) cobertura de las especies presentes sólo en sitios de baja elevación en matorrales y bosques de galería. La clave de las especies se muestra en la tabla 4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 13.** Comportamiento de la cobertura promedio por especie en función de la elevación de cuatro especies del género *Bursera* presentes en la zona de estudio. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.

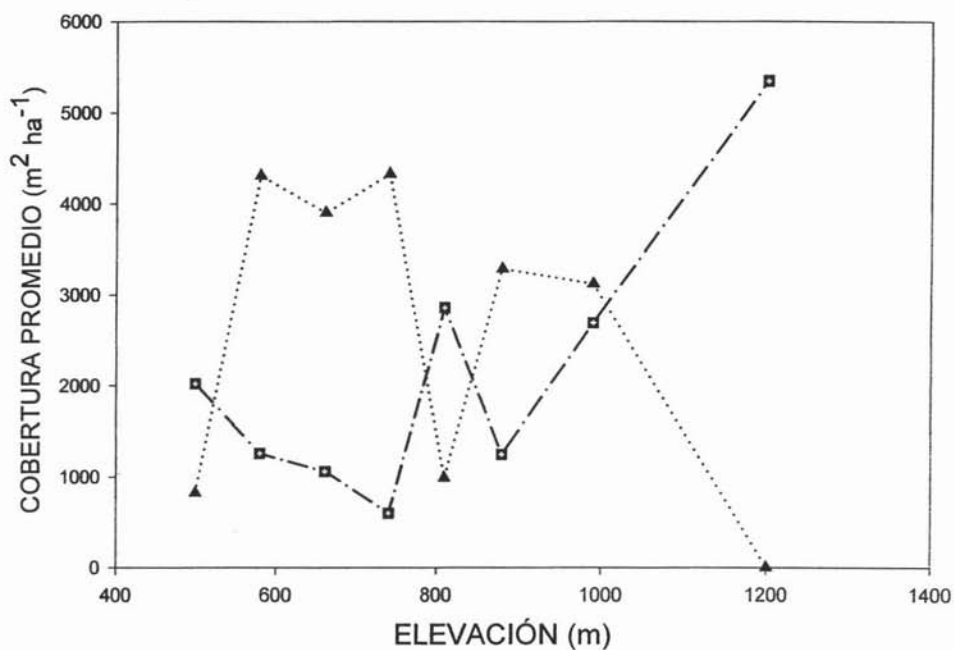
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Comparando la cobertura promedio de la especie arbórea dominante en la SBC, *Lysiloma divaricatum*, y la cobertura promedio del espacio vacío como funciones de la elevación, se observa una relación inversamente proporcional (Figura 14). Por sí sola, el área de espacio vacío explica el 68% ( $r = 0.825$ ) de la cobertura de *Lysiloma divaricatum* (Figura 15).

En el extremo derecho de la Figura 14, a los 1,200 m de elevación, predomina un pastizal abierto con algunos individuos de *Quercus* spp. En esta situación, el valor de cobertura para *Lysiloma divaricatum* es de cero, mientras que es alto para el espacio vacío. Algo similar ocurre en las tierras bajas en el extremo izquierdo de la gráfica, ya que en las zonas con predominio de matorral espinoso más abierto, donde no está presente *Lysiloma divaricatum*, los espacios vacíos se incrementan.

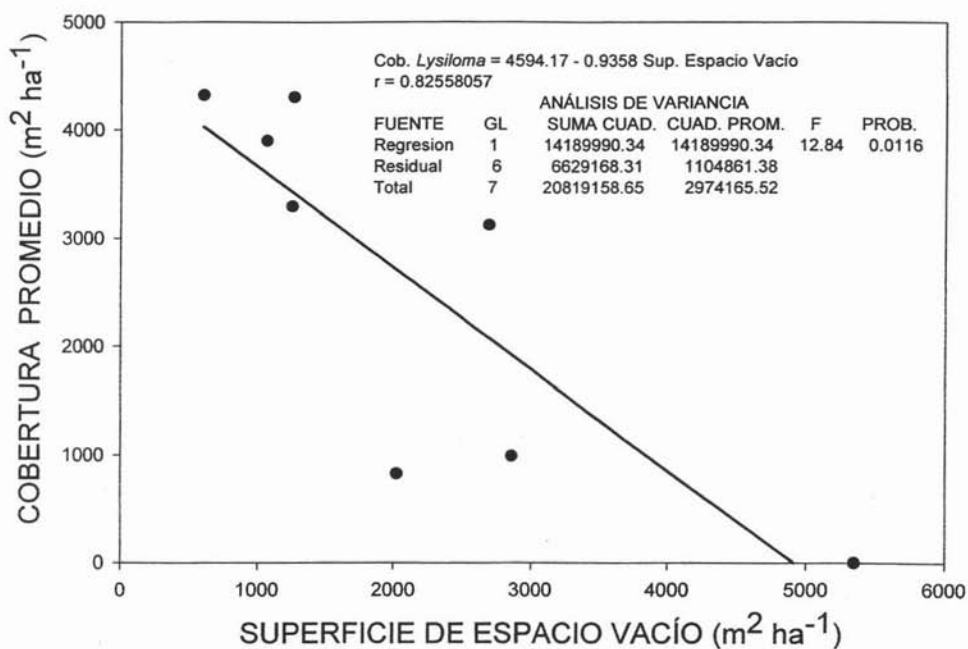
#### 4.4.3 Cambios de cobertura en el gradiente de orientación de las pendientes

La orientación de las pendientes tiene un notable efecto en la distribución de las especies que aparecieron en el muestreo. Del total de especies analizadas, 34 se encontraron restringidas a una sola orientación (Tabla 6). Por lo general, las especies dominantes en una orientación son dominantes o codominantes en otras orientaciones, por lo que pueden alcanzar coberturas del orden de miles de metros cuadrados por hectárea. No existe una relación entre la proporción de la superficie cubierta por cada orientación y la proporción de las especies exclusivas de una orientación particular. De hecho los sitios menos representados, aquellos sin orientación determinada (planos), presentan el mayor número de especies (Tabla 6). Especies presentes con altos valores de cobertura en todas las orientaciones de ladera son *Chloroleucon mangense*, *Jatropha cordata*, *Tabebuia impetiginosa* e *Ipomoea arborescens* (Figura 16a,b). *Lysiloma divaricatum* es la especie con los valores máximos de cobertura junto con *Croton flavescens* y *Ambrosia cordifolia* (Figura 16b). Sin embargo, numerosas especies presentan valores muy bajos de cobertura, entre 1 y 100 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, y están generalmente restringidas a ciertas orientaciones de ladera (Tabla 6, Figura 16c,d).



**Figura 14.** Superficie de espacio vacío (espacios sin cobertura vegetal, rectángulos), y de una de las especies más abundantes en la zona de estudio; *Lysiloma divaricatum* (triángulos), en función de la elevación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 15.** Relación entre la cobertura de *Lysiloma divaricatum* y la superficie de espacio vacío en la zona de estudio. En el inserto se muestra la ecuación de regresión y su prueba estadística.

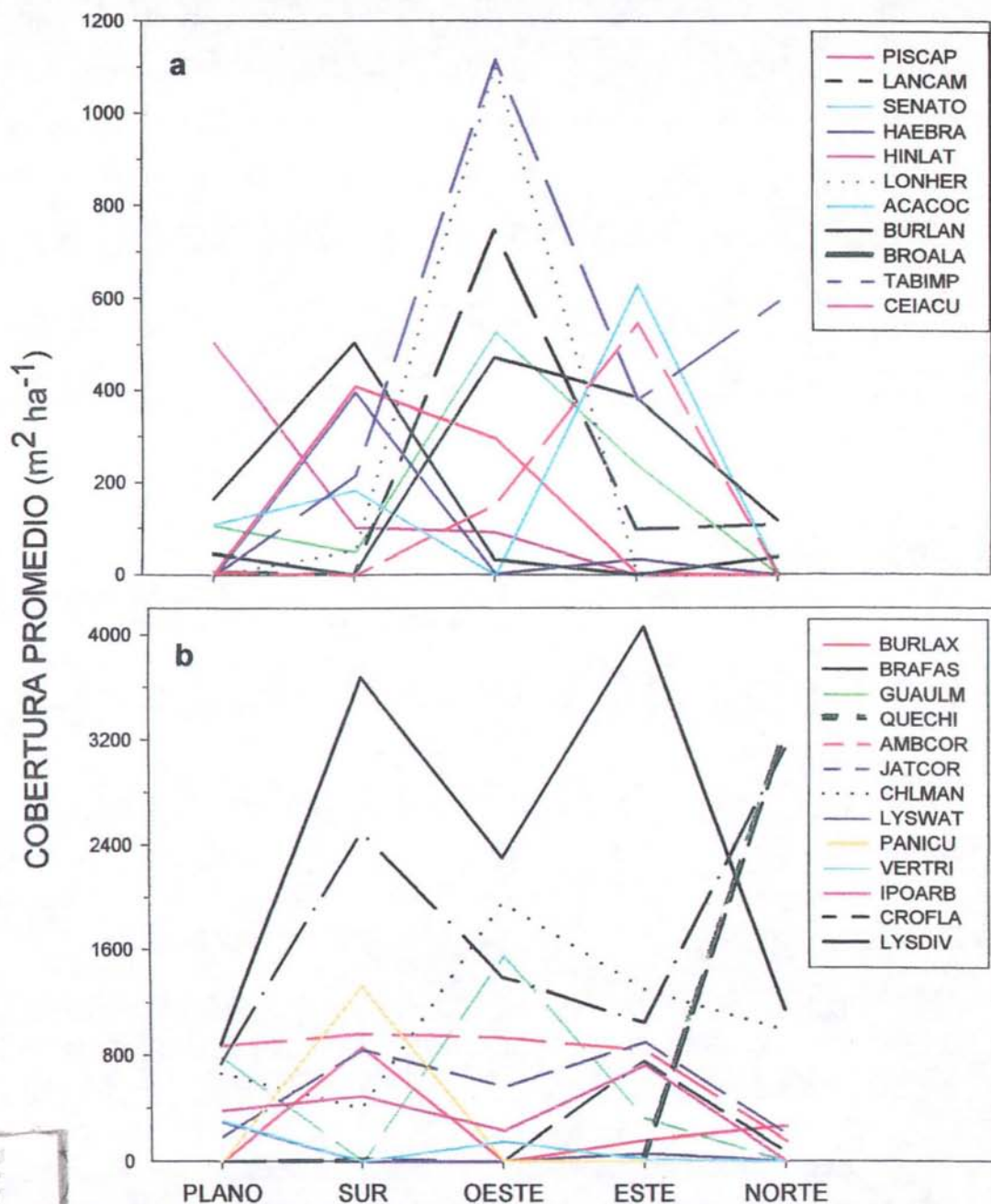
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**Tabla 6.** Especies que aparecieron en el muestreo en una sola orientación.

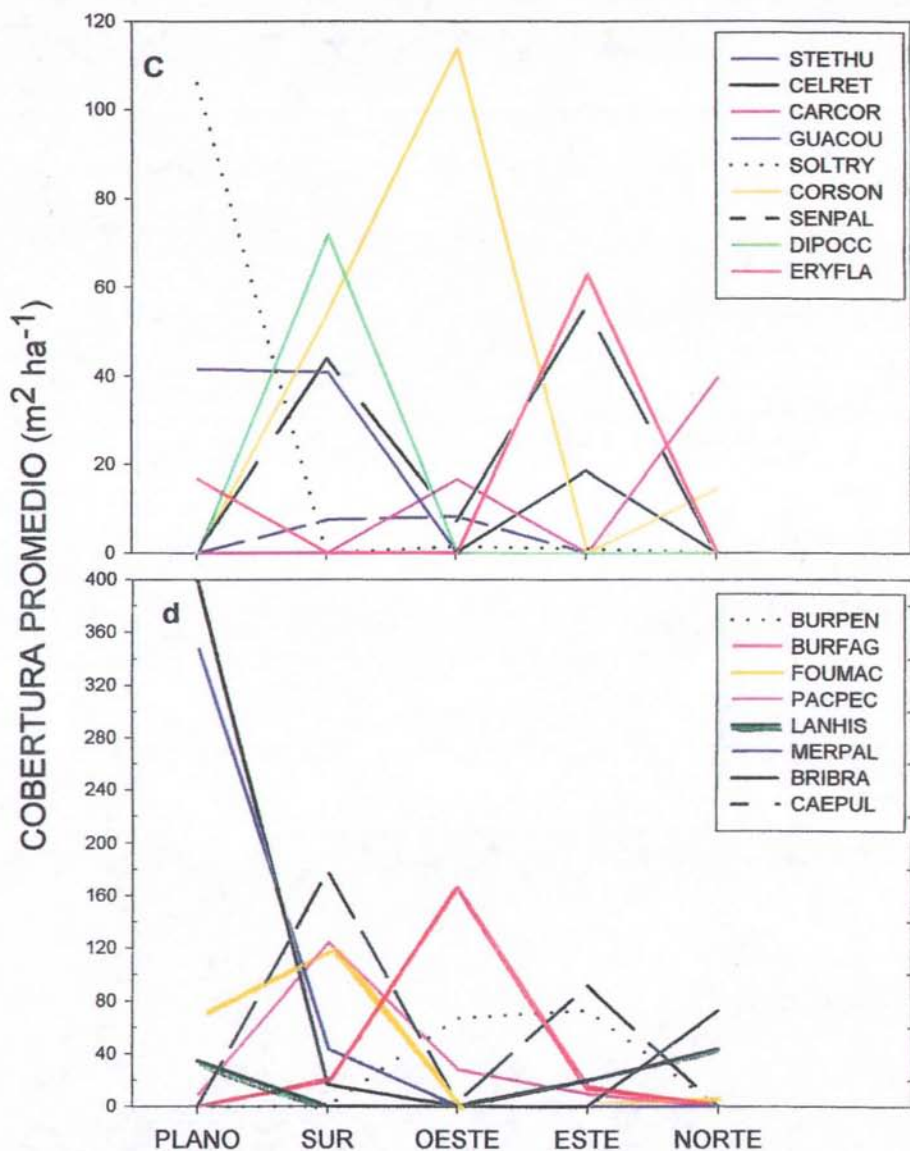
Especie	Orientación	Cobertura promedio m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Núm Spp	Área Representada	ha/Sp
<i>Taxodium distichum</i>	Plano	910			
<i>Prosopis velutina</i>	Plano	630			
<i>Ficus trigonata</i>	Plano	517			
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	Plano	477			
<i>Prosopis glandulosa</i>	Plano	190			
<i>Havardia mexicana</i>	Plano	139			
<i>Baccharis salicifolia</i>	Plano	114			
<i>Sideroxylon occidentale</i>	Plano	104			
<i>Dicliptera resupinata</i>	Plano	62			
<i>Opuntia arbuscula</i>	Plano	36	10 sp	347 ha	34.6
<i>Panicum sp.</i>	S	1331			
<i>Mimosa palmeri</i>	S	183			
<i>Diphysa occidentalis</i>	S	72			
<i>Dodonaea viscosa</i>	S	20			
<i>Mentzelia aspera</i>	S	10			
<i>Porophyllum macrocephalum</i>	S	5			
<i>Euphorbia hirta</i>	S	2			
<i>Notholaena hermanii</i>	S	2	8 sp	2765 ha	345
<i>Justicia candicans</i>	W	307			
<i>Hybanthus mexicanus</i>	W	63			
<i>Helicteres baruensis</i>	W	33			
<i>Henrya insularis</i>	W	25			
<i>Elytraria imbricata</i>	W	14			
<i>Hibiscus sp.</i>	W	4			
<i>Janusia linearis</i>	W	3			
<i>Mammillaria sp.</i>	W	3	8 sp	4060 ha	500
<i>Quercus tuberculata</i>	E	553			
<i>Cryptostegia grandiflora</i>	E	31			
<i>Celtis reticulata</i>	E	19			
<i>Callaeum macropterum</i>	E	7			
<i>Capsicum annum</i>	E	7			
<i>Cassia biflora</i>	E	5	6 sp	1894 ha	313
<i>Desmodium sp.</i>	N	67			
<i>Cissus sp.</i>	N	6	2 sp	1683 ha	842

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





**Figura 16.** Diagrama esquemático que muestra la cobertura de las especies en diferentes orientaciones de la pendiente en la zona de estudio. Las especies se separaron en cuatro grupos con propósitos puramente ilustrativos. a y b) especies con coberturas menores de  $400 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . c y d) especies con coberturas generalmente mayores de  $400 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . Nótese que no existe una solución de continuidad para las variables categóricas en el eje X. La clave de las especies se muestra en la tabla 4.



