



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLOGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

EL MOSAICO DE VEGETACION DE UNA SELVA  
BAJA CADUCIFOLIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
DOCTORA EN CIENCIAS (BIOLOGIA)

P R E S E N T A

AURORA MARGARITA BRECEDA SOLIS CAMARA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. LAURA BLANCA ARRIAGA CABRERA

MEXICO, D. F.

OCTUBRE 2005

ms 349324



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Permiso a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e Impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Amara Marganta Escobedo  
Sola Camacho

FECHA: 13 Octubre 2005

FIRMA: Amara Escobedo

*Para Martin, Camila y Matías,  
por iluminar mi vida haciéndola maravillosa*

*A mis padres y hermanos  
a quienes quiero con todo mi corazón*

La realización de este estudio fue posible gracias al apoyo logístico y financiero del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. También se contó con el apoyo financiero del proyecto CONACYT 1471P-N9507, y del programa franco-mexicano ECOS-ANUIES No M94B02 para realizar una estancia en la Universidad de París VI.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Laura Arriaga la dirección de este trabajo, a Luis Bojórquez Tapia y a Lauro López Mata la tutoría de la tesis. Quiero agradecerle también a Luis Bojórquez por haberme motivado y enseñado el maravilloso mundo de los Sistemas de Información Geográfica. A la Dra. Marie-Francoise Passini por recibirme en la Universidad París VI e iniciarme en el reconocimiento del paisaje. Al Dr. Mario Martínez, Director General del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, por el apoyo institucional para la realización de este estudio. A mi amiga Margarita Collazo por que gracias a su gestión se abrieron caminos académicos para quienes radicamos lejos del DF y porque gracias a su valiosísima ayuda logré cumplir con los requisitos administrativos que solicita la UNAM.

A Jorge Meave por su siempre entusiasta colaboración y apoyo, particularmente le agradezco la cuidadosa revisión de mi tesis, las muchas horas dedicadas para orientarme y presentar un mejor trabajo. A Irma Trejo por sus pertinentes observaciones en la revisión de mi tesis y con quien comparto la pasión por las selvas secas. A Patricia Balvanera por la revisión y por la valiosa bibliografía que enriqueció mi visión sobre la naturaleza de las comunidades naturales y a Oswaldo Téllez por su revisión y comentarios.

Quiero agradecer a mis compañeros y colegas por su ayuda en diferentes momentos del desarrollo de mi tesis, a Daniel Lluch Cota por su ayuda en el análisis de componentes principales, a César Salinas por su valiosa orientación en el capítulo de clima, a José Luis León de la Luz por su tiempo y disposición a intercambiar ideas. A Aradit Castellanos, Sara Díaz y Yolanda Maya de quienes recibí siempre una gran disposición a ayudarme profesionalmente en múltiples aspectos. A mis amigas y compañeras Heidi Romero y Serafina Argüelles por su compañía y su colaboración para resolver problemas logísticos fundamentales. A mis compañeros del Laboratorio de SIG por su ayuda en la edición e impresión de la cartografía.

Para la realización de este estudio hubo que hacer un intenso trabajo de campo, el cual no hubiese sido posible realizar sin la colaboración de mis compañeros, Reymundo Domínguez, Carmen Mercado, Abelino Cota, Miguel Domínguez y muy especialmente de Franco Cota, con quien compartí largas horas tomando datos bajo el abrasador sol veraniego de Sudcalifornia y múltiples momentos en la selva de la Sierra de la Laguna. También quiero agradecerle a Loreto, Humo, Narda y los habitantes de la sierra por su cálida hospitalidad.

Esta lista de agradecimientos no estaría completa sin mencionar toda mi gratitud a mis amigos, Lorella, Mariló, Artemisa, Alva, Lorena, Javier, Norma, Paco, Elsa y a todas las Damas de la vela-verde por alentarme a continuar a pesar de los obstáculos. A Adriana Musi y mi grupo por ayudarme a enfrentar mis miedos.

He dejado para el final, a manera de un reconocimiento especial, mi enorme agradecimiento para mi familia y mis seres más cercanos por quienes vale la pena continuar en este camino de crecimiento. A mis padres de quien provengo y me hicieron, a mis hermanos con quienes cuento incondicionalmente, a mis hijos quienes han estado conmigo en todo el proceso de mi trabajo y a quienes les he robado horas para realizar mi doctorado, a Thomas por acompañarme en buena parte de este esfuerzo, y quiero muy especialmente agradecerle a Manuel Valenzuela su amor y apoyo en los momentos de flaqueza para terminar esta fase de mi formación académica.

## RESUMEN

En esta tesis se analizó el mosaico de vegetación de la selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, B.C.S, México, en función de factores históricos, climáticos y espaciales, y se identificaron los atributos ambientales asociados a cada unidad de la selva. Para ello se analizaron los patrones de distribución geográfica de las especies estructuralmente más importantes, se obtuvieron índices de aridez con base en la información de las estaciones meteorológicas, se realizó una clasificación supervisada de una imagen satelital, se elaboró cartografía digital con lo que se alimentó un SIG, y se hizo un intenso trabajo de campo.