**Figura 16 (cont).** Diagrama esquemático que muestra la cobertura de las especies en diferentes orientaciones de la pendiente en la zona de estudio. Las especies se separaron en cuatro grupos con propósitos puramente ilustrativos. a y b) especies con coberturas menores de  $400 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . c y d) especies con coberturas generalmente mayores de  $400 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . Nótese que no existe una solución de continuidad para las variables categóricas en el eje X. La clave de las especies se muestra en la tabla 4.

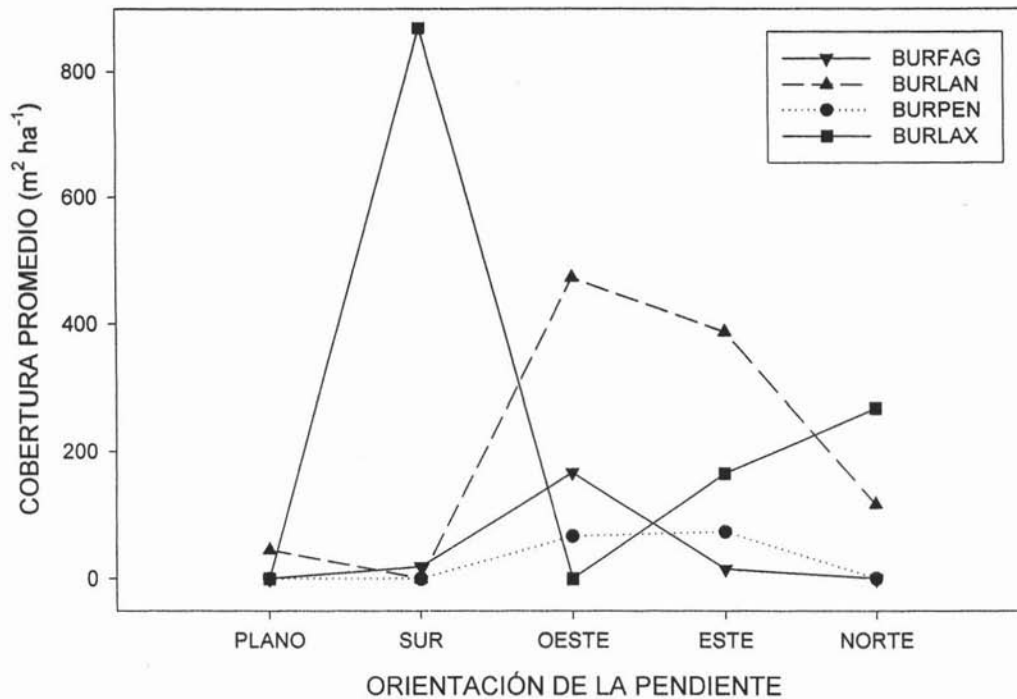
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Todas las orientaciones de pendiente presentan números similares de especies exclusivas, excepto las laderas Norte que tienen aproximadamente la mitad del número de especies que cualquier otra ladera (Tabla 6). En los sitios planos destacan *Taxodium distichum*, *Prosopis velutina* y *Havardia mexicana*, todas ellas especies arbóreas de gran porte, confinadas a sitios relativamente planos y húmedos en las cercanías de los arroyos. Las laderas Sur y Oeste contienen una mezcla de especies de SBC y Desierto Sonorense, mientras que las laderas Norte, más pobres en especies, contienen encinares y pastizales.

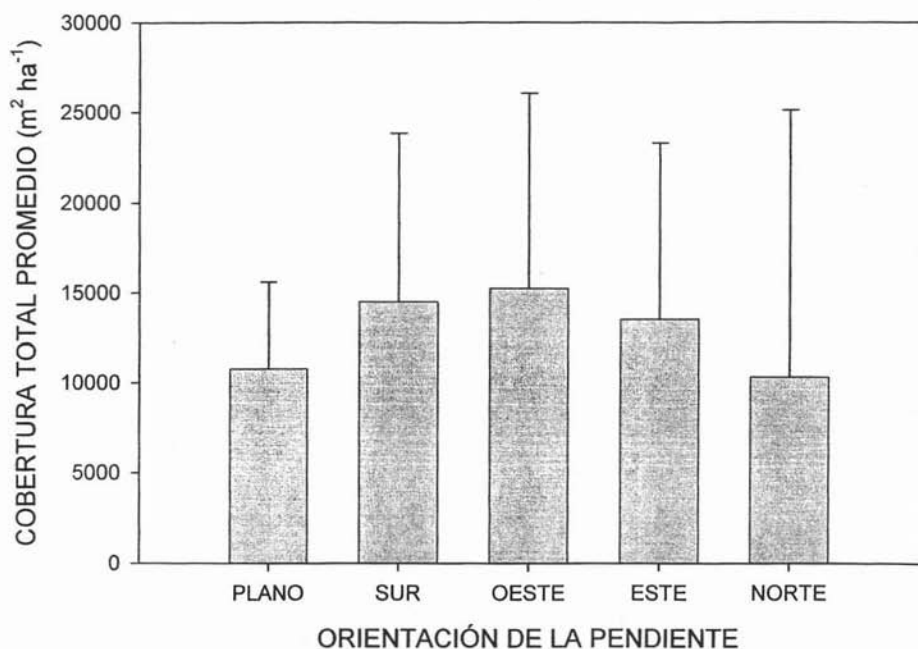
Al igual que en el caso de la elevación, la repartición del hábitat entre las especies del género *Bursera* es notable. *Bursera laxiflora* es muy importante en las laderas más secas orientadas hacia el Sur, aunque paradójicamente presenta un segundo pico en orientación Norte. *B. lancifolia* presenta su pico de abundancia en las laderas Este y Oeste, *B. fagaroides* está casi completamente restringida a orientaciones Oeste, y *B. penicillata* sigue un patrón similar al de *B. lancifolia*, pero con valores bajos de abundancia (Figura 17).

La cobertura total, expresada como el promedio de la sumatoria de las coberturas en cada unidad de muestreo, no presenta diferencia significativa entre orientaciones de la pendiente (Figura 18). Al igual que en el caso de la elevación, las especies parecen distribuirse de manera independiente unas de otras a lo largo del gradiente de humedad que crean las diferentes orientaciones de las laderas. En orden de sequedad (aunque no equidistantes): laderas Sur, laderas Oeste, laderas Este y laderas Norte, siendo los sitios planos una categoría más heterogénea (Figuras 16a,b y 16c,d).

Algunas especies presentan claras tendencias a estar presentes en una orientación determinada. Por ejemplo, los elementos xerofíticos que también están presentes en el Desierto Sonorense se encuentran predominantemente en sitios planos o en laderas orientadas hacia el Sur y el Oeste. Tal es el caso de *Stenocereus thurberi*, *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Fouquieria macdougalii*, *Bursera lancifolia* y *Diphysa occidentalis*. Otras especies tienen una amplia tolerancia, por lo que se les encuentra



**Figura 17.** Diagrama esquemático que muestra la cobertura de cuatro especies del género *Bursera* en diferentes orientaciones de la pendiente en la zona de estudio. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.



**Figura 18.** Cobertura total promedio, expresada como la sumatoria de las coberturas de todas las especie en cada unidad de muestreo. Las líneas en cada barra, representan un error estándar por arriba del promedio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

en casi todas las pendientes, como en el caso de *Brickellia brandegei*, *Erythrina flabelliformis*, *Cordia sonorae*, *Tabebuia impetiginosa* y *Senna atomaria*. Es notable que las especies dominantes de toda la comunidad, que incluyen a *Ipomoea arborescens*, *Jatropha cordata*, *Ambrosia cordifolia*, *Croton flavescens*, *Chloroleucon mangense* y *Lysiloma divaricatum* presentan todos amplios intervalos de tolerancia respecto a la orientación de las laderas (Figura 16b).

#### **4.5 Frecuencia y cobertura de las especies en las unidades de muestreo**

Con base en la ubicación de los sitios y la experiencia de campo, se agruparon las unidades de muestreo en cinco clases principales. La primera incluye a 13 unidades de muestreo que comparten la característica de ser asociaciones ribereñas, principalmente de baja elevación; la segunda agrupa a cuatro unidades de muestreo que se reconocieron como matorrales y que se encuentran en sitios muy secos de baja elevación; la tercera, que tiene el mayor número de muestras (n=49), agrupa las unidades de muestreo de SBC, y la cuarta (n=8) es una asociación que marca la transición entre la SBC y el encinar en los sitios de mayor elevación (Tabla 7).

En las unidades de muestreo de las comunidades ribereñas no se encontraron especies con frecuencia relativa mayor al 62%. Las especies con mayor frecuencia relativa fueron: *Guazuma ulmifolia*, *Chloroleucon mangense*, *Prosopis velutina*, *Senna atomaria* y *Taxodium distichum* (Tabla 7).

En los matorrales, *Brongniartia alamosana*, *Croton flavescens*, *Lysiloma divaricatum* y *Panicum* sp., presentan frecuencias relativas del 100%, esto es, están presentes en todas las unidades de muestreo de esta vegetación, mientras que a *Bursera laxiflora* y a *Haematoxylum brasiletto* se les encontró en un 75% de las muestras (Tabla 7).

Las especies con mayor frecuencia relativa en la unidad de vegetación de SBC son *Ambrosia cordifolia*, *Croton flavescens*, *Jatropha cordata* y *Lysiloma divaricatum* pero ninguna alcanza valores del 100%. Como se trata de la unidad de vegetación más rica

**Tabla 7.** Frecuencia de aparición de las especies en las unidades de vegetación en la zona de estudio. Las cifras corresponden a la frecuencia expresada como el porcentaje de aparición de cada especie en las líneas de intersección muestreadas en cada unidad de vegetación. Arroyo = comunidades ribereñas, Mat = matorral, SBC = selva baja caducifolia, Enc/SBC = transición de SBC a encinar. Los números en negritas corresponden a las especies que sólo fueron encontradas en una sola unidad de vegetación.

Especie	Unidad de Vegetación				Especie	Unidad de Vegetación			
	Arroyo (n=13)	Mat (n=4)	SBC (n=49)	Enc/SBC (n=8)		Arroyo (n=13)	Mat (n=4)	SBC (n=49)	Enc/SBC (n=8)
<i>Abutilon</i> sp.	8		2		Cont...				
<i>Acacia cochliacantha</i>	8		16		<i>Hintonia latiflora</i>		25	18	
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	23				<i>Hybanthus mexicanus</i>	8		2	
<i>Ambrosia cordifolia</i>	23		76	13	<i>Ipomoea arborescens</i>			37	
<i>Baccharis salicifolia</i>	23				<i>Janusia linearis</i>			2	
<i>Brachiaria fasciculata</i>		25	8		<i>Jatropha cordata</i>	8		71	50
<i>Brickellia brandegei</i>	8	25	10		<i>Justicia candicans</i>			6	
<i>Brongniartia alamosana</i>		100	12		<i>Lantana camara</i>	8		14	
<i>Sideroxylon occidentale</i>			2		<i>Lantana hispida</i>			18	
<i>Bursera fagaroides</i>			6		<i>Lysiloma divaricatum</i>	23	100	84	38
<i>Bursera lancifolia</i>			18		<i>Lysiloma watsonii</i>			8	
<i>Bursera laxiflora</i>		75	20	13	<i>Mammillaria</i> sp.			2	
<i>Bursera penicillata</i>			8		<i>Callaeum macropterum</i>			2	
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	38		6		<i>Mentzelia aspera</i>		50		
<i>Capsicum annuum</i>			2		<i>Merremia palmeri</i>	8	50		
<i>Cardiospermum corindum</i>			4		<i>Mimosa palmeri</i>				50
<i>Cassia biflora</i>			2		<i>Notholaena hermannii</i>	24			
<i>Ceiba acuminata</i>	8		8		<i>Opuntia arbuscula</i>			2	
<i>Celtis reticulata</i>			2		<i>Pachycereus pecten-</i>				
<i>Cissus</i> sp.			2		<i>aboriginum</i>	8		10	
<i>Cordia sonora</i>			6	13	<i>Panicum</i> sp.		100		
<i>Croton flavescens</i>	15	100	86	88	<i>Pisonia capitata</i>	46		6	
<i>Cryptostegia grandiflora</i>			4		<i>Porophyllum macrocephalum</i>		25		
<i>Chloroleucon mangense</i>	46		33	75	<i>Prosopis glandulosa</i>	8			
<i>Desmodium</i> sp.			4		<i>Prosopis velutina</i>	38			
<i>Dicliptera resupinata</i>	15				<i>Quercus chihuahuensis</i>			2	63
<i>Diphysa occidentalis</i>		50	6	13	<i>Quercus tuberculata</i>			8	
<i>Dodonaea viscosa</i>				13	<i>Randia echinocarpa</i>	23			
<i>Zizyphus amole</i>	23				<i>Randia sonorensis</i>			6	
<i>Elytraria imbricata</i>			4		<i>Randia thurberi</i>			4	
<i>Entrina flabelliformis</i>			4		<i>Sebastiania bilocularis</i>	8		2	
<i>Euphorbia hirta</i>		25			<i>Senna atomaria</i>	38		20	
<i>Ficus trigonata</i>	8				<i>Senna pallida</i>	8		16	
<i>Fouquieria maddougali</i>			16	13	<i>Solanum tridynamum</i>	8		6	
<i>Guaiaacum coulteri</i>	8		4		<i>Stenocereus thurberi</i>			4	
<i>Guazuma ulmifolia</i>	62		6		<i>Tabebuia impetiginosa</i>	8		27	25
<i>Haematoxylum brasiletto</i>		75	4		<i>Taxodium distichum</i>	38			
<i>Havardia mexicana</i>	8				<i>Vernonia triflosculosa</i>	8		8	
<i>Helicteres baruensis</i>			2		<i>Viguiera dentata</i>	15		6	
<i>Henrya insularis</i>	8				<i>Vitex mollis</i>				38
<i>Hibiscus</i> sp.			2		<i>Lonchocarpus hermannii</i>	23		10	
					NÚMERO DE ESPECIES	37	14	60	14
					ESPECIES ÚNICAS	11	4	28	3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

en especies, un gran número de ellas están presentes con valores muy bajos de frecuencia (Tabla 7).

La transición de SBC a encinar se separó por su marcada diferencia en términos de composición y abundancia. En la vegetación que denominamos encinar/SBC, las especies mejor representadas fueron *Croton flavescens* con el 88% de frecuencia relativa, seguida de *Chloroleucon mangense* y *Quercus chihuahuensis* con 75% y 63%, respectivamente, mientras que *Mimosa palmeri* y *Jatropha cordata* tienen el 50% cada una, *Vitex mollis* y *Lysiloma divaricatum* el 38% y *Tabebuia impetiginosa* con un 25% (Tabla 7).

#### 4.5.1 Comunidades ribereñas

La cobertura de las especies ribereñas está dominada por *Guazuma ulmifolia*, una especie que alcanza su máxima densidad y porte en los arroyos y cañones. Junto con *Guazuma ulmifolia*, otras especies alcanzan altos valores de cobertura, como es el caso de *Chloroleucon mangense*, *Taxodium distichum*, *Prosopis velutina* y *Pisonia capitata*. Las zonas ribereñas están dominadas por los amplios espacios abiertos que dejan las avenidas e inundaciones y que permiten tan sólo el establecimiento de especies ripícolas o riparias con profundas raíces de anclaje, o arbustos de corta vida que aprovechan de manera oportunista el disturbio recurrente debido a las inundaciones torrenciales anuales (Tabla 8).

#### 4.5.2 Matorrales espinosos

En los matorrales espinosos, la especie dominante en términos de cobertura fue la gramínea perenne *Panicum* sp. (Tabla 9). Especies muy importantes que solamente aparecen en los matorrales son *Brongniartia alamosana* y *Haematoxylum brasiletto*, mientras que las codominantes, *Lysiloma divaricatum* y *Croton flavescens*, al igual que *Bursera laxiflora*, son muy abundantes en casi cualquier asociación de la región. La cobertura total en los matorrales es la más alta encontrada en el área de estudio, con más de 7,000 m<sup>2</sup> de cobertura de plantas perennes por hectárea, aunque gran parte de la cobertura total puede atribuirse a la presencia de *Panicum* sp.



**Tabla 8.** Cobertura promedio ( $m^2 ha^{-1} \pm$  error estándar de la media, EE) por especie en las líneas de intersección ( $n = 13$ ) con vegetación ribereña en la Sierra de San Javier, Sonora, México.