Se identificaron cuatro unidades de la selva baja caducifolia que se distinguen por el porcentaje de la cobertura vegetal y por las especies que contribuyen a ésta. En la configuración de este mosaico de vegetación operan diversos elementos exógenos que actúan a distintas escalas. Los factores históricos tienen una expresión regional que influyen en la composición árido-tropical de esta vegetación como resultado de un largo proceso geo-histórico y climático dinámico, en donde la acentuación de la aridez en la historia geológica regional ha determinado la expansión del Desierto Sonorense y el refugio de la vegetación tropical hacia el sur, principalmente en las laderas de la Sierra de la Laguna. Los factores climáticos operan a escala regional; sin embargo, la conjunción con variaciones fisiográficas crean condiciones locales que influyen en la conformación del mosaico. Los factores espaciales como la topografía tienen una gran influencia en la composición del mosaico de vegetación, siendo las exposiciones y las pendientes factores locales determinantes en esta comunidad. La influencia de las actividades humanas en el área tiene efectos regionales debido a la larga historia de manejo del área y a la forma extensiva con la que se practican. Todos estos elementos imprimen una gran heterogeneidad en esta selva baja caducifolia conformándola como un complejo mosaico de vegetación.

## **ABSTRACT**

In this dissertation, the author analyzed the tropical dry forest mosaic in the Sierra la Laguna Biosphere Reserve, B.C.S., Mexico according to historical, climatic and spatial factor identifying environmental attributes of each vegetation unit. The methodology involved an analysis of the geographical distribution patterns of the species of structural importance, aridity indexes calculated from meteorological stations information. The author also performed a supervised classification of a satellite image, digital cartography for a GIS and an intense fieldwork.

Based on the vegetation cover percent and the main species that contribute to it, the author identified four units on this tropical dry forest. In the configuration of this vegetation mosaic, there are diverse exogenous elements that operate to different scales. The historical factors have a regional expression that influences the arid-tropical composition of this vegetation because of dynamic geo-historical and climatic processes. The accentuation of the dryness in the geologic regional history has determined the expansion of the Sonoran Desert and the contracting of the tropical vegetation to the south, mainly to the hillsides of the Sierra de la Laguna, thus becoming a refuge of tropical vegetation. The climatic factors operate at a regional scale; nevertheless, in conjunction with physiographic characteristics they create local conditions influencing the vegetation mosaic. The spatial factors like topography have a great influence in the composition of the mosaic, in this vegetation type the local driving factors are the aspect and the slopes. The influence of the human activities in the area has regional effects due to the long history and extensive practices of exploitation of natural resources. All these elements cause a great heterogeneity on this tropical dry forest, triggering a complex mosaic of vegetation.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	1
<b>I. ANTECEDENTES GENERALES</b>	5
1.1. LA NATURALEZA DE LAS COMUNIDADES NATURALES	5
1.2. LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA	9
1.2.1 El mosaico de vegetación en el trópico árido	10
1.2.2 El mosaico de vegetación en la selva baja caducifolia de la Península de Baja California	14
1.2.2.1 Factores que influyen en el mosaico de vegetación de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna.	16
1.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO	18
<b>II. FACTORES HISTÓRICOS: IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE AFINIDAD ÁRIDA Y TROPICAL EN LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE LA SIERRA DE LA LAGUNA, B.C.S.</b>	24
2.1. INTRODUCCIÓN	24
2.2. METODOLOGÍA	26
2.3. RESULTADOS	30
2.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	40
<b>III. FACTORES CLIMÁTICOS: CÁLCULO DE UN ÍNDICE DE ARIDEZ PARA EL SUR DE LA REGIÓN DEL CABO</b>	47
3.1. INTRODUCCIÓN	47
3.2. METODOLOGÍA	50
3.3. RESULTADOS.	51
3.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	60
<b>IV. EL MOSAICO DE VEGETACIÓN DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA LA LAGUNA, B.C.S., MÉXICO: UNA VISIÓN A DIFERENTES ESCALAS</b>	64
4.1. INTRODUCCIÓN	64
4.2. METODOLOGÍA	67
4.2.1. Mapa de vegetación e identificación de unidades	69
4.2.1.1 Fotointerpretación, muestreo y análisis de sitios de entrenamiento.	69
4.2.1.2. Tratamiento de Imagen	72
4.2.1.3. Muestreo y análisis de sitios de verificación para las unidades de la selva	74
4.2.2. Elaboración de la cartografía digital	74
4.2.2.1. Elaboración de mapas vectoriales	75
4.2.2.2. Elaboración de mapas raster	75
4.2.3. Análisis local de la vegetación	76
4.3. RESULTADOS	77
4.3.1. Cartografía	77
4.3.2. Identificación de las unidades de la selva	77

4.3.2.1. Sitios de entrenamiento	77
4.3.3. Clasificación de una imagen LANDSAT TM	80
4.3.3.1 Creación de imagen de falso color	80
4.3.3.2 Patrones espectrales.	82
4.3.4. Mapa de vegetación de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna	87
4.3.5. Verificación de las unidades de la selva	89
4.3.6 Análisis espacial.	91
4.3.7. Vegetación en escalas locales	96
4.3.7.1. Composición florística	97
4.3.7.2. Abundancia y Cobertura	98
4.3.7.3. Participación de especies áridas y tropicales	100
4.3.7.4. Análisis de Componentes Principales	102
4.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	104
<b>V. APLICACIÓN DE LA PERCEPCIÓN REMOTA Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR ÁREAS CRÍTICAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO</b>	112
5.1. INTRODUCCIÓN	112
5.2. METODOLOGÍA	113
5.2.1. Análisis Multicriterio	113
5.2.2 Estructura del Modelo AHP	114
5.2.3. SIG y Bases de Datos	116
5.3. RESULTADOS	119
5.3.1. Evaluación de los Criterios	119
5.3.2. Cuantificación de Atributos y Evaluación de Cuencas	121
5.3.2.1. Escurrimientos superficiales	121
5.3.2.2. Riqueza biológica	124
5.3.2.3. Amenazas	125
5.3.2.4. Costos	128
5.3.3. Síntesis	129
5.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	130
<b>VI. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES</b>	133
<b>VII. LITERATURA CITADA</b>	143
<b>VIII. BASE DE DATOS SNIB-CONABIO</b>	162
<b>ANEXOS</b>	168

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El presente trabajo es el resultado de una serie de motivaciones y preguntas que en su momento tuve sobre la naturaleza de las comunidades naturales, particularmente sobre la selva baja caducifolia de una de las regiones más aisladas de nuestro país, así como un creciente interés personal sobre el uso y aplicaciones de la teledetección y los sistemas de información geográfica en el estudio de las comunidades naturales. Con respecto a la naturaleza de las comunidades naturales, los estudios de las últimas décadas, han estado permeados por una visión en donde éstas son conceptualizadas como un conjunto de parches contiguos de diferentes características, proporcionando a las comunidades una gran heterogeneidad espacial y temporal (Cornell y Karlson, 1997; Forman, 1997; Levin, 1989; Pickett y White, 1985; Van der Maarel, 1996; Hanski, 1994, 1999). Los primeros conceptos de parche, y de la comunidad como un mosaico de parches de diferentes edades como producto de los disturbios naturales que dan lugar a procesos de regeneración y sucesión dentro de una comunidad en escalas locales, fueron propuestos por Watt (1947). Posteriormente esta idea se profundizó y se desarrolló en una amplia gama de comunidades naturales (Van der Maarel, 1996). Si bien esta idea de las comunidades vegetales abrió nuevos campos de trabajo y nuevas interpretaciones sobre los procesos y patrones de las comunidades, el reconocimiento de la heterogeneidad no sólo derivada de los disturbios naturales a escalas locales, sino también la generada por cambios climáticos, eventos históricos y la heterogeneidad espacial a escalas regionales, han enriquecido la teoría sobre la naturaleza de las comunidades naturales (Chesson y Case, 1986; Davis, 1986; Hubbell y Foster, 1986; Holt, 1993; Mc. Laughlin y Rougharden, 1993; Ricklefs y Schluter, 1993; Schluter y Ricklefs, 1993; Tilman y Kareiva, 1997; Hanski, 1994, 1999).

Con respecto a la influencia de la heterogeneidad espacial en la estructura y la dinámica de las comunidades vegetales, la aplicación de nuevas tecnologías como la percepción remota satelital y radar, así como las aplicaciones de los sistemas de información geográfica, han permitido identificar patrones de

vegetación a diferentes escalas y proponer modelos regionales, enfatizando la importancia de la dimensión espacial como un factor que contribuye a la heterogeneidad de las comunidades naturales.

Con base en la conceptualización de las comunidades naturales como un mosaico de parches, los cuales pueden ser definidos como una superficie no lineal diferente en apariencia de su alrededor, sin restricciones en tamaño, homogeneidad interna o discrecionalidad (Forman y Gordon, 1986; White y Pickett, 1985), y que este mosaico es el resultado de diversos factores que operan a distintas escalas, entre ellos: factores históricos, climáticos, heterogeneidad ambiental, interacciones locales de las especies y la dinámica espacial. En el presente trabajo se analiza el mosaico de vegetación de la selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera Sierra de Laguna, B.C.S, en función de factores históricos, climáticos y espaciales, y se identifican los atributos ambientales asociados a cada unidad o parche de la selva, mediante el uso de herramientas remotas, sistemas de información geográfica y análisis locales.

Dado que estos factores operan a diferentes escalas, en este trabajo se analizaron los factores históricos mediante la identificación de especies de afinidad árida y tropical en esta comunidad, para lo cuál se identificó la distribución geográfica de las especies en diferentes regiones. Los factores climáticos se examinaron a escala regional, para lo cual se utilizó la información meteorológica de las estaciones localizadas en el sur de la Región del Cabo. Para la identificación de patrones derivados de la heterogeneidad espacial, particularmente de las variaciones fisiográficas, se eligió como zona de estudio la selva baja caducifolia que se distribuye dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna (Figura. 1).