Especie	Cobertura Promedio	$\pm$ EE
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2287.18	681.61
<i>Chloroleucon mangense</i>	1723.08	667.05
<i>Taxodium distichum</i>	979.49	494.95
<i>Prosopis velutina</i>	678.21	312.79
<i>Pisonia capitata</i>	629.49	378.58
<i>Ficus trigonata</i>	556.41	556.41
<i>Lysiloma divaricatum</i>	548.72	382.96
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	514.10	425.58
<i>Senna atomaria</i>	488.46	226.23
<i>Zizyphus amole</i>	467.95	303.78
<i>Lonchocarpus hermannii</i>	448.72	337.31
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	429.49	210.10
<i>Merremia palmeri</i>	374.36	374.36
<i>Ambrosia cordifolia</i>	237.18	148.64
<i>Prosopis glandulosa</i>	204.62	204.62
<i>Havardia mexicana</i>	150.00	150.00
<i>Vernonia triflosculosa</i>	143.59	143.59
<i>Baccharis salicifolia</i>	123.08	94.91
<i>Randia echinocarpa</i>	120.51	81.24
<i>Solanum tridynamum</i>	110.26	110.26
<i>Croton flavescens</i>	103.85	72.11
<i>Jatropha cordata</i>	94.87	94.87
<i>Sebastiania biloculare</i>	85.90	85.90
<i>Dicliptera resupinata</i>	66.67	60.06
<i>Hybantus mexicanus</i>	52.56	52.56
<i>Guaiaacum coulteri</i>	44.87	44.87
<i>Henrya insularis</i>	23.08	23.08
<i>Viguiera dentata</i>	21.79	19.19
<i>Acacia cochliacantha</i>	20.51	20.51
<i>Abutilon</i> sp.	16.67	16.67
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	10.26	10.26
<i>Lantana camara</i>	8.97	8.97
<i>Ceiba acuminata</i>	7.69	7.69
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	7.69	7.69
<i>Senna pallida</i>	6.41	6.41
<i>Brickellia brandegei</i>	2.56	2.56
<b>Cobertura total</b>	<b>11789.23</b>	<b>1207.97</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 9.** Cobertura promedio ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1} \pm$  error estándar de la media, EE) por especie en las líneas de intersección ( $n= 4$ ) con vegetación de matorral en la Sierra de San Javier, Sonora, México.

Especie	Cobertura Promedio	$\pm$ EE
<i>Panicum sp.</i>	7320.83	869.80
<i>Lysiloma divaricatum</i>	2427.50	1234.50
<i>Croton flavescens</i>	2358.33	207.78
<i>Haematoxylum brasiletto</i>	2187.50	782.13
<i>Brogniartia alamosana</i>	1558.33	369.59
<i>Bursera laxiflora</i>	704.17	474.85
<i>Brickellia brandegei</i>	479.17	479.17
<i>Merremia palmeri</i>	237.50	172.99
<i>Diphysa occidentalis</i>	191.67	110.87
<i>Hintonia latiflora</i>	116.67	116.67
<i>Mentzelia aspera</i>	54.17	48.77
<i>Porophyllum macrocephalum</i>	29.17	29.17
<i>Brachiaria fasciculata</i>	16.67	16.67
<i>Euphorbia hirta</i>	12.50	12.50
<i>Notholaena hermannii</i>	12.50	12.50
<b>Cobertura total</b>	<b>17706.67</b>	<b>1735.77</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.5.3 Selva Baja Caducifolia

Los elementos arbóreos presentan su máxima expresión en las comunidades de selva baja caducifolia, donde las especies dominantes en términos de cobertura del follaje son *Lysiloma divaricatum*, *Croton flavescens*, *Jatropha cordata* y *Chloroleucon mangense* (Tabla 10). Debe destacarse la importancia de *Ambrosia cordifolia* como un importante elemento del sotobosque y la cobertura del espacio vacío que aunque no es una especie, también es relevante en términos de área pues refleja el grado de apertura del dosel. La vegetación en algunos lugares presenta varios estratos, en otros, debido a la compleja orografía, rocosidad y diferencias en los suelos, presenta un menor desarrollo vertical.

#### 4.5.4 Transiciones de Selva Baja Caducifolia a Encinares

Las transiciones de SBC a encinares son notables por su heterogeneidad y escasa riqueza florística. En las transiciones están representados los encinos (*Quercus chihuahuensis*), junto con *Croton flavescens*, *Vitex mollis*, *Mimosa palmeri* y *Chloroleucon mangense*, que son las especies más abundantes de estas comunidades de mayor elevación, cuya principal característica es la presencia de áreas abiertas que en promedio representan más de un tercio de áreas sin vegetación perenne en suelos rojos con probable alteración hidrotérmica (Tabla 11).

En términos de cobertura total, tanto en la SBC como en las comunidades ribereñas y los matorrales, la cobertura total de las copas de árboles y arbustos perennes excede la superficie del terreno, mientras que en las otras unidades de vegetación, especialmente en una de las transiciones de SBC a encinar, se presentan valores inferiores al área muestreada (Figura 19). Sin embargo, al eliminar la cobertura debida al pasto perenne *Panicum* sp. que sólo está presente en los matorrales, las únicas unidades de vegetación con coberturas específicas de 1 fueron la SBC y las comunidades ribereñas (Figura 19).

**Tabla 10.** Cobertura promedio ( $m^2 ha^{-1} \pm$  error estándar de la media, EE) por especie en las líneas de intersección ( $n = 49$ ) con vegetación de SBC en la zona de estudio.

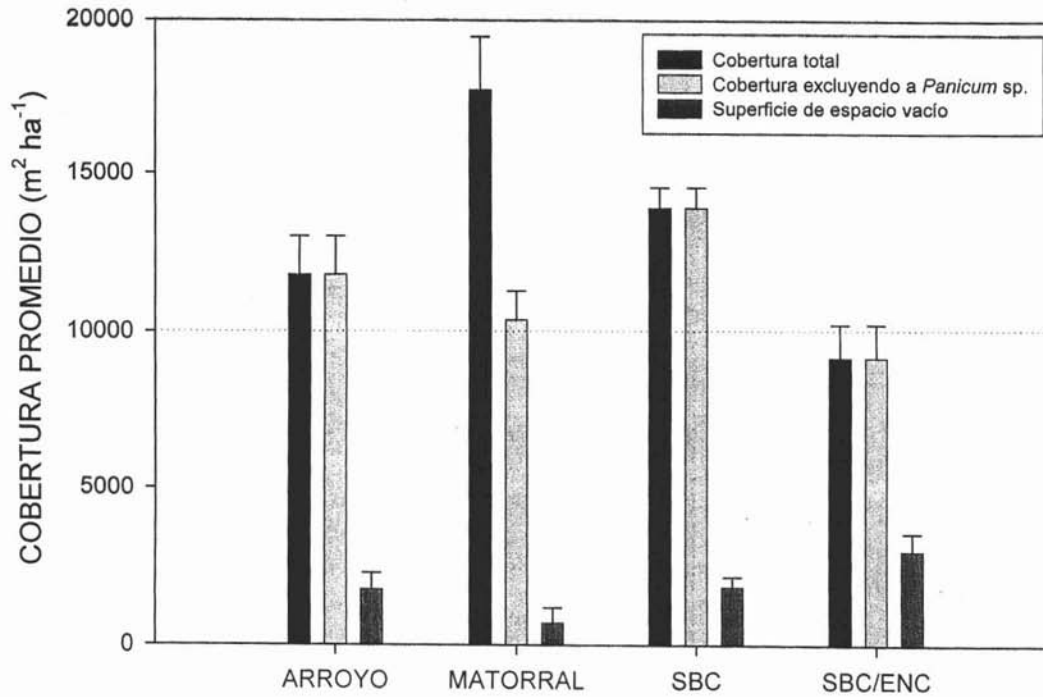
Especie	Cobertura Promedio	$\pm$ EE
<i>Lysiloma divaricatum</i>	3753.13	416.69
<i>Croton flavescens</i>	2011.77	250.78
<i>Ambrosia cordifolia</i>	1182.31	178.81
<i>Jatropha cordata</i>	885.99	155.00
<i>Chloroleucon mangense</i>	851.70	253.70
<i>Ipomoea arborescens</i>	659.18	155.75
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	539.12	177.78
<i>Bursera laxiflora</i>	406.46	170.67
<i>Acacia cochliacantha</i>	341.16	149.84
<i>Brachiaria fasciculata</i>	290.48	199.98
<i>Bursera lancifolia</i>	289.46	109.31
<i>Hintonia latiflora</i>	250.68	96.27
<i>Ceiba acuminata</i>	239.12	142.77
<i>Lantana cámara</i>	237.42	141.39
<i>Quercus tuberculata</i>	203.06	140.68
<i>Lonchocarpus hermannii</i>	175.85	78.8
<i>Brongniartia alamosana</i>	160.20	86.65
<i>Senna atomaria</i>	140.68	52.16
<i>Viguiera dentata</i>	124.83	102.50
<i>Guazuma ulmifolia</i>	119.05	79.81
<i>Lysiloma watsonii</i>	108.84	54.66
<i>Vernonia triflosculosa</i>	93.54	60.60
<i>Fouquieria macdougalii</i>	77.21	35.77
<i>Justicia candicans</i>	75.17	61.31
<i>Brickellia brandegei</i>	74.83	46.83
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	65.99	34.55
<i>Bursera fagaroides</i>	54.76	41.74
<i>Randia sonorensis</i>	54.08	34.03
<i>Cordia sonora</i>	52.38	31.50
<i>Pisonia capitata</i>	46.94	32.18
<i>Bursera penicillata</i>	43.20	23.12
<i>Senna pallida</i>	40.14	16.42
<i>Sideroxylon occidentale</i>	29.59	29.59
<i>Erythrina flabelliformis</i>	27.89	23.52
<i>Lantana hispida</i>	24.15	10.74
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	19.39	12.87
<i>Guaicum coulteri</i>	18.37	17.03
<i>Diphysa occidentalis</i>	15.31	13.62
<i>Haematoxylum brasiletto</i>	13.61	12.93
<i>Cryptostegia grandiflora</i>	11.22	8.30
<i>Desmodium sp.</i>	10.88	8.16
<i>Cardiospermum corindum</i>	10.54	7.57
<i>Opuntia arbuscula</i>	10.20	10.20
<i>Helicteres baruensis</i>	8.16	8.16
<i>Sebastiania biloculare</i>	7.48	7.48
<i>Celtis reticulata</i>	6.80	6.80
<i>Quercus chihuahuensis</i>	6.80	6.80
<i>Randia thurberi</i>	6.12	4.31
<i>Stenocereus thurberi</i>	5.44	3.93
<i>Elytraria imbricata</i>	3.40	2.79
<i>Callaëum macropterum</i>	2.72	2.72
<i>Capsicum annum</i>	2.72	2.72
<i>Cassia biflora</i>	1.70	1.70
<i>Solanum tridynamum</i>	1.70	1.11
<i>Hybanthus mexicanus</i>	1.36	1.36
<i>Cissus sp.</i>	1.02	1.02
<i>Hibiscus sp.</i>	1.02	1.02
<i>Janusia linearis</i>	0.68	0.68
<i>Mammillaria sp.</i>	0.68	0.68
<i>Abutilon sp.</i>	0.41	0.41
<b>Cobertura total</b>	<b>13898.09</b>	<b>645.69</b>

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**Tabla 11.** Cobertura promedio ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1} \pm$  error estándar de la media, EE) por especie en las líneas de intersección ( $n = 8$ ) con vegetación de mezcla de SBC y encinar en la Sierra de San Javier, Sonora, México.

Especie	Cobertura	$\pm$ EE
<i>Ambrosia cordifolia</i>	31.2	31.2
<i>Bursera laxiflora</i>	183.3	183.3
<i>Cordia sonora</i>	14.5	14.5
<i>Croton flavescens</i>	2072.0	940.3
<i>Chloroleucon mangense</i>	1083.3	434.7
<i>Diphysa occidentalis</i>	8.3	8.3
<i>Dodonaea viscosa</i>	54.1	54.1
<i>Fouquieria macdougalii</i>	4.1	4.1
<i>Jatropha cordata</i>	183.3	138.8
<i>Lysiloma divaricatum</i>	279.1	176.9
<i>Mimosa palmeri</i>	528.3	314.6
<i>Quercus chihuahuensis</i>	3229.1	982.1
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	416.6	297.8
<i>Vitex mollis</i>	1089.5	628.5
<b>Cobertura total</b>	<b>9177.5</b>	<b>1058.1</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 19.** Cobertura promedio total, cobertura promedio excluyendo a *Panicum* sp, y superficie sin cobertura vegetal (espacio vacío) en cada unidad de vegetación presente en la región de San Javier, Sonora. La línea punteada indica el valor de cobertura completa en una hectárea.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### **4.6 Estructura vertical de la vegetación (Perfiles de vegetación)**

La vegetación de la región de estudio es muy heterogénea y su composición es variable dependiendo de la topografía y suelos del sitio. En particular, se puede observar la existencia de una gran variación en la organización vertical de los distintos tipos de vegetación identificados por este estudio.

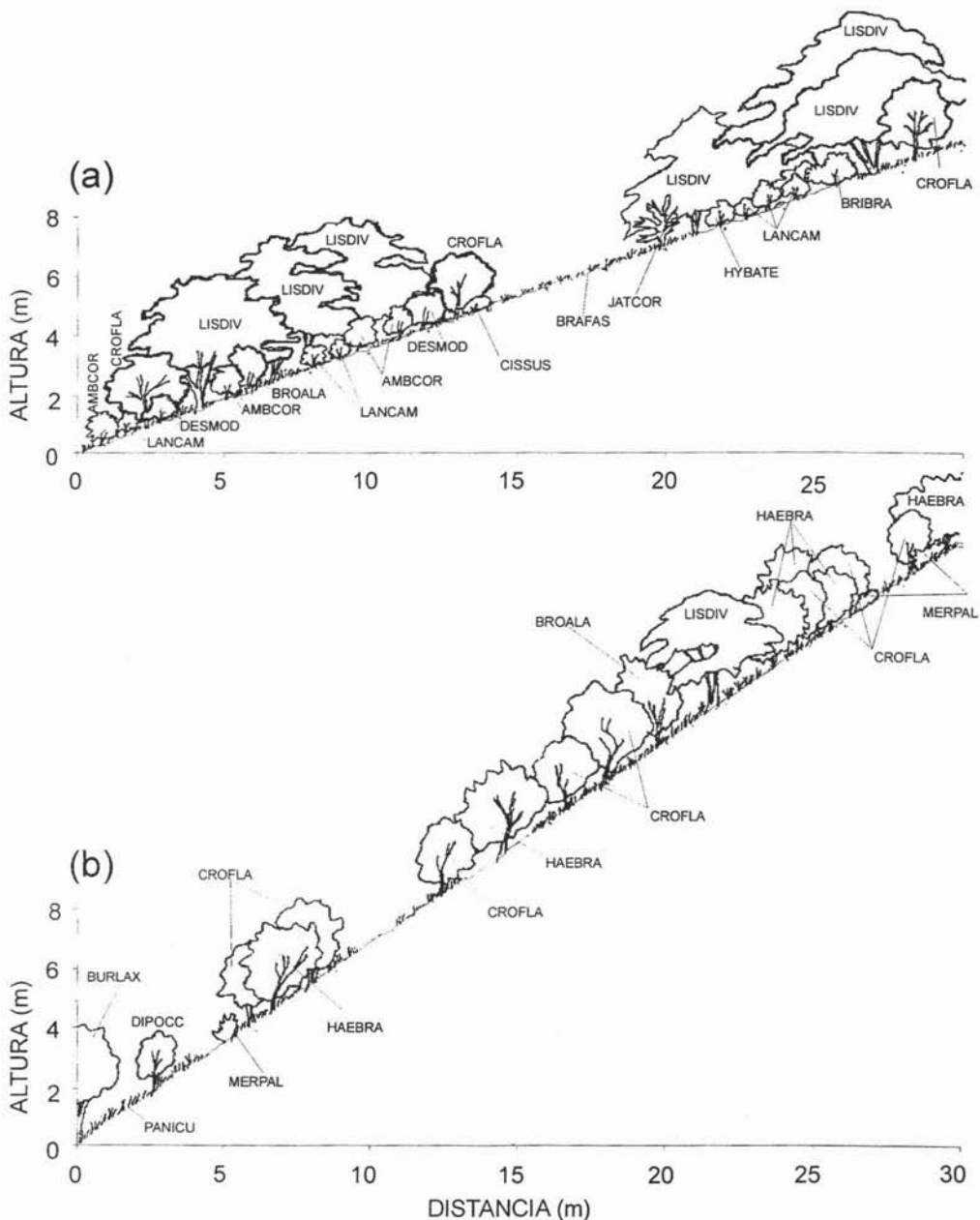
##### **4.6.1 Matorrales**

Los matorrales son las comunidades presentes en los sitios de menor elevación; asimismo, representan el tipo de vegetación de menor estatura en la zona de estudio. Están compuestos principalmente por arbustos y ocasionalmente por pequeños arbolillos entre una matriz de pasto, la cual llega a estar muy desarrollada en ausencia de pastoreo (Figura 20b). Por esta razón la cobertura es muy grande. Sin embargo, dejando a un lado los pastos (Figura 20a), la cobertura total de los elementos arbustivos deja amplias zonas abiertas y áreas casi impenetrables por la densidad de ramas bajas de los arbustos.