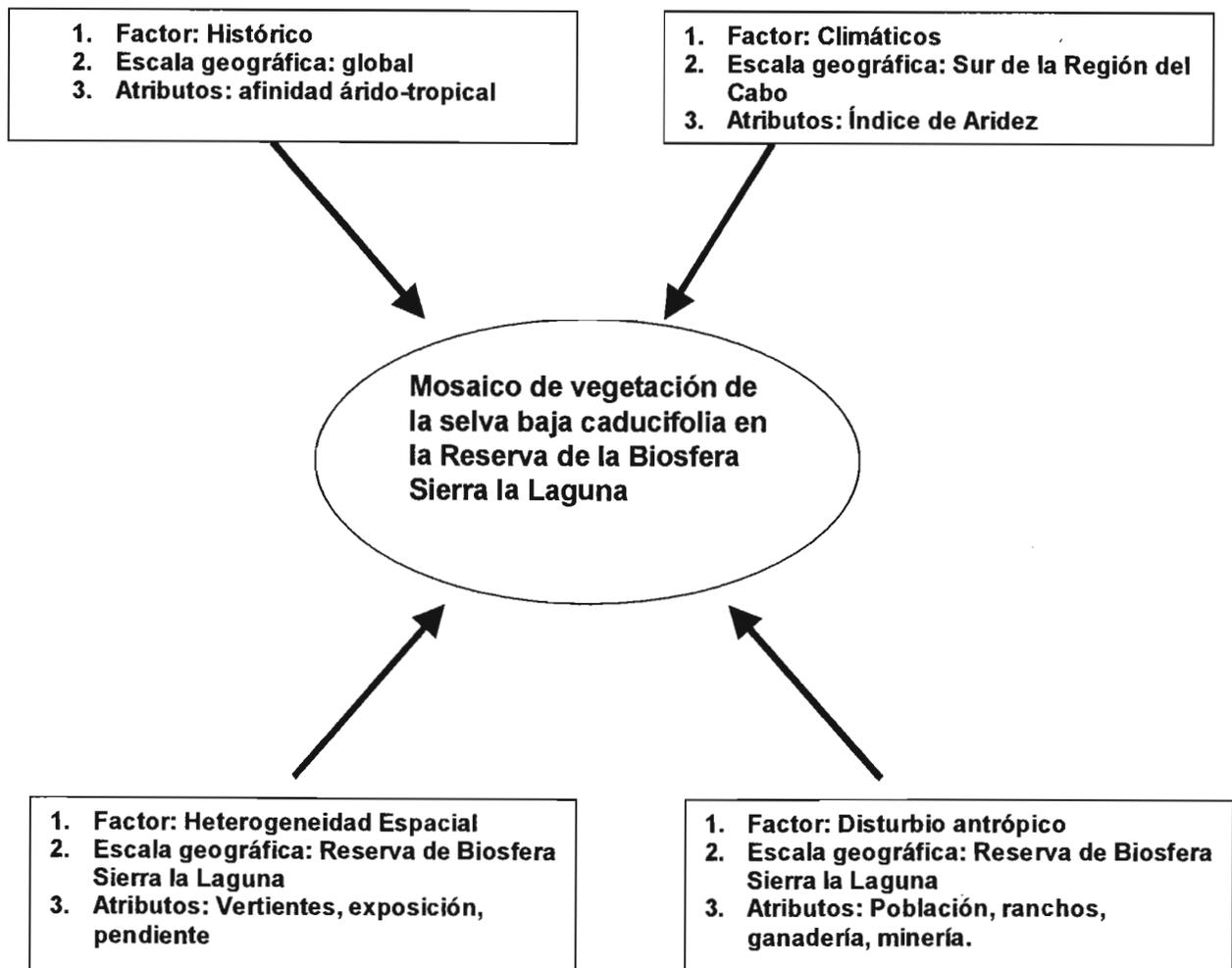


FIGURA 1.1 ESQUEMA DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL MOSAICO DE VEGETACIÓN DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA LA ALGUNA

Además de este objetivo general, en cada capítulo de la tesis se presentan preguntas específicas relacionadas con diferentes aspectos. En la primera parte del trabajo se hace una revisión sobre el estado del conocimiento de la naturaleza de las comunidades y los trabajos realizados sobre parches de vegetación en comunidades del trópico seco. En el segundo capítulo se abordan aspectos históricos en la distribución de la vegetación y se plantean las siguientes preguntas: ¿es la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna un refugio de especies que antaño tuvieron una distribución más amplia? Si ello es así, ¿la

afinidad fitogeográfica de las dominantes fisonómicas de la Región del Cabo es de afinidad tropical?, ¿cuáles son los grupos de especies de afinidad árida y tropical que caracterizan a esta vegetación? Para dar respuesta a estas preguntas se analizó la distribución geográfica de las especies más importantes de la selva baja caducifolia y se identificaron grupos de afinidad árida y tropical, como resultado de un largo proceso histórico regional. En el tercer capítulo se calcula un índice de aridez para la zona de estudio y se analizan las diferencias regionales entre las vertientes de la Sierra de la Laguna. En el capítulo cuarto se plantean las siguientes preguntas: ¿cuáles son las diferentes unidades de vegetación que conforman el mosaico de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna?, ¿cuáles son las características ambientales que identifican a las diferentes unidades de vegetación?, ¿existe una correspondencia entre los atributos de las distintas unidades vegetales con grupos taxonómicos específicos de cada una?, ¿cuál es el efecto de la fisiografía en la configuración del mosaico de vegetación?, y ¿cuáles de las unidades vegetales identificadas se encuentra bajo mayor presión por actividades humanas? Para dar respuesta a estas preguntas se analizó el mosaico de vegetación a diferentes escalas, desde la escala que nos proporciona una imagen de satélite con el sensor *Landsat TM* hasta la que se obtiene mediante el muestreo de parcelas, se identifican los atributos de cada unidad de vegetación a diferentes escalas y las variables abióticas que influyen o determinan el mosaico de vegetación. En el capítulo cinco se desarrolla una aplicación de la información obtenida mediante teledetección, SIG y análisis multicriterio para identificar áreas prioritarias de conservación en la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, y finalmente se presenta la discusión general. Con el desarrollo de este trabajo se pretende contribuir al conocimiento de la naturaleza de este tipo de comunidades, las cuales han sido consideradas como los sistemas tropicales más amenazados, debido a que están asociados a diversas actividades humanas (Janzen, 1988; Murphy y Lugo 1986).

## **I. ANTECEDENTES GENERALES.**

### **1.1. LA NATURALEZA DE LAS COMUNIDADES NATURALES.**

A casi un siglo de que se iniciara una de las controversias más importantes sobre la naturaleza de las comunidades, los sinécologos continúan aportando nuevos temas y perspectivas sobre su naturaleza, dinámica y factores que las determinan (Chesson, 2000; Chesson y Case 1986; Hubbell, 2001; Hubbell y Foster, 1986; Leibold *et al.*, 2004; Schluter y Ricklefs, 1993; Snyder y Chesson 2004; van der Maarel, 1996). Actualmente existen dos visiones generales acerca de la naturaleza de las comunidades locales, la que plantea que éstas son sistemas en equilibrio, y la que identifica a las comunidades como sistemas en no-equilibrio. En la primera se concibe a la comunidad como un sistema cerrado que tiende al equilibrio espacial y temporal, es decir a la permanencia en las abundancias de las especies que la constituyen; en estas comunidades las interacciones biológicas, particularmente la competencia, constituyen los factores determinantes en la distribución y la coexistencia de las especies que conforman una comunidad (Hutchinson, 1959; Roughgarden, 1986). Hay tres grandes teorías del equilibrio: la clásica teoría de la competencia, la de la competencia – depredación y competencia- variación espacial (Chesson y Case, 1986; Krebs, 2001). En la última teoría se incluye la heterogeneidad ambiental y la existencia de parches, los cuales se encuentran en equilibrio (van der Maarel, 1996), existiendo dentro de cada comunidad muchos puntos estables que proveen un equilibrio en un espacio variable y permite la coexistencia bajo circunstancias denegadas por la teoría clásica (Chesson y Case, 1986; Krebs, 2001).

El concepto de las comunidades en no-equilibrio considera a éstas como sistemas abiertos, en donde no hay o son muy débiles los factores estabilizadores intrínsecos que tiendan a mantener la integridad del conjunto taxonómico de especies a través del tiempo, ya que los patrones de las abundancias relativas de las especies están continuamente cambiando (Chesson y Case 1986; Hubbell y Foster, 1986). Bajo este marco conceptual se considera a las comunidades como

sistemas de una gran heterogeneidad espacial y temporal (Levin, 1989), en donde la densidad de las especies no permanecen constantes en el tiempo en cada parche o localidad espacial (Chesson y Case, 1986). Es decir que las comunidades más que tender al equilibrio, se caracterizan por un mosaico de parches contiguos de diferentes características, lo que implica un patrón espacial relativamente discreto y cambiante en el tiempo (White y Pickett, 1985). Esta segunda conceptualización de las comunidades es a la que más número de sinécolos modernos se adhieren, en estos modelos se enfatizan dos ideas centrales, la de la comunidad en parches y los disturbios (Krebs, 2001).

Entre los factores exógenos que moldean a la comunidad como un mosaico de parches se mencionan: las fluctuaciones ambientales, los eventos históricos y el azar. Las fluctuaciones ambientales producen respuestas diferentes de las especies de acuerdo con las historias de vida de cada una y de sus capacidades de dispersión (Chesson y Case, 1986; Krebs, 2001). Algunos autores (Chesson y Case, 1986; Davis, 1986) consideran que los eventos históricos como los cambios climáticos pueden producir desequilibrio en las comunidades, ya que las diferentes poblaciones que conforman una comunidad responden diferencialmente ante los cambios climáticos que se presentan en el planeta. Algunas especies son capaces de responder rápidamente a estos cambios, en tanto que otras tienen una respuesta retardada, dependiendo de las características de la historia de vida de cada especie, de la conducta, de la expansión o el tamaño del ciclo de vida, de la tasa intrínseca de crecimiento y de la dispersión. Dadas estas diferencias entre poblaciones, la comunidad no responde como una unidad compacta a los cambios climáticos, modificando así el patrón de abundancia de las especies o poblaciones de una comunidad, es decir, se presenta una situación de no-equilibrio.

Otro factor que ha sido considerado en la formación de parches dentro de las comunidades naturales es el azar. Algunos autores como Hubbell y Foster (1986) proponen que la muerte de un individuo o la apertura de un claro en un bosque es absolutamente azarosa, y que los individuos que puedan formar parte del proceso de regeneración del bosque estarán en mucho determinados por el hecho de "estar en el lugar y en el momento adecuado". Otros autores como

Connor y Simberloff (1979) son aún más radicales y ponen en duda el hecho de que sean las interacciones biológicas, particularmente la competencia, la principal fuerza que determina la coexistencia de especies, y llegan a proponer modelos totalmente aleatorios en donde el conjunto de especies que conforman una comunidad puede deberse solamente a factores aleatorios. Sobre esta misma idea Hubbel (2001, 2005) propone la teoría neutral cuya base se encuentra en la equivalencia ecológica de todos los individuos de una comunidad definida, es decir que todos los individuos de una comunidad son demográficamente idénticos en términos de sus tasas vitales de nacimiento, muerte y dispersión, y plantea que las comunidades están estructuradas por la deriva ecológica o demografía estocástica, la migración y especiación estocásticas.