##### **4.6.2 Comunidades Ribereñas**

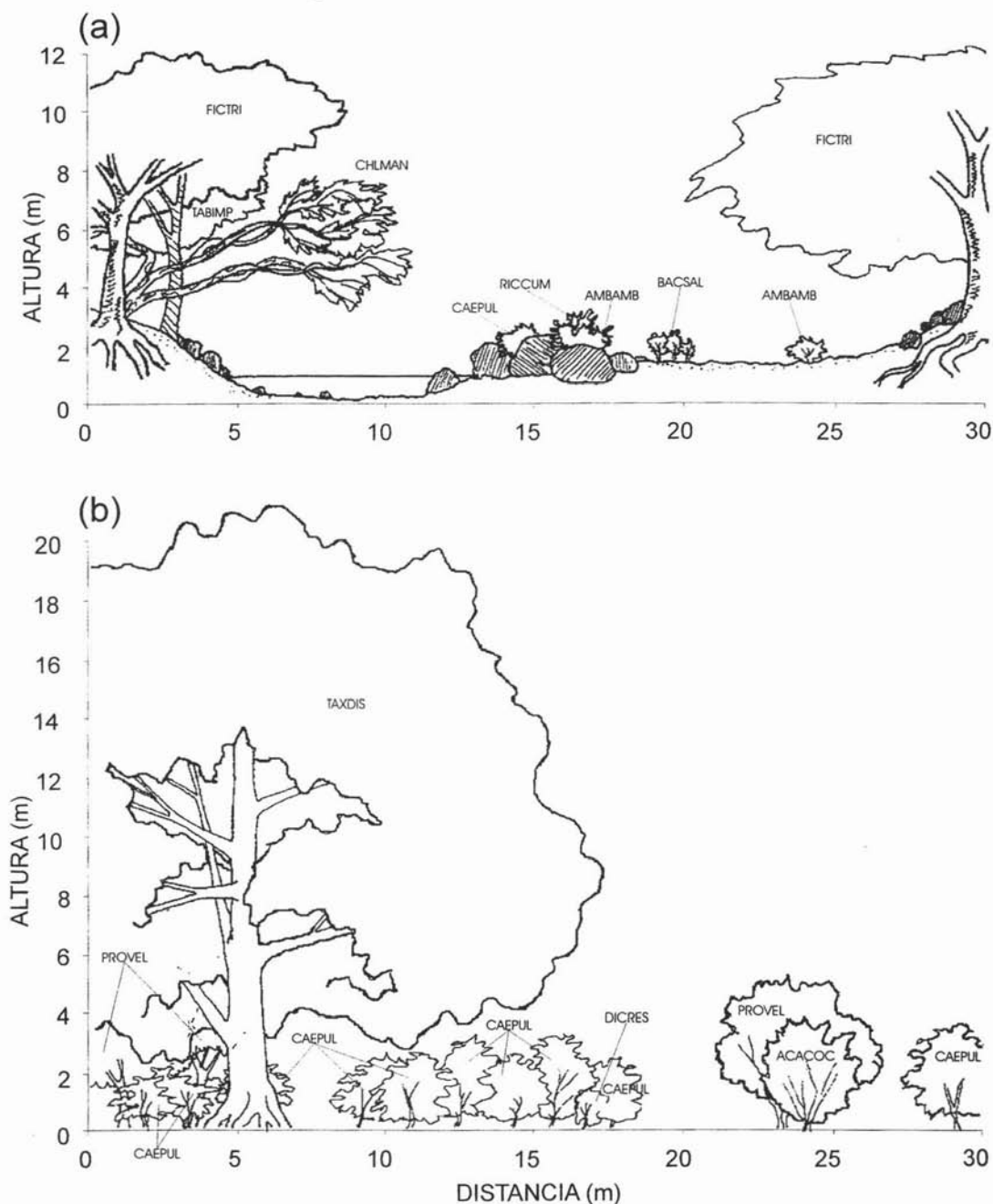
Los arroyos son las comunidades con el mayor desarrollo vertical de la vegetación, y después de la SBC, son los sitios con mayor cobertura de follaje. Con el objetivo de ilustrar los cambios en la vegetación ribereña desde el curso activo del arroyo hasta las riberas, se realizó un corte transversal en el arroyo San Javier en un sitio ubicado a los 560 m de altitud (Figura 21a). En el arroyo se encuentran árboles de hasta 12 m de altura entre los que destacan: *Ficus trigonata*, *Chloroleucon mangense* y *Tabebuia impetiginosa*. Las especies arbustivas se encuentran principalmente fuera de la proyección de la copa de los árboles, y ocupan los sitios de disturbio estacional del lecho del arroyo. Entre ellas destacan: *Caesalpinia pulcherrima*, *Baccharis salicifolia*, *Ambrosia ambrosioides* y *Ricinus communis*, junto a los grandes bloques de roca del cauce.

Los árboles de mayor porte en toda la región se concentran en los arroyos, particularmente donde existe agua disponible todo el año. Entre estos árboles destaca



**Figura 20.** Perfiles de vegetación basados en Líneas de intersección de 30 m de longitud, en el matorral a baja elevación. a.- Perfil a 560 m de elevación en una pendiente de 23° con exposición norte. b.- Perfil a 600 m de elevación en una pendiente de 36° con exposición suroeste. Las claves de las especies se muestran en la Tabla 4.





**Figura 21.** Perfiles de vegetación basados en Líneas de intersección de 30 m de longitud en ambientes riparios. a.- Corte del arroyo San Javier a 560 m de elevación. b.- Sección del arroyo en un sitio a 460 m de elevación. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.

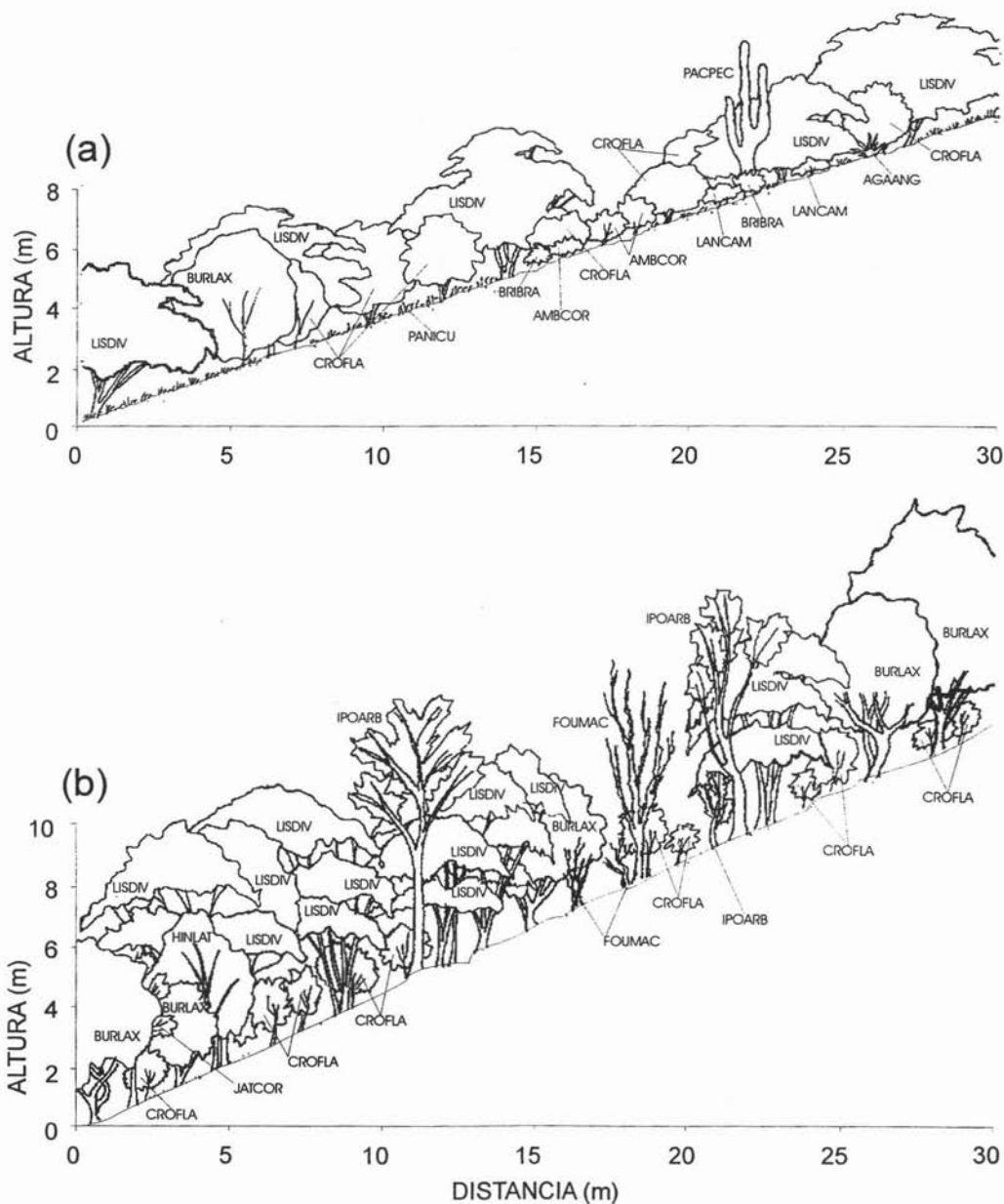
*Taxodium distichum*, el sabino, llamado también ahuehuete en el Sur de México. Ésta es la especie dominante en uno de los transectos de menor elevación (Figura 21b), donde comparte con *Prosopis velutina* la mayor cobertura. *Taxodium* se concentra en los sitios rocosos en el mismo cauce del arroyo, mientras que *Prosopis* (y también *Havardia mexicana*) prosperan en los sitios de aluvión con suelos profundos.

#### 4.6.3 Selva Baja Caducifolia

La SBC es el tipo de vegetación dominante en el área de estudio. Consecuentemente, tiene muy variadas expresiones y presenta un desarrollo vertical muy complejo. Tiene como principal característica la cobertura casi total del dosel, con muy poco espacio descubierto, y la presencia de al menos dos estratos bien diferenciados. En los sitios de menor elevación, la SBC presenta poca diferenciación vertical, individuos bajos y cobertura de pastos en el sotobosque. En elevaciones intermedias alcanza su máximo desarrollo vertical, donde pueden detectarse en los perfiles de vegetación hasta tres estratos bien diferenciados, y en los sitios más altos o mejor protegidos contiene muchas especies arbóreas, incluyendo encinos.

En las porciones bajas, la SBC presenta solamente un estrato con un desarrollo muy similar al de los sitios de matorrales, de los que se diferencia por la estatura y tronco de los árboles. Esto permite el paso de la luz y el establecimiento de pastos perennes que prosperan en un mejor ambiente luminoso. Tal es el caso del perfil que se muestra en la Figura 22a, donde la especie arbórea dominante es *Lysiloma divaricatum* con algunos individuos aislados de *Bursera laxiflora* y *Pachycereus pecten-aboriginum*. Entre los arbustos aparece como co-dominante *Croton flavescens* en un sotobosque de *Ambrosia cordifolia* y *Panicum* sp.

La selva adquiere claramente su carácter más típico en las unidades de muestreo situadas en elevaciones intermedias y sobre pendientes pronunciadas, como el que se muestra en la Figura 22b. La especie dominante en esta unidad de muestreo, al igual que en la mayoría de las líneas de intresección en SBC, es *Lysiloma divaricatum*. Sin



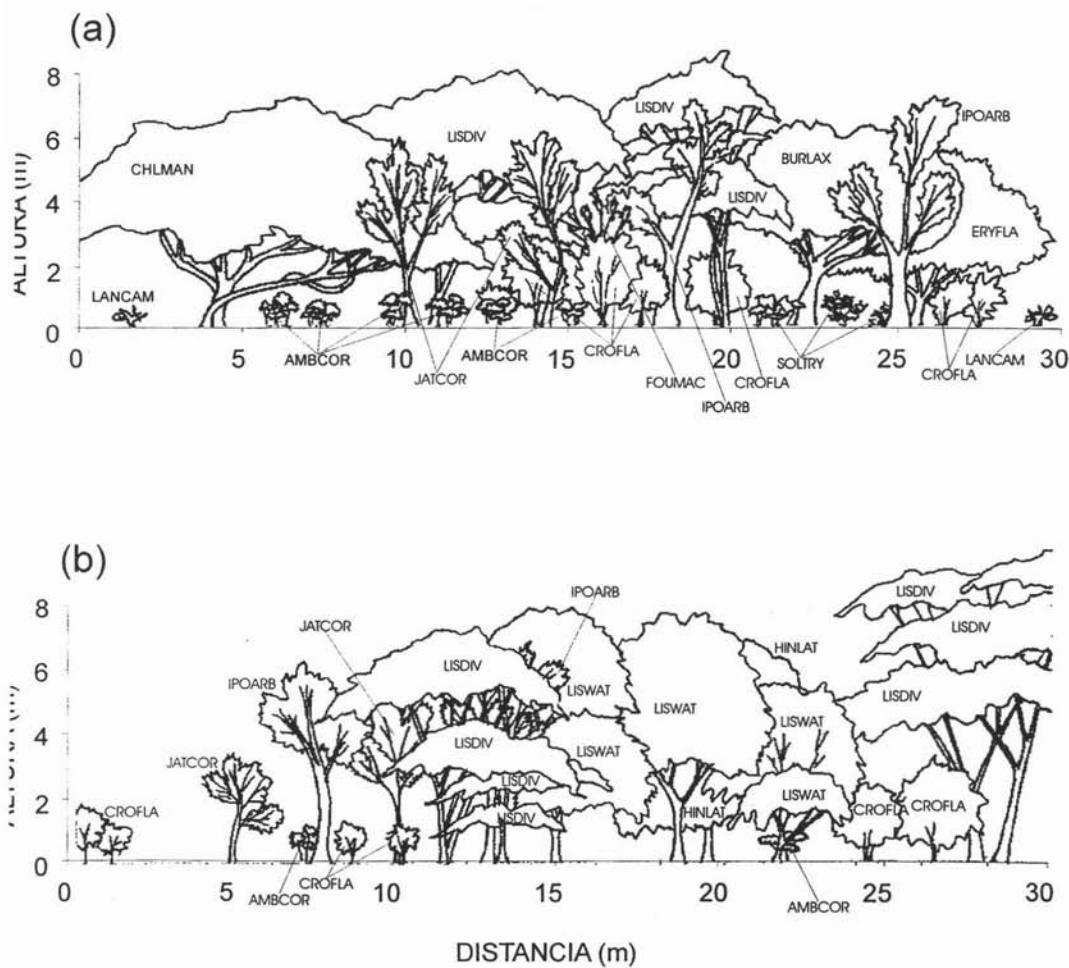
**Figura 22.** Perfiles de vegetación basados en Líneas de intersección de 30 m de longitud en sitios de SBC. a.- Sitio a 580 m de elevación en una pendiente de 22° en exposición este. b.- Sitio a 760 m de elevación en una pendiente a 23° con exposición sur. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.

embargo, existe una marcada complejidad estructural con numerosas especies que presentan estaturas muy diversas a través del perfil.

En una unidad de muestreo en terreno plano a 900 m de elevación, es dominante *Lysiloma divaricatum*, la cual comparte el dosel superior con individuos aislados de *Chloroleucon mangense*, y en menor medida con *Ipomea arborescens*, *Jatropha cordata*, *Erythrina flabelliformis* y *Bursera laxiflora*. En general, el dosel se ubica en la cota de 8 m de altura y existe una clara diferenciación en estratos (Figura 23a). En el estrato arbustivo están presentes *Croton flavescens*, la abundante *Ambrosia cordifolia* y *Solanum tridynamum*, así como algunos individuos de las verbenáceas *Lantana camara* y *L. hirsuta*.