El reconocimiento de la heterogeneidad del ambiente y de la comprensión de éste como un mosaico de parches (Forman, 1997) ha dado nuevos puntos de discusión sobre la coexistencia de especies y los patrones de diversidad, uno de los aspectos más relevantes es el reconocimiento de procesos y patrones a diferentes escalas espaciales y temporales (Levin, 1992). La integración de la dimensión espacial y regional en el estudio de poblaciones y comunidades naturales ha permitido el desarrollo de nuevos paradigmas y teorías incorporadas en lo que se conoce como ecología de metapoblaciones, ecología espacial y más recientemente metacomunidades. En estas teorías se pone énfasis en la relación entre las poblaciones o comunidades locales y el paisaje en el cual se encuentran embebidas, y se asume que las localidades espaciales de los individuos, poblaciones y comunidades pueden tener consecuencias significativas sobre la dinámica regional mediante procesos de extinción local, recolonización y dispersión, afectando así los patrones de diversidad a diferentes escalas espaciales (Hanski, 1994,1999; Leibold *et al.*, 2004; Schluter y Ricklefs, 1993). Asimismo Ricklefs y Schluter (1993), Tilman y Kareiva (1997), enfatizan sobre la importancia de los procesos biogeográficos e históricos que operan a grandes escalas regionales como factores que influyen en la riqueza específica regional, toda vez que los hábitats locales se encuentran embebidos dentro de grandes regiones geográficas y expuestos a la dispersión del conjunto de especies

regionales, así la riqueza local puede estar influenciada por procesos que operan a escalas regionales. Por su parte Ricklefs y Schluter (1993) proponen que la relación entre patrones de escala local y regional sugiere que la diversidad local y regional no pueden estar separadas, en su lugar deben de ser consideradas como diferentes expresiones de un sistema ecológico integrado dentro de cada región.

Por su parte Holt (1993) profundiza y discute sobre los efectos de los procesos espaciales en la estructura de las comunidades locales y plantea que debido a la respuesta diferencial de las especies a las dimensiones espaciales del ambiente, una comunidad reflejará la acción compuesta de éstas, lo que implica que los distintos mecanismos espaciales (mecanismos de distribución o movilidad de los individuos) pueden influir en la composición de especies en las comunidades locales embebidas en un paisaje más amplio. Más recientemente Leibold y colaboradores (2004) proponen cuatro modelos de metacomunidades dinámica de parches, clasificación de especies, efecto en masa y neutral; en cada modelo se enfatizan diferentes procesos. Estos autores reconocen que el concepto de metacomunidades es aún muy reciente y que quedan muchas preguntas y caminos por avanzar; sin embargo una de las grandes contribuciones de esta nueva visión consiste en combinar la dinámica espacial con la ecología de comunidades para explicar patrones de coexistencia a diferentes escalas. En esta misma dirección Snyder y Chesson (2004) muestran como cambios en las escalas en dispersión, competencia y heterogeneidad ambiental afectan la coexistencia de las especies.

La incorporación de la dimensión espacial en los fenómenos biológicos y el análisis del efecto de las diferentes escalas en los procesos biológicos y físicos que determinan la coexistencia de las especies, son quizás los aspectos de mayor relevancia en la discusión de los ecólogos modernos. Sin duda este conocimiento ha sido el resultado de varios factores, por un lado la ya importante acumulación de conocimiento sobre los procesos y patrones de las poblaciones y comunidades a escala local, así como por la incorporación y avance de otras disciplinas, particularmente el desarrollo de la ecología del paisaje y de la cada vez mayor aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica, en el

análisis de patrones y procesos naturales relacionados con la cobertura vegetal (Walsh y Davis, 1994).

Con base en este marco teórico, en el presente trabajo se analizan factores históricos, climáticos y espaciales en la conformación de la selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, B.C.S., como un mosaico de vegetación.

## **1.2. LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA.**

La vegetación que se desarrolla en zonas tropicales secas es muy variada, en esta zona se establece la selva baja caducifolia, el bosque espinoso, la sabana, la caatinga, entre otras. La selva baja caducifolia se refiere a un conjunto de comunidades muy heterogéneas debido a la amplitud de condiciones climáticas y microambientales en las que se desarrollan, por lo que una caracterización precisa y aplicable a todas las comunidades clasificadas como selvas bajas caducifolias no es sencilla y requiere de información estructural, como ha sido puntualizado por Trejo (1998). Sin embargo algunos elementos fisonómicos muy generales de estas comunidades permiten definir las como comunidades arbóreas en donde las especies dominantes son perennes y de hoja decidua, la mayoría de las especies dominantes son inermes. Otra característica fisonómica es la baja estatura de sus árboles, generalmente éstos miden entre 4 y 10 m de altura y eventualmente hasta 15 m, presenta un estrato arbustivo denso y abundantes trepadoras en las áreas más húmedas (Murphy y Lugo, 1986; Pennington y Sarukhán, 1968; Rzedowski, 1983). Una de las características distintivas de esta vegetación es que se desarrolla en localidades con una marcada estacionalidad y presentan cambios fisonómicos relacionados a ésta. Durante la época de lluvias las especies que conforman estas selvas presentan hojas, dando al paisaje un color verde intenso que contrasta con el paisaje grisáceo de la época de secas en la cual la mayoría de las especies pierde las hojas (Trejo, 1998; Breceda obs. pers.).

El término de selva baja caducifolia fue propuesto por Miranda y Hernández X (1963), además existen otras denominaciones equivalentes para este tipo de

vegetación, entre ellos: bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1983), bosque tropical deciduo (Leopold, 1950), bosque tropical seco (Gentry 1982) o bosque tropical seco estacional (Bullock *et al.*, 1995).

A pesar de la gran diversidad de condiciones físicas en las que se desarrolla la selva baja caducifolia, el carácter estacional del clima es determinante para el establecimiento de esta vegetación, con al menos un periodo de sequía que puede variar desde dos hasta nueve meses. Durante la estación seca la relación evaporación/precipitación es mayor a la unidad. Para este tipo de comunidades la frecuencia, la duración del periodo de secas y el índice potencial de evapotranspiración son muy importantes y determinantes de diferentes procesos biológicos (Murphy y Lugo, 1986; Trejo y Dirzo, 2002).

Este tipo de vegetación se distribuye ampliamente en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Murphy y Lugo, 1986). En México ocupa alrededor de 8% del territorio nacional. La distribución de este tipo de vegetación en México y su relación con parámetros ambientales ha sido recientemente estudiado y revisado por Trejo (1998) y Trejo y Dirzo (2002), estos autores puntualizan sobre la amplitud de condiciones ambientales, altitudinales y latitudinales en las que se desarrolla esta vegetación y en la gran singularidad de la composición florística de estas comunidades, es decir encontraron muy poca similitud entre los 21 sitios analizados por ellos, siendo *Lysiloma divaricatum*, la especie más común en las selvas bajas del país.

### **1.2.1 El mosaico de vegetación en el trópico árido.**

Para las comunidades del trópico seco y particularmente para la vegetación que se clasifica como selva baja caducifolia o bosque tropical seco, son escasos los estudios referentes a la heterogeneidad y la existencia de parches en estas comunidades, no es sino hasta la década de los años noventa y principios del siglo XXI, cuando estos temas toman mayor relevancia en el trópico seco. Entre los primeros trabajos se encuentra el de Jha y Singh (1990), quienes encuentran una distribución de la vegetación en parches no contiguos que se relacionan

estrechamente con las variaciones topográficas y la textura del suelo en un bosque tropical seco en la India. Por su parte, Coughenour y Ellis (1993) analizan el efecto del gradiente del paisaje y de la precipitación en la abundancia y distribución de la vegetación en Kenia, y concluyen que los ecosistemas del trópico seco (tanto bosques secos como sabanas) presentan un patrón espacial en parches y que la estructura de los ecosistemas del trópico seco está limitada jerárquicamente por factores físicos, por el clima a escalas regionales-continentales, por la topografía dado sus efectos en la redistribución del agua dentro del paisaje, por la geomorfología dado sus relaciones con el suelo y la disponibilidad de agua a escalas de paisaje y regionales, y finalmente por los efectos de los disturbios que se aprecian a escalas locales y de parches. Patten y Ellis (1995) encontraron una distribución de la vegetación en parches relacionada principalmente con el gradiente de precipitación, la textura del suelo y la topografía; estos autores analizaron las relaciones entre la heterogeneidad abiótica y la distribución de tres especies de *Acacia* y diferentes tipos de comunidades en Kenia, y encontraron que el mosaico de vegetación en ese país está asociado con la diversidad en las condiciones físicas, principalmente derivadas de los factores que controlan la disponibilidad del agua (precipitación, suelo y relieve topográfico); concluyen que las especies de *Acacia* estudiadas presentan diferentes respuestas a las variaciones ambientales y que sus abundancias varían independientemente a lo largo del paisaje, creando un *continuum* de poblaciones entremezcladas, generando diferentes tipos de comunidades sin límites discretos, pero identificables y repetidos en áreas con condiciones ambientales similares. Sus resultados apoyan las ideas de Whittaker en el sentido de que las comunidades son el resultado de patrones individuales de las poblaciones que, respondiendo al gradiente ambiental, van creando un *continuum* de cambios de comunidades a lo largo del paisaje. Uno de los trabajos más recientes sobre la riqueza específica en parches de selvas bajas caducifolias y su relación con los índices de vegetación (NDVI), obtenidos mediante el análisis de imágenes satelitales, es el realizado por Gillespie (2005) en el sur de Florida,

encontrando una relación significativa entre el promedio y desviación estándar del de (NDVI) con la riqueza específica.

En México también se han estudiado las relaciones de factores físicos con la vegetación en la selva baja caducifolia de Chamela, Jalisco Galicia *et al.* (1999) encontraron un fuerte efecto de la exposición y la pendiente en relación con la interceptación de la radiación solar (IRS) y en menor medida con el contenido de agua en el suelo; sus resultados muestran que las pendientes de exposición norte tienen menos IRS y mayor contenido de agua en el suelo por más tiempo, lo que permite el desarrollo de una vegetación más densa y de mayor diámetro a la altura del pecho que sitios con otras exposiciones. Balvanera *et al.* (2002) también analizan los patrones de diversidad  $\beta$  y su relación con la heterogeneidad ambiental en esa región. Sus resultados muestran un mosaico topográfico asociado con la disponibilidad de agua para el establecimiento y desarrollo de la vegetación, siendo la insolación la variable ambiental más fuertemente relacionada con los patrones de diversidad  $\beta$  dentro y entre transectos; la pendiente y la elevación también se relacionan aunque en menor intensidad. Para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, Montaña y Valiente (1998) encontraron que los cambios altitudinales y las variaciones en las características edáficas influyen determinantemente en la variabilidad de la vegetación, y concluyen que en sistemas semiáridos la diversidad  $\alpha$  está limitada por la escasez de agua, en tanto que la diversidad  $\beta$  es mayor en matorrales xerófilos que en los matorrales esclerófilos, estando inversamente relacionado con la altitud. En la región de Nizanda en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca se presenta un complejo mosaico de vegetación conformado por la coexistencia de diferentes tipos de vegetación relacionados a factores litológicos, fisiográficos, edáficos y de disturbio por actividades humanas, y dentro de la selva baja caducifolia de esta región se identificaron variaciones fisonómicas y de composición florística relacionadas a con el tipo de material parental (Pérez-García, *et al.*, 2001).