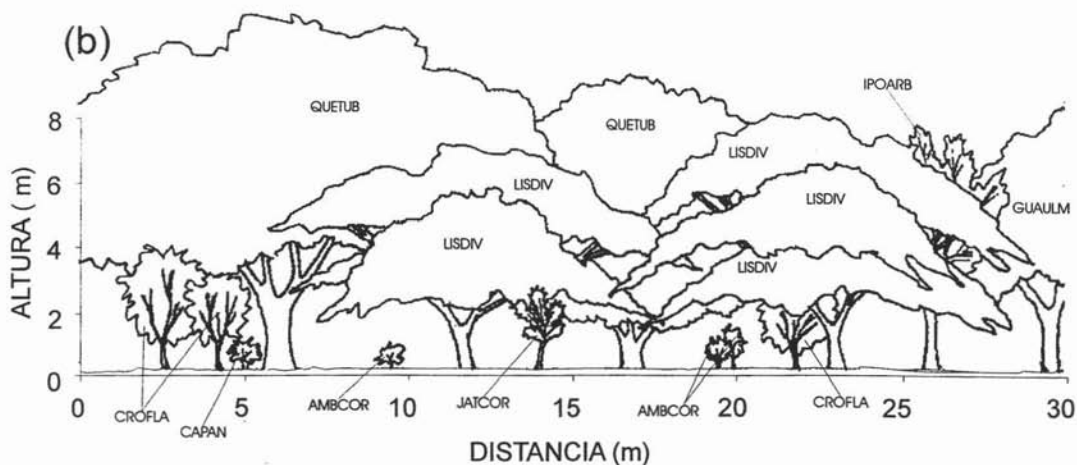
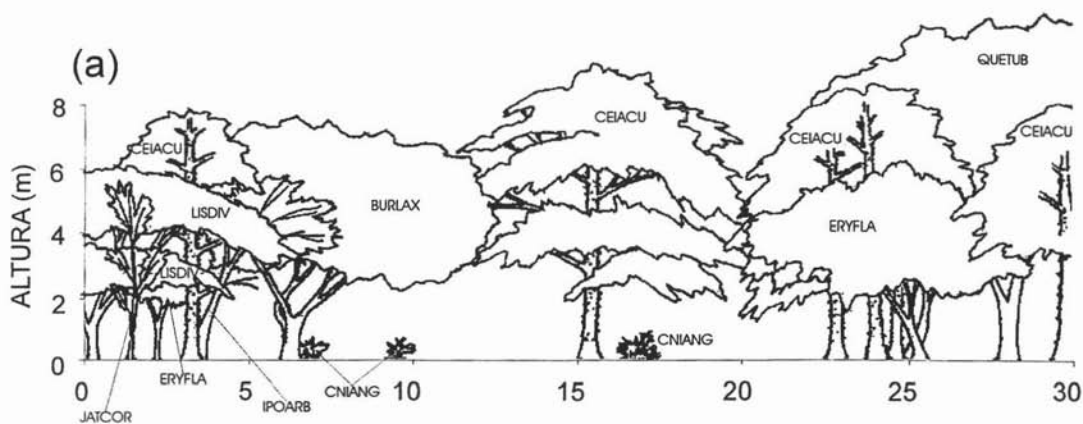
En otro perfil ubicado en terreno plano a los 900 m de elevación, se aprecia la clara dominancia de *Lysiloma divaricatum* con alturas entre 5 y 9 m, compartiendo el dosel con *L. watsonii* y algunos individuos de *Ipomoea arborescens*, *Hintonia latiflora* y *Jatropha cordata*. En el sotobosque se encuentra en el estrato arbustivo *Croton flavescens* con alturas cercanas a los 3 m, y las compuestas *Ambrosia cordifolia* y *Vernonia triflosculosa* (esta última no se muestra en el perfil de la Figura 23b).

En una ladera con exposición Este a los 1,000 m de elevación se realizó un transecto perpendicular a la marcada inclinación del terreno (35°). Las condiciones peculiares de suelo, ya que el sitio corresponde a un escarpado rodadero o depósito de talud, hace que la vegetación arbustiva y herbácea en el sotobosque sea extremadamente escasa y que los árboles estén ampliamente espaciados (Figura 24a). En el lugar dominan individuos de *Ceiba acuminata* de troncos gruesos con alturas de 5 a 9 m y *Quercus tuberculata* con alturas de hasta 10 m, ocupando un segundo término *Lysiloma divaricatum* (conocido en la región como mauto) que en las áreas vecinas es la especie más abundante, junto con *Senna atomaria*. Emergiendo de entre el rocoso suelo del sitio se observan únicamente algunos individuos de la Euphorbiaceae urticante *Cnidosculus angustidens*.



**Figura 23.** Perfiles de vegetación basados en Líneas de intersección de 30 m de longitud en selva baja caducifolia. a.-Sitio a 880 m de elevación en terreno plano. b.-Sitio a 900 m de elevación en terreno plano. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

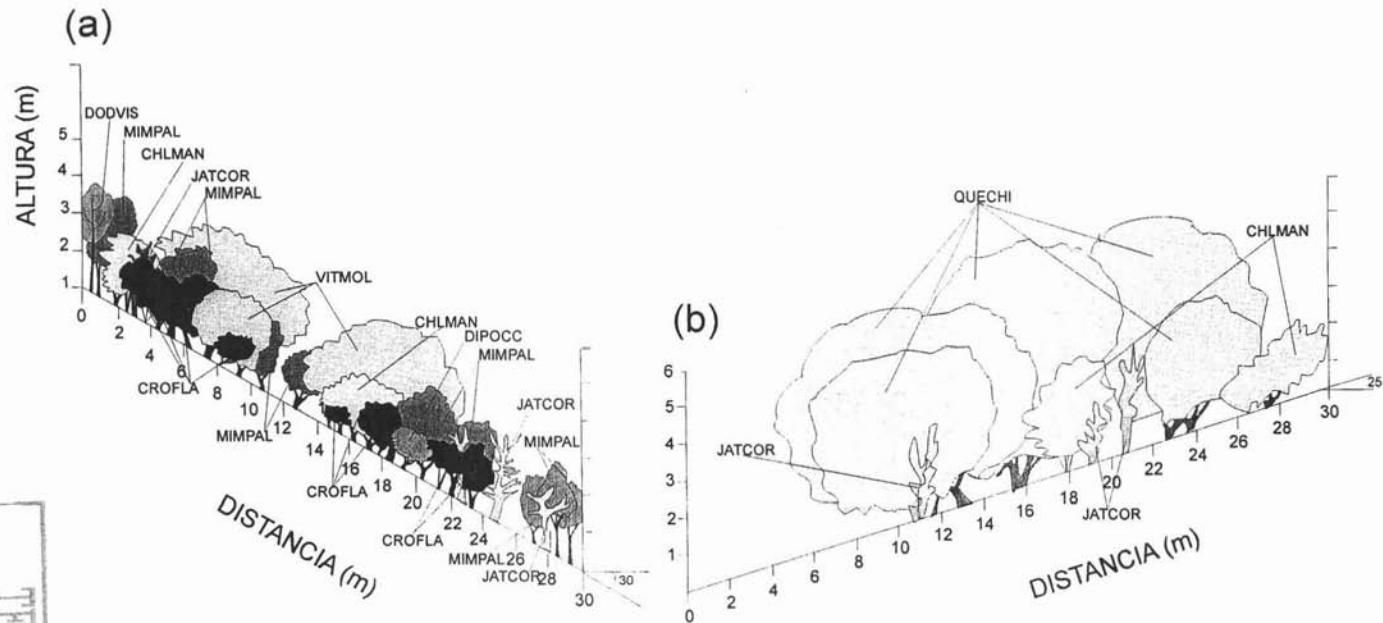


**Figura 24.** Perfiles de vegetación basados en Líneas de intersección de 30 m de longitud a 1,000 m de elevación. a.- Perfil perpendicular a una pendiente de 35° con exposición este en un depósito de talud. b.- Perfil adyacente al anterior, pero fuera del depósito de talud. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.

En los sitios de mayor elevación donde se encuentra vegetación de SBC, comienzan a aparecer especies que normalmente están asociadas a otros tipos de vegetación, pero que sin embargo forman parte de las comunidades tropicales (Figura 24b). En un sitio plano a 1,000 m de elevación, *Lysiloma divaricatum* es dominante junto con *Quercus tuberculata*. Algunos individuos de *Guazuma ulmifolia* e *Ipomoea arborescens* están también presentes. La biomasa es relativamente alta y la estatura de los árboles alcanza casi los 12 m. Dada la densa cobertura de los encinos y mautos, el escaso sotobosque está representado por individuos aislados de *Jatropha cordata*, *Croton flavescens*, *Ambrosia cordifolia* y *Capsicum annum*.

#### **4.6.4 Transiciones de Selva Baja Caducifolia a Encinares**

En las mayores elevaciones, por arriba de los 1,100 m, los encinares representan el tipo de vegetación predominante. Aunque esta vegetación no se incluyó en el muestreo, en los límites de distribución de las SBC existen notables comunidades transicionales en las que los encinos o especies asociadas a los encinares están presentes. Por ejemplo, en un sitio ubicado a 800 m de elevación, existen dos laderas contiguas con orientación opuesta, cuyos perfiles de vegetación se muestran en la Figura 25. Se observa que la estructura y composición de la vegetación es completamente distinta en cada una de ellas; sin embargo, ambas comparten la característica de presentar especies que se encuentran en la SBC, pero que, en estas condiciones, se desarrollan con un hábito arbustivo. En la exposición Sur tenemos una cerrada comunidad semi-arbustiva de SBC de talla no mayor de 4 m de estatura, en donde predominan *Vitex mollis* y *Mimosa palmeri*, con algunos individuos de *Chloroleucon mangense*, *Jatropha cordata*, *Diphysa occidentalis*, *Dodonaea viscosa* y *Croton flavescens*, mientras que en la ladera opuesta, con exposición Norte, se ubica un encinar abierto de *Quercus chihuahuensis*, que alcanza hasta 7 m de altura, con algunos individuos de baja talla de *Jatropha cordata*, *Chloroleucon mangense*, y escasos individuos notablemente pequeños de *Ipomoea arborescens*.



**Figura 25.** Perfiles de vegetación basados en líneas de intersección de 30 m de longitud en dos laderas contiguas de una cañada a los 800 m de elevación. a.- Sitio en ladera con exposición sur y vegetación de selva baja caducifolia. b.- Sitio en una ladera con exposición norte y vegetación de encinar. La clave de las especies se muestra en la Tabla 4.



#### 4.7 Riqueza y diversidad

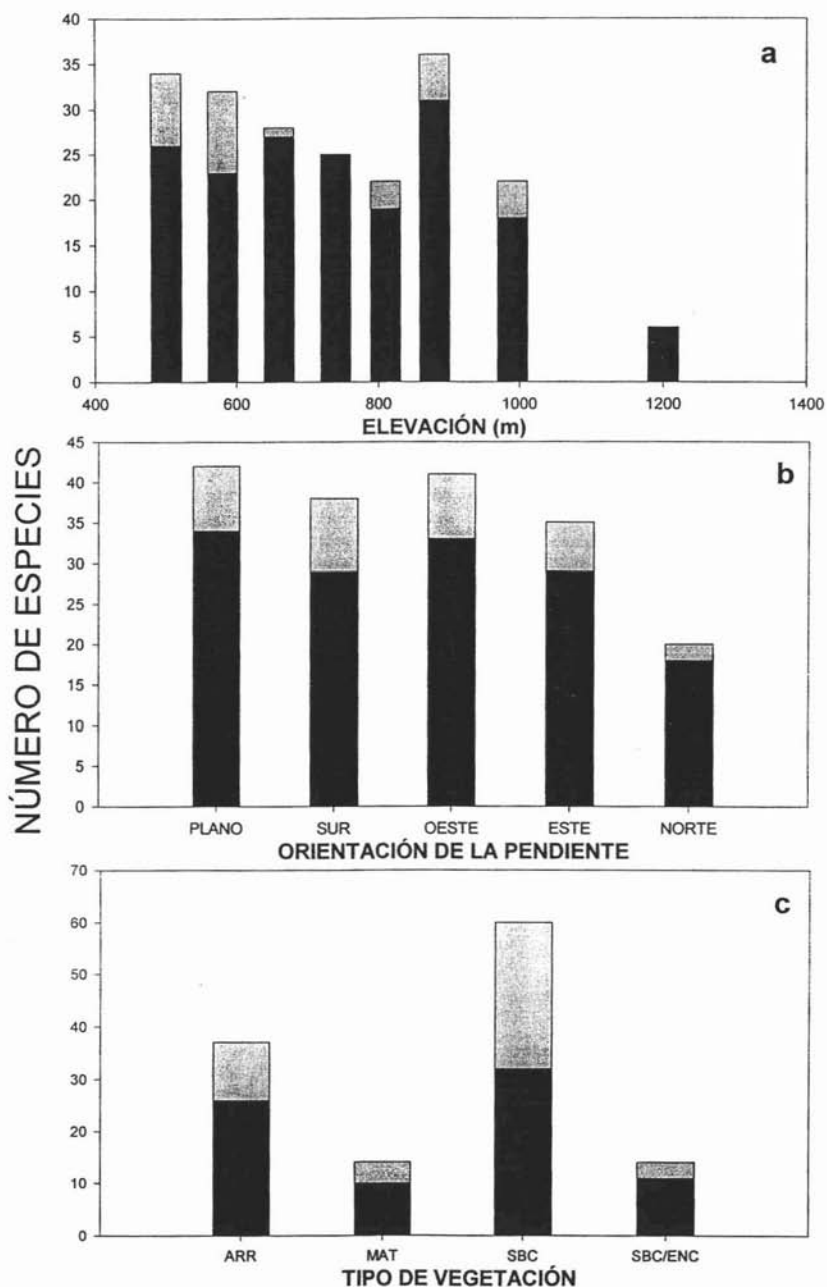
La riqueza de especies muestra una aparente disminución paulatina con respecto a la elevación, ya que las elevaciones bajas presentan una mayor riqueza que los sitios más elevados (Figura 26a). Sin embargo, en la elevación de 900 m se presenta un pico máximo de riqueza, el cual coincide con la ubicación de las SBC mejor desarrolladas en la región. Para comprobar la consistencia de dicha observación, se graficaron los datos individuales de diversidad de cada transecto y se encontró una relación estadísticamente significativa entre la diversidad (medida con el índice de Shannon-Wiener) y la elevación. Esta variable, explica 19% de la variación en la diversidad (Figura 27).

Al segregar la riqueza de especies en taxa que solamente aparecen en una elevación determinada, de nuevo los sitios más bajos son los que tienen más especies únicas, mientras que los sitios de mayor elevación no presentan ninguna especie exclusiva (Figura 26a).

Las laderas orientadas al Norte son comparativamente pobres en especies, ya que contienen menos de la mitad de las especies de los sitios planos (Figura 26b). Además, no sólo son más pobres, sino que presentan menos especies exclusivas de esa orientación.

Al graficar la frecuencia de aparición de especies por tipo de vegetación, es patente que el mayor número de especies está presente en la SBC, la cual contiene 60 especies. A este tipo de vegetación le sigue la vegetación ribereña con 36 especies, mientras que los matorrales y las transiciones de SBC a encinar son relativamente pobres en especies con 15, 8 y 11 especies, respectivamente (Figura 26c).

El número de especies exclusivas de cada tipo de vegetación alcanza su máximo en la SBC con 29, seguido por la vegetación de los arroyos con 11 especies (Figura 26c). Los matorrales comparten la mayoría de sus especies con la SBC y con los arroyos, y solamente presentan cuatro especies exclusivas. La transición de SBC a encinar es



**Figura 26.** a) Riqueza de especies en función de la elevación. b) Relación entre la riqueza de especies y la orientación de pendientes. c) Riqueza de especies por tipo de vegetación. ARR=vegetación ribereña. MAT= matorral. SBC=selva baja caducifolia. SBC/ENC=transición entre selva baja caducifolia y encinar. Las secciones de color claro en las barras indican el número de especies que sólo están presentes en esa categoría.

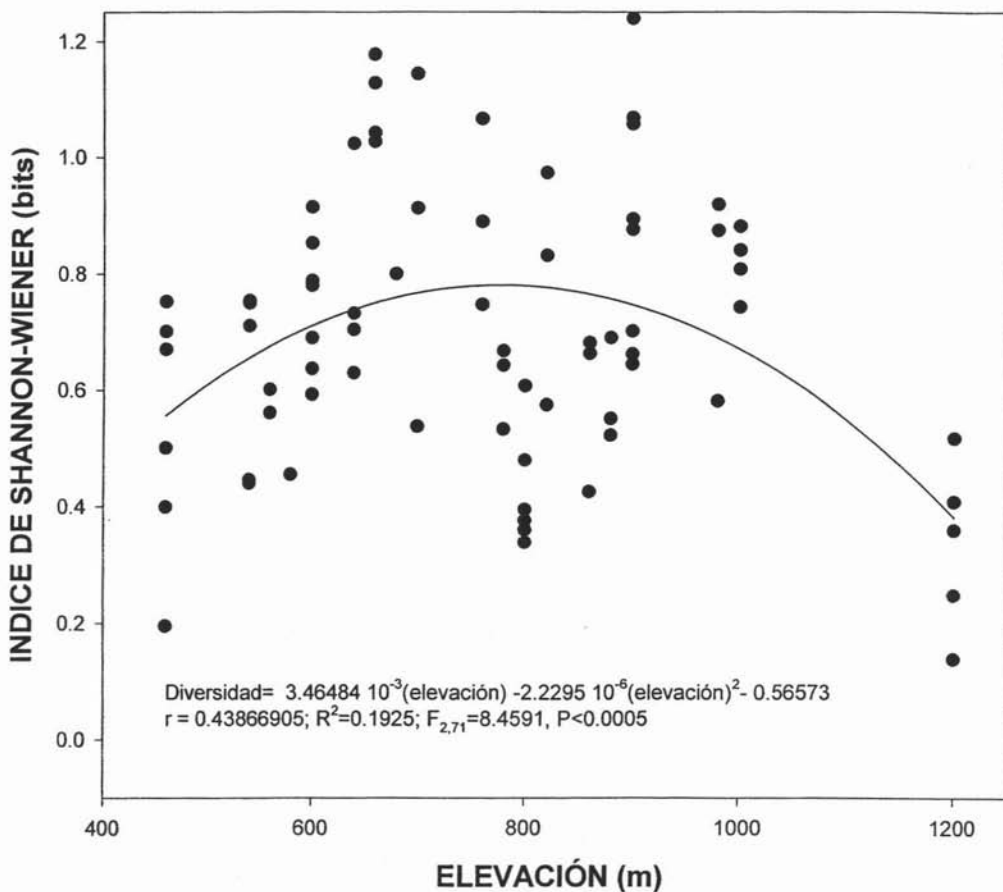
aún más pobre en elementos especiales, ya que tiene sólo dos especies exclusivas, ilustrando con ello el cambio hacia una comunidad menos rica (Figura 26c).

La cobertura total resulta mejor predictor de la diversidad que el tipo de vegetación, ya que casi el 50% de la variancia en la diversidad, puede ser explicada por la cobertura (Figura 28). A su vez, entre los factores físicos, el mejor predictor de la diversidad es la elevación, ya que las mayores coberturas se relacionan con las elevaciones medias en el área de estudio (Figura 27).

#### **4.8 Mapa de vegetación derivado de la fotointerpretación**

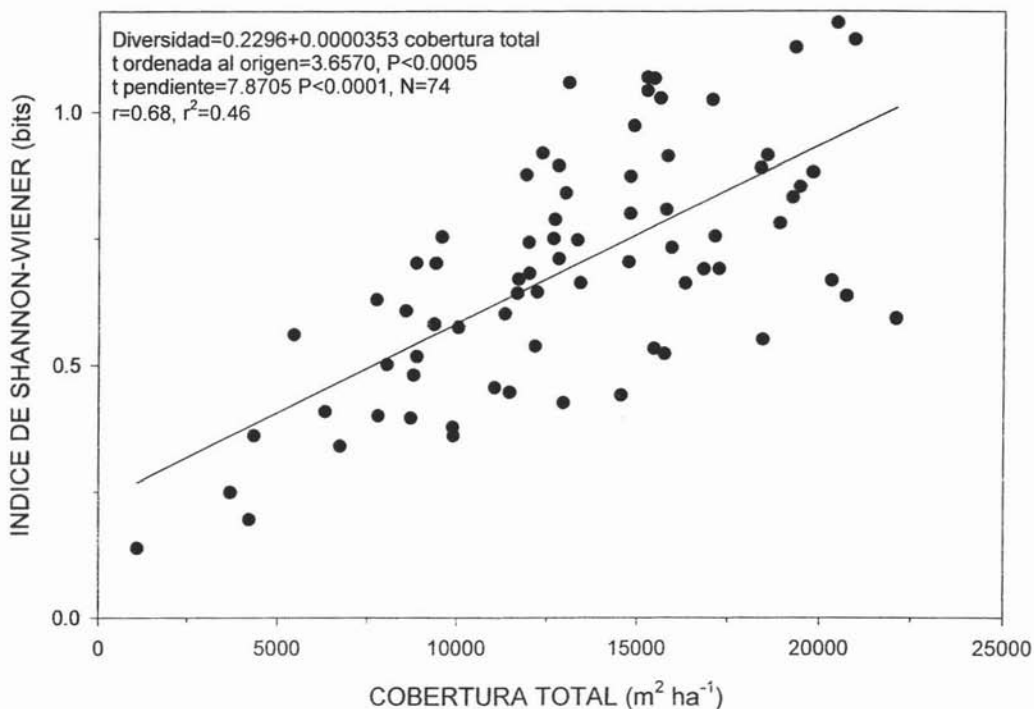
La fotointerpretación de la fotografía aérea a color permitió el reconocimiento de las cuatro unidades descritas en el muestreo cuantitativo (matorral, SBC, transiciones de SBC a encinares y arroyos con vegetación ribereña) y cuatro más que no están representadas en el muestreo cuantitativo, pero que sí fueron reconocidas en el campo. Estas últimas, incluyen a los pastizales naturales, los encinares abiertos (con amplios espacios de pastizal natural), los encinares cerrados y los desmontes con pastizales de zacate buffel (*Pennisetum ciliare*). Éstos se distinguen claramente entre sí y también se diferencian de las zonas urbanas, caminos y áreas con construcciones antropogénicas. Con esta información, se generó un mapa de vegetación sobre el mapa de bits para estimar la distribución de la vegetación a nivel general en el área de estudio, y mediante el procesamiento digital, se pudo estimar la superficie relativa de cada una de estas unidades de vegetación (Tabla 12).

La unidad de vegetación más importante en el área de estudio, tanto en extensión como en desarrollo elevacional, es la SBC. Esta unidad abarca 7,290 ha, equivalente a más de dos tercios (68%) del área estudiada. Como una categoría aparte se clasificaron las mezclas de SBC con encinares. Estas comunidades transicionales ocupan el 11% (1,212 ha) del área de estudio, y se ubican principalmente en elevaciones por arriba de los 800 m en diversas orientaciones de ladera. Los encinares ocupan las mayores elevaciones y solamente representan el 0.7% (79 ha) del área de estudio. El encinar abierto, más característico de zonas planas y elevadas, ocupa el 3%



**Figura 27.** Diversidad en función de la elevación para el área de San Javier, Sonora. Cada punto representa una unidad de muestreo. El índice se calculó como unidades de información en bits ( $\log_2$ ).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 28.** Diversidad en función de la cobertura total de la vegetación en cada unidad de muestreo en el área de San Javier, Sonora. El índice se calculó como unidades de información en bits ( $\log_2$ ).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 12.** Superficie ocupada por unidad de vegetación en el área de estudio.

Unidad de vegetación	Superficie (ha)	%
SBC	7290.18	68
SBC con encinar	1211.64	11
Matorral espinoso	898.70	8
Pastizal de <i>Pennisetum ciliare</i>	565.14	5
Pastizal natural	325.29	3
Encinar abierto	337.08	3
Encinar	79.23	0.7
Urbano muy alterado	38.00	0.4

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

(337 ha), aunque está también presente en elevaciones más bajas, en superficies dominadas por suelos ácidos alterados por acción hidrotérmica y en sitios con exposición Norte. El pastizal natural representa solamente el 3%, ocupando 325 ha en algunas zonas bajas muy rocosas o con suelos ácidos dentro del matorral espinoso. También está presente en las cimas dentro y en torno a los encinares abiertos. El matorral espinoso generalmente se encuentra por debajo de los 600 m, principalmente en las porciones Noroeste, Oeste, Sur y Suroeste del área, abarcando el 8% del total (899 ha).

Cabe señalar que dentro de las categorías de matorral espinoso y SBC se incluyó gran parte de la vegetación ribereña, en razón de las dificultades prácticas para ponderar en el mapa las fronteras entre los estos tipos de vegetación y las angostas franjas de las zonas ribereñas. Un caso similar enfrentaron Pérez-García *et al.* (2001) en Nizanda, Itsmo de Tehuantepec, Oaxaca.

Dos unidades más que requieren mayor explicación son el pastizal inducido y la categoría reconocida como disturbio antropogénico. Actualmente, el pastizal inducido de zacate buffel importado de África (pastizal de zacate buffel, *Pennisetum ciliare*), ocupa el 5% (565 ha) del área de estudio, encontrándose principalmente en las zonas bajas de los extremos Noroeste y Suroeste de la región, así como en menor medida, en algunas pequeñas zonas planas de mediana altura en la porción central donde se presenta en desmontes donde previamente había comunidades de SBC. El poblado, los ranchos, la carretera y los caminos principales se clasificaron como áreas muy alteradas por la acción del hombre. Éstas ocupan el 0.4 % de la superficie total del área de estudio. Estas estimaciones son probablemente muy conservadoras en ambos casos, ya que están derivadas directamente del análisis de las imágenes. El zacate buffel ha invadido áreas de matorral y SBC, por lo que su presencia se está incrementando con el tiempo. Las áreas de disturbio antropogénico directo también están incrementándose, pues tanto la actividad minera como la creación de nueva infraestructura avanzan cada día más.

## 5. DISCUSIÓN

La región de San Javier representa el límite Norte de las selvas bajas caducifolias del Pacífico que se extienden a lo largo de los trópicos secos desde Centroamérica. Los límites septentrionales de esta vegetación generalmente se trazaban en la parte Norte de Sinaloa o en el Sur de Sonora, en la región de Álamos (Pennington y Sarukhán 1998, Rzedowski 1978). Sin embargo, en términos florísticos y estructurales, la SBC está presente en esta región y a lo largo del piedemonte de la Sierra Madre Occidental de manera extensiva hasta los 29° de latitud Norte (Búrquez *et al.* 1999, Martin *et al.* 1998).

La extensa flora que incluye más de 400 especies (considerando que el listado aquí presentado contiene el 80% de las especies) en un área relativamente pequeña es comparable a la de otras localidades situadas más al Sur, incluyendo la rica flora de la región de Jalisco y la Cuenca del Balsas (Trejo 1998, Martínez-Yrizar *et al.* 2000). No obstante, es apenas la mitad de la flora de Nizanda, que en 80 km<sup>2</sup> contiene 800 especies de plantas (Pérez-García *et al.* 2001).

Elementos muy importantes de la selva baja caducifolia como *Lysiloma divaricatum*, *Croton flavescens*, *Jatropha cordata*, *Tabebuia impetiginosa*, *T. chrysantha*, y diversas especies del género *Bursera* forman el grueso de la cobertura de la vegetación en esta región. Sin embargo, muchos otros elementos tropicales están también representados.

La gran diversidad espacial de la región de la Sierra de San Javier, propicia la existencia de ambientes que van desde relativamente secos en vertientes con orientación Sur a lugares característicamente húmedos en las barrancas, cañones y vertientes con orientación Norte. Estas circunstancias fisiográficas, aunadas a las anomalías de suelo en algunos sitios, determinan una considerable riqueza de hábitats que se refleja en el diverso mosaico de vegetación del área (Goldberg 1982, 1985, Búrquez *et al.* 1992).



Casos muy similares de diferenciación en mosaicos edáficos son patentes en otras regiones, desde desiertos (McAuliffe 1999), selvas bajas caducifolias (Pérez-García *et al.* 2001) y selvas altas perenifolias (Penington y Sarukhán 1998).

En la zona de estudio existe una notable heterogeneidad en la composición florística asociada al gradiente altitudinal, a la composición de suelos y a las condiciones determinadas por la diferente orientación de laderas. Estos factores, junto con los fenómenos dependientes de la densidad, han sido identificados como determinantes para explicar la diversidad en comunidades tropicales (Givnish 1999, Vásquez y Givnish 1998). En los ambientes húmedos de barrancas y cañones, y en las comunidades ribereñas a lo largo de los arroyos y escorrentías, la vegetación se caracteriza por la presencia de árboles de gran porte y talla, con predominancia de elementos tropicales e incidencia de epífitas y pteridofitas que en el resto de la vegetación son escasas. En estos sitios, las condiciones más húmedas permiten un comportamiento subcaducifolio dentro de la comunidad vegetal, como es característico en otras áreas de distribución de la selva en México.

En los sitios menos húmedos es común encontrar especies xerofíticas como *Stenocereus thurberi*, *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Fouquieria macdougalii* y *Mammillaria* spp., mientras que en las cañadas crecen especies más mesofíticas como *Ficus trigonata*, *Lonchocarpus hermannii*, *Croton alamosanus* y *Dorstenia drakeana*.

Los suelos alterados por la acción hidrotérmica, presentes a lo largo del gradiente altitudinal, permiten el establecimiento de especies que bajo esas condicionantes climáticas no estarían presentes a esa elevación. Este fenómeno fue bien estudiado por Goldberg (1982, 1985), quien concluyó que los encinares, los pastizales, y en algunos casos, los pinares que aparecen como asociaciones aisladas en una matriz de SBC, están allí presentes porque las especies de SBC no son capaces de competir eficientemente en las condiciones de suelos ácidos alterados por acción hidrotérmica. A la vez, los encinares en estas bajas elevaciones no penetran los suelos con valores de

pH más neutros, ya que son rápidamente desplazados competitivamente por las especies de la selva tropical.

En las vertientes Este de la Sierra Madre Occidental, el bosque madrense perennifolio tiene escaso contacto con los pastizales de las planicies, con los pastizales semidesérticos, y más raramente, con el matorral desértico Chihuahuense (Brown 1982). En el Noroeste de Sonora y el Sur-centro de Arizona, el encinar descende algunas veces hasta los 1,200-1,350 m, alcanzando los pastizales semidesérticos, mientras que en el centro y Sur de Sonora, el encinar abierto puede estar presente a elevaciones de apenas 880-950 m, donde hace contacto en una línea abrupta con la SBC o el matorral espinoso (Brown 1982). En las altas elevaciones de San Javier y de la Sierra Madre Occidental, sobre los 1,100 m, aparecen los encinares en cualquier tipo de suelo, es decir, no se restringen a los suelos ácidos, tal como lo comenta Golberg (1982). Éste es el caso de algunas de las comunidades clasificadas en el sitio de estudio como transiciones entre SBC y encinares que tienen una flora muy particular que aun sin tener encinos como elemento estructural, tienen características estructurales y florísticas que las separan de la SBC.

La presencia de bosques de *Quercus* en la región de San Javier se puede explicar considerando tres condiciones básicas y a las combinaciones entre algunas de ellas: a) en elevaciones por arriba de los 880 m, que corresponden aproximadamente al nivel de altitud en donde usualmente para la región se presenta este tipo de vegetación (Brown 1982), b) en laderas Norte, en elevaciones por encima de los 760 m, donde esta orientación con respecto a la exposición solar favorece las condiciones mesófilas, y c) en sitios que presentan suelos pobres en nutrientes debido a alteración hidrotérmica en elevaciones donde usualmente se encuentra la SBC en la región. Al parecer, esta última circunstancia, en combinación con las exposiciones Norte, determina en la zona de estudio, la existencia de manchones de encinar en sitios tan bajos como 780 m, lo que resulta aún un poco más abajo de los 880 m señalados por Brown (1982) y también por Goldberg (1982).

La estructura de las selvas bajas de San Javier, presenta una cobertura que excede el área de las unidades de muestreo, lo que indica que existen varios estratos de vegetación. A partir del análisis de los perfiles, es claro que existen muchas expresiones de este tipo de vegetación, desde sitios de SBC muy pobres con un solo estrato, hasta aquéllos que poseen una estructura muy compleja que incluye hasta tres estratos y árboles emergentes aislados. Esta observación está bien relacionada con la descripción de Rzedowski (1978), quien dice que la SBC comúnmente presenta entre uno y dos estratos arbóreos. La estatura de los árboles en San Javier cae en el límite inferior citado para las SBC, ya que, a pesar de tener más de un estrato arbóreo, en general la estatura de los árboles no excede los 7 m. En este sentido, la variación espacial tan marcada ha conducido no sólo a valores elevados de diversidad  $\alpha$ , sino también a notables cambios en la diversidad  $\beta$ , esto es, a un elevado recambio de especies entre sitios (Givnish 1999).

La SBC de la región de estudio constituye sin duda una selva baja de talla menor que las de otras regiones del país con condiciones más húmedas. De hecho la gran amplitud de distribución de estas selvas en el país implica su exposición a una gran variabilidad de condiciones climáticas y de otros factores que en algunos casos hacen difícil su separación de los matorrales muy estructurados (Trejo 1998, Búrquez y Martínez Yrizar en prensa). Para el caso de las SBC situadas en su extremo Norte de distribución, es claro que la combinación de factores que determinan la aridez (precipitación escasa y muy concentrada en pocos meses del verano, y veranos extremadamente cálidos) y estacionalidad del ambiente (marcado fotoperiodo con días muy largos en el verano y muy cortos en el invierno) influyen en la baja estatura de esta comunidad vegetal.

El arroyo San Javier tiene un comportamiento intermitente, acorde con el régimen estacional de lluvias. Sin embargo, las filtraciones en el tramo del arroyo conocido como Cañón de Campa permiten la permanencia de algunas pozas en la parte más profunda del cañón durante la estación seca. En este cañón ubicado en las tierras

bajas del Sur de la región, se localiza un bosque de galería de *Taxodium distichum* que representa uno de los registros más norteños de esta especie (Búrquez *et al.* 1992).

A la salida aguas abajo de este cañón, entre los bloques de roca y cantos rodados, y en las terrazas depositadas por las avenidas de las lluvias de verano, se pueden observar los renuevos de *Taxodium*. Sus semillas resinosas son flotantes cuando recién caen del fruto y son arrastradas por las corrientes hasta estos sitios, donde algunas logran germinar. Sin embargo, es probable que muy pocos de estos retoños sobrevivan a las fuertes avenidas del siguiente verano. Lo mismo sucede con aquellas plántulas que han germinado aguas abajo, fuera ya de las condiciones húmedas del cañón que delimitan marcadamente las fronteras de esta vegetación en el área. A pesar de esto, no es raro encontrar árboles aislados de esta especie en las escorrentías fuera de los cañones.

En una visita al en el mes de noviembre de 1999, tres años después de la primera observación, se encontró un importante reclutamiento de plántulas y juveniles de *Taxodium*, desde unos cuantos centímetros a más de 1 m de altura. Este evento se observó sólo después de tres años consecutivos de escasas lluvias (1997-1999) para la región. Cabe mencionar que durante los años lluviosos (1995-1996) se observó que las fuertes avenidas sobre esa parte del arroyo arrastraron una porción importante del lecho incluyendo la vegetación pobremente enraizada, lo que hace suponer que las débiles corrientes de ese tramo del arroyo en los últimos tres años secos permitieron mayor sobrevivencia de estos renuevos.

Las fuertes corrientes estacionales del arroyo pueden representar un factor limitante para la germinación y el establecimiento de especies de vegetación con requerimientos específicos de meso o microclima, sólo disponibles en el lecho dentro del cañón, al actuar como un agente exportador de semillas hacia condiciones alóctonas desfavorables en donde es poco probable su sobrevivencia. Posiblemente uno o varios años de lluvias pobres en la cuenca aguas arriba del cañón determinen un mejor

reclutamiento para especies como el *Taxodium* en este sitio, situación que podría ser igual para otras localidades con circunstancias similares.

En cuanto a la riqueza de especies, en la SBC de la región de San Javier se registraron 80 especies en el muestreo de vegetación, 25 menos que las 105 mencionadas para Chamela, Jalisco por Trejo (1998). Esta riqueza, aunque menor y producto de un mayor esfuerzo de muestreo, es notable para una SBC en su límite Norte de distribución.

La Sierra de San Javier tiene una topografía muy accidentada y en ella existe una vegetación compuesta principalmente por SBC y en menor grado por matorrales en los sitios de baja elevación, y encinares y pastizales en los sitios más altos. En gran parte del área se puede observar un importante deterioro de la SBC y del matorral espinoso, debido a la extracción de madera, el pastoreo y el cambio en el uso del suelo para la formación de pastizales para el ganado, caminos u otros usos. En algunos puntos aislados dentro de la región se encuentran algunas minas abandonadas con terrenos que sustentan una flora depauperada. En el cuadrante Sureste de la zona, al pie del Cerro Verde, se localiza una planta de procesamiento minero actualmente en desuso.

Los antecedentes de disturbio antropogénico en la región de San Javier se relacionan con la actividad minera y con la ganadería extensiva. La región posee una larga tradición minera y probablemente las primeras perturbaciones a gran escala de la vegetación tuvieron lugar con el inicio de la minería hace más de 250 años (Gracida 1997), lo que debió de haber afectado marcadamente a la vegetación arbórea del entorno. Gran cantidad de madera debe de haberse utilizado para el apuntalamiento de las minas y como combustible para la maquinaria de vapor (posteriormente se utilizó carbón mineral de la región). La madera también se ha utilizado en la construcción de casas habitación e instalaciones en las empresas mineras (Rogelio Ruíz y Arcadio Burboa, com. pers.).

La economía de la región históricamente ha sido poco diversificada, pues se ha centrado tradicionalmente en la minería y en la ganadería extensiva. La actividad minera fue la principal fuente generadora de empleo en la región hasta el inicio de la década de los 80s del siglo XX. Posteriormente, esta actividad ha decaído en forma importante debido principalmente a la baja del precio internacional de los minerales y al bajo rendimiento de las minas. Actualmente, se realizan trabajos mineros rudimentarios por gambusinos y se explotan vetas de carbón y grafito en los alrededores también en condiciones muy primitivas (Rogelio Ruíz y Arcadio Burboa, com. pers.). A partir de 1995 se observó un relativo repunte de la minería, sobre todo en el campo de la exploración, generándose algunos empleos para los lugareños. Sin embargo, estos empleos no son estables, teniendo sólo una duración de mediana a corta debido a lo azaroso de esta actividad. Lo que resulta evidente, es que las condiciones socioeconómicas de la región que han influido directamente en la baja tasa de crecimiento demográfico, sobre todo por efecto de la migración que también han determinado indirectamente el poco deterioro intensivo del ambiente. Sin embargo, no se puede descartar el fuerte efecto de perturbación extensiva del pastoreo, el cual resulta difícil de evaluar.

El municipio de San Javier cuenta con una superficie de 793.27 km<sup>2</sup> y 600 habitantes, de los cuales el poblado de San Javier concentra a 377. El inventario de ganado bovino revela la existencia de 6,700 cabezas (Plan Municipal de Desarrollo 1998-2000). Actualmente se practican los desmontes de vegetación nativa en las áreas menos escabrosas para la inducción de pastizales con el zacate africano buffel (*Pennisetum ciliare*). Estos desmontes están limitados a las zonas bajas y planas del Noroeste y Suroeste de la región, ocupando en conjunto el 5.25 % del área estudiada. La agricultura es muy escasa debido a lo accidentado del terreno y al suelo poco profundo y pedregoso. El pastoreo selectivo por el ganado es un factor de alteración generalizado sobre la vegetación (Búrquez y Martínez-Yrizar 1997, Búrquez *et al.* 2002). Sin embargo, cabe señalar que, a pesar de la larga historia de influencia humana en la región, la vegetación nativa no parece haber sufrido un deterioro significativo en comparación con las SBC situadas en otras partes del país, como es el

caso de algunas regiones serranas del vecino estado de Sinaloa y del estado de Michoacán (Maass *et al.* en prensa, A. Martínez-Yrizar, com. pers.), aunque existen enormes manchones bien conservados en el estado de Oaxaca, sobre todo en la costa entre Huatulco y Salina Cruz (J. Meave com. pers. A. Búrquez com. pers.).

El estudio resalta la importancia del área no sólo en términos del número de especies sino en la enorme diversidad de hábitats que crea toda una gama de transiciones y ecotonos en donde prevalece esta rica SBC. Esta condición es una oportunidad para dirigir esfuerzos para la conservación en el área de la Sierra de San Javier y la Sierra del Aliso, de la cual forma parte.

Con el fin de controlar el deterioro acelerado de la vegetación de esta región, sería muy importante ejercer por parte de las instituciones responsables, un mayor rigor en el otorgamiento de permisos para el desmonte o la extracción de madera. Otra acción urgente es reconocer al sitio como un área prioritaria para ser declarada como área natural protegida, como ha sido propuesto en reuniones de expertos, quienes han recomendado establecer especial interés en la protección de estas selvas bajas (Búrquez y Martínez-Yrizar 1997), que son poseedoras de una gran riqueza de especies, de niveles importantes de endemismo y de biodiversidad, y que sin embargo, son degradadas en todo el país a un ritmo creciente.

## 6. CONCLUSIONES

**6.1** La SBC ubicada en la región de San Javier, Sonora, y por extensión en el extremo Norte de la base de la Sierra Madre Occidental casi hasta los 30° N, representa la comunidad arbórea tropical más norteña del continente Americano. En esta latitud se intercala con el encinar y el matorral espinoso a lo largo de un gradiente altitudinal que se extiende desde los 500 hasta los 1000 m de elevación. La diferencia más notable de esta SBC en su extremo Norte de distribución con otras SBC más sureñas, es la menor estatura de sus árboles y la menor diversidad de especies.

**6.2** El trabajo muestra que regionalmente esta SBC es muy rica en especies. La riqueza absoluta de especies es mayor que la de los matorrales, que la del Desierto Sonorense y que la de los encinares circundantes. Sin embargo, es pobre en comparación con otras SBC más hacia el Sur.

**6.3** Estructuralmente las comunidades de SBC presentan mucha afinidad con los matorrales, con los que se intercalan de manera sutil y poco definida en los sitios de menor elevación. Con los encinares, la frontera está muy marcada, es probable que la principal limitante sean las temperaturas mínimas invernales, aunque en casos especiales los suelos ácidos con alteración hidrotérmica determinan la presencia de encinares en sitios donde típicamente se encontraría SBC o aún matorrales.

**6.4** Los elementos dominantes de la SBC son *Lysiloma divaricatum*, *Jatropha cordata*, *Chloroleucom mangense*, *Ipomoea arborescens*, *Tabebuia impetiginosa*, *Senna atomaria*, *Croton flavescens*, *Ambrosia cordifolia*, *Bursera laxiflora*, *Guazuma ulmifolia*, *Brongniartia alamosana*, *Hintonia latiflora*, *Bursera lancifolia* y *Fouquieria macdougalii* entre otras. Todas estas especies son elementos típicos de las SBC de la costa del Pacífico de México.

**6.5** La región presenta un creciente impacto causado por la minería y por la ganadería extensiva, incluyendo el desmonte para la introducción de pastizales de zacate buffel.



**6.6** En la zona existe una clara separación espacial en elevación y orientación de pendientes en muchos taxa. Algunos se encuentran sólo en ciertas elevaciones o en ciertas orientaciones de pendiente. Taxa cercanamente vinculados, como en el caso del género *Bursera*, muestran una clara separación espacial en el gradiente topográfico.

**6.7** La máxima cobertura total se encuentra en elevaciones medias (c. 800 m), circunscritas a la SBC. En términos de orientación de pendientes, la mayor cobertura promedio se presenta en el lado Oeste y en pendientes Norte.

**6.8** La cobertura total más alta encontrada fue en los matorrales. Sin embargo, este valor está determinado en gran parte por la presencia de pastos perennes. En contraste, la SBC presenta una cobertura casi completa compuesta únicamente de elementos arbóreos.

**6.9** Las especies dominantes de la SBC: *Lysiloma divaricatum* y *Croton flavescens* junto con *Bursera laxiflora* son muy abundantes en casi cualquier localidad, independientemente de la elevación, la orientación y el grado de pendiente. Las especies mas notables que únicamente aparecen en los matorrales de la zona son *Brongniartia alamosana* y *Haematoxilon brasiletto*, mientras que en las transiciones a encinares típicamente se encuentran *Dodonaea viscosa*, *Mimosa palmeri* y *Quercus tuberculata*.

**6.10** La mayor diversidad se encuentra en elevaciones medias y sitios con orientación Oeste. Esto se relaciona directamente con la mayor cobertura correspondiente a la SBC.

## LISTADO FLORÍSTICO REGIÓN DE SAN JAVIER, SONORA

### HELECHOS Y ASOCIADOS

#### FAMILIA

##### Selaginellaceae

- Selaginella arizonica* Maxon
- Selaginella novoleonensis* Hieron
- Selaginella pallescens* (C. Presl.) Spring
- Selaginella sartorii* Hieron

##### Aspleniaceae

- Asplenium palmeri* Maxon

##### Polypodiaceae

- Phlebodium areolatum* (Hum. & Bonpl. Ex Willd.) J. Sm.

##### Pteridaceae

- Argyrochosma limitanea* (Maxon) Windham subsp. *limitaea*
- Astrolepis sinuata* (Lag.) Betham & Windham subsp. *sinuata*
- Bommeria pedata* (Sw.) Fourn.
- Cheilanthes alabamensis* (Buckl.) Kunze
- Cheilanthes bonariensis* (Willd.) Proctor
- Cheilanthes hirsuta* Link
- Cheilanthes kaulfussii* Kunze
- Cheilanthes lindheimeri* Hook. *lindheimeri* Hook.
- Cheilanthes lozanii* (Maxon) R. Tryon & A. Tryon var. *seemannii* (Hook.) Mickel & Beitel
- Cheilanthes pringlei* Davenp.
- Cheilanthes* sp. nov.
- Cheilanthes skinneri* (Hook.) R. Tryon & A. Tryon
- Cheilanthes tomentosa* Link.
- Notholaena lemmonii* DC. Eaton.
- Pellaea ovata* (Desv.) Weath.
- Pellaea ternifolia* (Cav.) Link subsp. *arizonica* Windham
- Pityrogramma calomelanos* (L.) Link var. *calomelanos*

##### Thelypteridaceae

- Thelypteris puberula* (Baker) C. V. Morton var. *sonorensis* A. R. Smith

##### Cupressaceae

- Taxodium distichum* (L.) J. M. C. Rich. var. *mexicanum* Gordon

### DICOTILEDONEAS

#### Acanthaceae

- Anisacanthus andersoni* T.F. Daniel
- Carlownrightia arizonica* A. Gray
- Carlownrightia pectinata* Brandegee
- Dicliptera resupinata* (Vahl) Juss.
- Dyschoriste hirsutissima* (Nees) Kuntze
- Elytraria imbricata* (Vahl) Pers.
- Henrya insularis* Benth.
- Justicia candicans* (Nees) Benson
- Justicia caudata* A. Gray
- Ruellia intermedia* Leonard
- Tetramerium abditum* (Brandegee) T.F. Daniel
- Tetramerium nervosum* Nees

**Achatocarpaceae**

*Phaulothamnus spinescens* A. Gray

**Aizoaceae**

*Trianthema portulacastrum* L.

**Amaranthaceae**

*Altemanthera stellata* (S. Watson) Uline & W. L. Bray

*Amaranthus fimbriatus* (Torr.) Benth.

*Amaranthus palmeri* S. Watson

*Froelichia interrupta* (L.) Moq.

*Gomphrena sonora* Torr.

*Iresine calea* (Ibáñez) Standl.

*Iresine hartmannii* Uline

*Tidestromia lanuginosa* (Nutt.) Standl.

**Anacardiaceae**

*Rhus radicans* L.

**Apiaceae**

*Coriandrum sativum* L.

**Apocynaceae**

*Haplophyton cimidum* A. DC.

*Plumeria rubra* L.

*Thevetia peruviana* (Pers.) Schum.

*Vallesia glabra*+ (Cav.) Link

**Araliaceae**

*Aralia humilis* Cav.

**Aristolochiaceae**

*Aristolochia quercetorum* Standl.

*Aristolochia watsonii* Wooton & Standl.

**Asclepiadaceae**

*Cryptostegia grandiflora* (Roxb.) R. Br.

*Gonolobus arizonicus* (A. Gray) Woodson

*Gonolobus gonoloboides* (Greenman) Woodson

*Marsdenia edulis* S. Watson

*Matelea* sp.

*Metastelma mexicanum* (Brandege) Fishbein & R. Levin

*Sarcostemma clausum* (Jacq.) Roem. & Schult.

*Sarcostemma cynanchoides* Decne subsp. *hartwegii* (Vail) R. W. Holm

*Sarcostemma pannosum* Decne.

**Asteraceae**

*Ambrosia ambrosioides* (Cav.) W. W. Payne

*Ambrosia confertiflora* DC.

*Ambrosia cordifolia* (A. Gray) W. W. Payne

*Artemisia ludoviciana* Nutt.

*Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers.

*Baccharis thesioides* Kunth

*Bidens leptoccephala* Sherff

*Bidens pilosa* L.

*Bidens riparia* Kunth

*Bidens sambucifolia* Cav.

*Brickellia brandegei* B. L. Rob.

*Brickellia coulteri* A. Gray var. *adenopoda* (B. L. Rob.) B.L. Turner

*Brickellia coulteri* A. Gray var. *adenocarpa* (B.L. Rob.) B.L. Turner

*Brickellia coulteri* A. Gray var. *coulteri*

*Brickellia diffusa* (Vahl) A. Gray  
*Coreocarpus arizonicus* (A. Gray) S. F. Blake  
*Dyssodia anomala* (Canby & Rose) B. L. Rob.  
*Encelia farinosa* A. Gray  
*Eupatorium collinum* DC. var. *mendizii* (DC.) M.V  
*Eupatorium palmeri* A. Gray var. *tonsum* B. L. Rob.  
*Eupatorium quadrangulare* DC.  
*Gnaphalium leucocephalum* A. Gray  
*Guardiola platyphylla* A. Gray  
*Helianthus annuus* L.  
*Hymenoclea monogyra* Torr. & A. Gray  
*Lactuca serriola* L.  
*Lagascea decipiens* Hemsl. var. *glandulosa* (Fern.) Steussy  
*Lasianthaea fruticosa* var. *alamosana* K. Becker  
*Melampodium appendiculatum* B.L. Robinson  
*Milleria quinqueflora* L.  
*Montanoa leucantha* (Lag.) S. F. Blake subsp. *arborescens* (DC.) V. A. Funk  
*Montanoa rosei* (Rose ex B.L. Rob. & Greenm.  
*Parthenium tomentosum* DC. var. *stramonium* (Greene) Rollins  
*Pectis prostrata* Cav.  
*Perityle cordifolia* (Rydb.) S. F. Blake  
*Perityle microglossa* Benth. var. *microglossa* Benth.  
*Perityle microglossa* Benth. var. *saxosa* (Brandege) Powell  
*Pluchea carolinensis* (Jacq.) G. Don  
*Pluchea salicifolia* (Mill.) S. F. Blake  
*Porophyllum macrocephalum* DC.  
*Sonchus oleraceus* L.  
*Trixis californica* Kellogg  
*Vernonia triflosculosa* Kunth var. *palmeri* (Rose) B. L. Turner  
*Viguiera dentata* (Cav.) Spreng. var. *lancifolia* S. T. Blake  
*Zinnia zinnioides* (H.B.K.) Olorode & Torres

#### Begoniaceae

*Begonia portillana* S. Wats.

#### Bignoniaceae

*Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson  
*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.  
*Tecoma stans* (L.) Juss. ex H.B.K. var. *angustata* Rehd.

#### Bombacaceae

*Ceiba acuminata* (S. Wats.) Rose

#### Boraginaceae

*Cordia sonora* Rose  
*Heliotropium macrostachyum* (DC.) Hemsl.

#### Brassicaceae

*Descurainia pinnata* (Walter) Britton subsp. *halictorum* (Cockerell) Detling.  
*Dryopetalon runcinatum* A. Gray var. *laxiflorum* Rollins  
*Sisimbrium irio* L.

#### Buddlejaceae

*Buddleja parviflora* H.B.K.  
*Buddleja sessiliflora* H.B.K.

#### Burseraceae

*Bursera fagaroides* (H.B.K.) Engl. subsp. *elongata* McVaugh & Rzedowski  
*Bursera grandifolia* (Schltdl.) Engl. +  
*Bursera lancifolia* (Schltdl.) Engl.

*Bursera laxiflora* S. Wats.  
*Bursera penicillata* (BC) Engl.  
*Bursera stenophylla* Sprague & L. Riley +

#### Cactaceae

*Echinocereus pectinatus* (Scheidw.) Engelm.  
*Mammillaria tesopacensis* Craig  
*Mammillaria* aff. *yaquensis* Craig  
*Opuntia gosseliniana* F.A.C. Weber  
*Opuntia pubescens* H. Wendl. ex Pfeiff.  
*Opuntia thurberi* Engelm.  
*Opuntia wilcoxii* Britton & Rose  
*Pachycereus pecten-aboriginum* (Engelm.) Britton & Rose  
*Stenocereus alamosensis* (J.M. Coult.) A.C. Gibson & K.E. Horak  
*Stenocereus thurberi* (Engelm.) F. Buxb.

#### Campanulaceae

*Lobelia laxiflora* H.B.K. subsp. *laxiflora*

#### Caparaceae

*Cleome melanocarpa* S. Wats.

#### Caryophyllaceae

*Cerastium texanum* Britton  
*Drymaria gracilis* Cham. & Schtdl.  
*Drymaria laxiflora* Benth.

#### Celastraceae

*Wimmeria mexicana* (DC.) Lundell

#### Cochlospermaceae

*Amoreuxia palmatifida* Moc. & Sessé

#### Convolvulaceae

*Cuscuta americana* L.  
*Evolvulus alsinoides* L.  
*Evolvulus arizonicus* A. Gray  
*Ipomoea arborescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don  
*Ipomoea aristolochiaefolia* G. Don  
*Ipomoea bracteata* Cav.  
*Ipomoea cristulata* Hallier F.  
*Ipomoea hederacea* Jacq.  
*Ipomoea longifolia* Benth.  
*Ipomoea parasitica* (H.B.K.) G. Don  
*Ipomoea pedicellaris* Benth.  
*Ipomoea purpurea* (L.) Lam.  
*Ipomoea quamoclit* L.  
*Ipomoea triloba* L.

#### Cucurbitaceae

*Cucurbita palmeri* L. H. Bailey  
*Ibervillea fusiformis* (E.J. Lott.) Kearns  
*Schizocarpum palmeri* Cogn. & Rose  
? *Sicyos sinaloae* Brandegee+

#### Euphorbiaceae

*Acalypha aliena* Brandegee  
*Acalypha ostryifolia* Ridd.  
*Acalypha papillosa* Rose  
*Acalypha polystachya* Jacq.  
*Acalypha pseudoalopecuroides* Pax & K. Hoffm.



**Fabaceae(Leguminosae)**

**Papilionoideae**

*Brongniartia alamosana* Rydb.  
*Brongniartia tenuifolia* Standl.  
*Coursetia caribaea* (Jacq.) Lavin  
*Coursetia glandulosa* A. Gray  
*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.  
*Dalea mollis* Benth.  
*Dalea pringlei* A. Gray var. *multijuga* Barneby  
*Desmodium psilocarpum* A. Gray  
*Diphysa occidentalis* Rose  
*Eriosema grandiflorum* (Schtdl. & Cham) G. Don  
*Erythrina flabelliformis* Kearney  
*Eysendhartia orthocarpa* (A. Gray) S. Wats.  
*Indigofera suffruticosa* Mill.  
*Lonchocarpus hermannii* Marco  
*Melilotus indica* (L.) All.  
*Nissolia gentryi* Rudd  
*Nissolia schottii* (Torr.) A. Gray  
*Nissolia wislizenii* A. Gray  
*Phaseolus acutifolius* A. Gray var. *latifolius* D. F. Freeman  
*Piscidia mollis* Rose  
*Rhynchosia minima* (L.) DC.  
*Rhynchosia precatoria* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) DC.  
*Sphinctospermum constrictum* (S. Wats.) Rose  
*Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh  
*Vigna strobilophora* B.L. Rob.

**Fagaceae**

*Quercus chihuahuensis* Trel.  
*Quercus emoryi* Torr.  
*Quercus tuberculata* Liebm.

**Flacourtiaceae**

*Xylosma flexuosum* (H.B.K.) Hemsl

**Fouquieriaceae**

*Fouquieria macdougalii* Nash.

**Hydrophyllaceae**

*Eucrypta chrysanthemifolia* (Benth.) Greene  
*Nama hispidum* A. Gray  
*Nama jamaicense* L.  
*Phacelia scariosa* Brandegee

**Krameriaceae**

*Krameria* aff. *secundiflora* Moc. & Sessé

**Lamiaceae**

*Hyptis albida* Kunth  
*Hyptis* aff. *mutabilis* (Rich.) Briq.  
*Salvia setosa* Fern.  
*Stachys coccinea* Jacq.

**Loasaceae**

*Gronovia scandens* L.  
*Mentzelia aspera* L.

**Loranthaceae**

*Struthanthus palmeri* Kuijt

**Lythraceae**

*Cuphea laminuligera* Kahn  
*Cuphea wrightii* A. Gray var. *Wrightii*

**Malpighiaceae**

*Bunchosia sonorensis* Rose  
*Callaeum macropterum* (DC.) D.M. Johnson  
*Gaudichaudia* sp.  
*Echinopterys eglandulosa* (Juss.) Small  
*Heteropterys* sp  
*Janusia californica* Benth.  
*Janusia linearis* Wiggins  
*Malpighia emarginata* DC.

**Malvaceae**

*Abutilon abutiloides* (Jacq.) Garcke ex Britton & Wilson  
*Abutilon californicum* Benth.  
*Abutilon incanum* (Link) Sweet  
*Abutilon reventum* S. Watson  
*Anoda crenatiflora* C.G. Ortega  
*Anoda cristata* (L.) Schltld.  
*Bastardiastrum cinctum* (Brandege) D. M. Bates  
*Gossypium hirsutum* L.  
*Herissantia crispa* (L.) Brizicky.  
*Hibiscus biseptus* S. Watson  
*Malvastrum bicuspidatum* (S. Watson) Rose  
*Pseudoabutilon scabrum* (Presl) R.E. Fries  
*Sida aggregata* K. Presl.  
*Sida alamosana* S. Wats.  
*Sida ciliaris* L.  
*Sida cordifolia* L.  
*Sida rhombifolia* L.  
*Wissadula herandioides* L'Her.

**Martyniaceae**

*Martynia annua* L.

**Meliaceae**

*Melia azedarach* L \*

**Menispermaceae**

*Cissampelos pareira* L.  
*Cocculus diversifolius* DC.

**Molluginaceae**

*Mollugo verticillata* L.

**Moraceae**

*Dorstenia drakeana* L.  
*Ficus cotinifolia* H.B.K.  
*Ficus insipida* Willd.  
*Ficus pertusa* L.f.  
*Ficus petiolaris* H.B.K.  
*Ficus trigonata* L.

**Myrsinaceae**

*Ardisia revoluta* Kunth

**Myrtaceae**

*Psidium guajava* L.  
*Psidium sartorianum* (Berg.) Nied.



**Nyctaginaceae**

*Boerhavia coccinea* Mill.  
*Boerhavia spicata* Choisy  
*Mirabilis jalapa* L. \*  
*Pisonia capitata* (S. Wats.) Standl.

**Oiaceae**

*Schoepfia schreberi* J.F. Gmel. +

**Oleaceae**

*Forestiera* aff. *pubescens* Nutt

**Onagraceae**

*Ludwigia octovalvis* (Jacq.) Raven var. *octovalvis*

**Opiliaceae**

*Agonandra racemosa* (DC.) Standl.

**Orobanchaceae**

*Orobanche* aff. *multicaulis* Brandegee

**Papaveraceae**

*Argemone ochroleuca* Sweet subsp. *ochroleuca*

**Passifloraceae**

*Passiflora foetida* L.  
*Passiflora quercetorum* Killip

**Phytolaccaceae**

*Phytolacca icosandra* L.

**Platanaceae**

*Platanus wrightii* S. Wats.

**Plumbaginaceae**

*Plumbago scandens* L.

**Polemoniaceae**

*Bonplandia geminiflora* Cav.  
*Loeselia ciliata* L.  
*Loeselia glandulosa* (Cav.) G. Don

**Polygalaceae**

*Polygala glochidiata* H.B.K.

**Polygonaceae**

*Antigonon leptopus* Hook. & Arn.  
*Coccoloba goldmanii* Standl.

**Portulacaceae**

*Portulaca suffrutescens* Engelm.  
*Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.  
*Talinum triangulare* (Jacq.) Willd.

**Ranunculaceae**

*Clematis drummondii* Torr. & A. Gray

**Rhamnaceae**

*Colubrina triflora* Brongn.  
*Colubrina viridis* M.E. Jones  
*Gouania rosei* Wiggins

*Karwinskia humboldtiana* (Roem. & Schult.) Zucc.  
*Ziziphus amole* (Sessé & Moc.) M. C. Johnston

#### Rubiaceae

*Bouvardia multiflora* (Cav.) Schult & Schult.f.  
*Bouvardia ternifolia* (Cav.) Schltld.  
*Cephalanthus occidentalis* L. var. *californicus* Benth. PL. Hartw.  
*Cephalanthus salicifolius* Bonpl.  
*Chiococca petrina* Wiggins  
*Crusea hispida* (Mill.) B.L. Rob.  
*Crusea psyllioides* (H.B.K.) W.R. Anderson  
*Crusea wrightii* A. Gray var. *wrightii*  
*Hintonia latiflora* (Sessé & Moc.) Bullock  
*Mitracarpus hirtus* (L.) DC.  
*Randia echinocarpa* Sessé & Moc. ex DC.  
*Randia laevigata* Standl.  
*Randia obcordata* S. Wats.  
*Randia sonorensis* Wiggins  
*Randia thurberi* S. Wats.

#### Rutaceae

*Casimiroa edulis* La Llave & Lex.  
*Esenbeckia hartmannii* B.L. Rob. & Fernald  
*Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg.

#### Salicaceae

*Populus monticola* Bradegee  
*Salix fremontii* S. Wats. +  
*Salix gooddingii* C.R. Ball +

#### Sapindaceae

*Cardiospermum corindum* L.  
*Dodonaea viscosa* Jacq. var. *angustifolia* (L.f.) Benth.  
*Paullinia sonorensis* S. Wats.  
*Sapindus saponaria* L.  
*Serjania palmeri* Willd.

#### Sapotaceae

*Sideroxylon occidentale* (Hemsl.) T.D. Penn.  
*Sideroxylon persimile* (Hemsl.) T.D. Penn. subsp. *sessiflora*  
*Sideroxylon tepicense* (Standl.) T.D. Penn. +

#### Scrophulariaceae

*Mecardonia vandellioides* (H.B.K.) Pennell  
*Russelia elongata* Carlson  
*Russelia sonorensis* Carlson var. *sonorensis* Carlson  
*Stemodia durantifolia* (L.) Sw.  
*Stemodia palmeri* A. Gray  
*Veronica peregrina* L. subsp. *xalapensis* (H.B.K.) Pennell

#### Simaroubiaceae

*Alvaradoa amorphoides* Liebm.

#### Solanaceae

*Capsicum annuum* L. var. *aviculare* (Dierbach) D'Arcy & Eshbaugh  
*Cestrum tomentosum* L.f.  
*Datura discolor* Bernh.  
*Lycium berlandieri* Dunal  
*Nicotiana glauca* Graham  
*Physalis acutifolia* (Miers.) Sandw.  
*Physalis leptophylla* B.L. Rob & Greenm.

*Physalis philadelphica* Lamarck  
*Physalis pubescens* L.  
*Solanum americanum* Mill.  
*Solanum erianthum* D. Don subsp. *verbascifolium* L.  
*Solanum ferrugineum* Jacq.  
*Solanum grayi* Rose  
*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.  
*Solanum seforthianum* Andrews  
*Solanum tridynamum* Dunal subsp. *amazonium* Ker.  
*Solanum umbellatum* Mill.

#### Sterculiaceae

*Ayenia abutifolia* (Turcz.) Turcz.  
*Ayenia* aff. *mexicana* Turcz.  
*Ayenia filiformis* S. Wats.  
*Guazuma ulmifolia* Lam.  
*Helicteres baruensis* Jacq.  
*Melochia tomentosa* L.  
*Waltheria indica* L.

#### Teophrastaceae

*Jacquinia macrocarpa* Cav. subsp. *pungens* (A. Gray) Stahl

#### Tiliaceae

*Heliocarpus attenuatus* S. Wats.  
*Heliocarpus palmeri* S. Wats.  
*Triumfetta* sp.

#### Turneraceae

*Turnera pumilea* L.

#### Ulmaceae

*Celtis iguanea* (Jacq.) Sarg.  
*Celtis pallida* Torr.  
*Celtis reticulata* Torr.

#### Urticaceae

*Parietaria hespera* D.B. Hinton

#### Verbenaceae

*Lantana achyranthifolia* Desf.  
*Lantana camara* L.  
*Lantana hispida* H.B.K.  
*Priva lappulacea* (L.) Pers.  
*Verbena pumila* Rydb.  
*Vitex mollis* H.B.K.

#### Violaceae

*Hybanthus attenuatus* (Humb. & Bonpl.) C.K. Schulze  
*Hybanthus mexicanus* Ging. subsp. *occidentalis* Morton

#### Viscaceae

*Phoradendron californicum* Nutt.

#### Vitaceae

*Cissus verticillata* (L.) Nicholson et Jarvis  
*Cissus* aff. *tiliacea* Kunth.

#### Zygophyllaceae

*Guaiaacum coulteri* A. Gray  
*Kallstroemia grandiflora* Torr.

## MONOCOTILEDONEAS

### Agavaceae

- Agave angustifolia* Haw.
- Agave vilmoriniana* A. Berger

### Amaryllidaceae

- Hymenocallis sonorensis* Standl.

### Bromeliaceae

- Hechtia montana* Brand
- Tillandsia recurvata* L.

### Commelinaceae

- Commelina dianthifolia* Delile
- Commelina erecta* L.
- Tinantia* sp.
- Tradescantia semisomna* Standl.
- Tripogandra palmeri* (Rose) Woodson

### Cyperaceae

- Bulbostylis* sp.
- Cyperus* sp.
- Eleocharis montevidensis* Kunth

### Orchidaceae

- Oncidium cebolleta* (Jacq.) Sw.

### Poaceae

- Andropogon glomeratus* (Walt.) Britton, Sterns & Poggenb.
- Aristida adscensionis* L.
- Aristida ternipes* Cav. var. *ternipes*
- Bouteloua rothrockii* Vasey
- Brachiaria fasciculata* (Sw) L. Parodi
- Diectomis fastigiata* (Sw) L. Parodi
- Eragrostis cilianensis* (All.) Vign.-Lutati ex Janch
- Heteropogon contortus* (L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult.
- Lasiacis ruscifolia* (H.B.K.) A. Hitchc.
- Panicum trichoides* Sw
- Pennisetum ciliare* (L.) Link
- Rhynchelytrum repens* (Willd.) C.E. Hubb.
- Setaria liebmannii* E. Fourn.

Especies marcadas + es probable que se encuentre en el área y \* son especies cultivadas.