De estos trabajos es posible concluir la importancia de los factores ambientales, particularmente aquellos relacionados con la disponibilidad diferencial de agua, en el patrón de la vegetación del trópico seco a escalas

regionales y de paisaje. Otras fuentes de heterogeneidad a escalas locales en los ecosistemas del trópico seco son la tala selectiva y la presencia de fuegos, como ha sido puntualizado por los trabajos de Kennard *et al.* (2002) y Kennard (2002), quienes estudiaron los procesos de regeneración y sucesión en una selva baja caducifolia en Bolivia, encontrando diferentes mecanismos de regeneración (banco de semillas, juveniles o regeneración vegetativa) dependiendo del tipo e intensidad del disturbio. Otras investigaciones de grano fino proponen que esta heterogeneidad ambiental también se presenta por una disponibilidad diferente de nutrientes, derivada de una topografía caracterizada por pequeñas depresiones y zonas planas. Sovan y Singh (1994) encontraron que en estas depresiones existe una mayor concentración de mantillo, así como también una mayor disponibilidad de nutrientes, de tal suerte que a pesar de que las selvas bajas caducifolias se desarrollan en suelos pobres en nutrientes, son capaces de sostener una producción primaria semejante a la de otros bosques tropicales. Una fuente más de variación en este tipo de comunidades es una distribución espacial de las especies en asociaciones o grupos. De acuerdo con los resultados de Arriaga *et al.* (1993), en la selva baja caducifolia de Baja California Sur existe un patrón de distribución agregado entre diferentes especies leñosas y algunas cactáceas, sin corresponder al reemplazamiento típico de nodrizaje entre leguminosas y cactáceas que se ha descrito para matorrales xerófilos; sin embargo, sí existen parches de especies que se agrupan y aparentemente este patrón de distribución espacial corresponde más que a una diferencia en contenido de nutrientes, a las diferentes temperaturas entre sitios sombreados y sitios expuestos a la radiación solar.

Los trabajos realizados en los ecosistemas del trópico seco muestran que existe una gran fuente de heterogeneidad espacial a diferentes escalas de análisis, en la que los elementos abióticos, principalmente aquellos relacionados con la disponibilidad y redistribución del agua, parecen ser los principales factores determinantes en los patrones de estas comunidades a escalas de paisaje o regional. Asimismo a escalas locales se ha demostrado que los disturbios tanto naturales (fuegos y claros) como los resultantes de actividades antrópicas

(ganadería y tala) aumentan la heterogeneidad espacio-temporal en estas comunidades. Los factores biológicos como las características de las especies, la capacidad de regeneración vegetativa y las características de las semillas (principalmente ortodoxas) son fenómenos presentes en el trópico seco. Si bien se cuenta ya con varios estudios sobre el trópico seco, el entendimiento de sus patrones y procesos es aún incipiente y hasta el momento el conocimiento acumulado para este ecosistema sugiere que son varios los factores bióticos y abióticos los que determinan la compleja heterogeneidad de los bosques tropicales secos. En este contexto, el presente trabajo pretende aportar elementos para el entendimiento del mosaico de vegetación en una selva baja caducifolia en función de factores históricos, climáticos y espaciales, mediante el análisis del patrón de distribución geográfica de las especies más importantes de esta comunidad, el análisis de las variaciones de los índices de aridez a escala regional y el análisis de la información que nos proporciona una imagen satelital, así como el muestreo en campo.

### **1.2.2 El mosaico de vegetación en la selva baja caducifolia de la Península de Baja California.**

En la península de Baja California, la selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio se distribuye únicamente en el extremo sur, en la región conocida como Región del Cabo (desde el Istmo de la Paz hasta Los Cabos), esta región ha sido definida como una zona particular debido a su historia geológica y a su vegetación (Brandegei, 1891; Daniel, 1997; León de la Luz, 1999). Las primeras descripciones de esta vegetación datan de fines del siglo XIX (Brandege 1891, 1892a y 1892b) en donde se presentan listados florísticos y algunos rasgos de la fisonomía y fenología de la vegetación de la Región del Cabo. Posteriormente Shreve (1937) define como bosque de la Región del Cabo (Cape Forest) a toda la vegetación que se encuentra por abajo de los 1000 m de altitud, más una delgada franja en la costa oriental al norte de La Paz, que corresponde a las partes bajas de la Sierra de la Giganta. Con respecto a esta vegetación, Shreve (1937) menciona que se asemeja a una selva tropical empobrecida. Rzedowski (1983) retoma los

trabajos de Shreve y clasifica como bosque tropical caducifolio a la vegetación que Shreve llamó Cape Forest. En otro de sus trabajos, Rzedowski (1979) afirma que las condiciones climáticas particulares en las que se desarrolla el bosque tropical caducifolio de la península de Baja California se asemejan más a las condiciones en donde se encuentran bosques espinosos. Por su parte Wiggins (1980) clasifica a la vegetación de la Región del Cabo como Árido-Tropical, con excepción a dos pequeñas franjas en la costa este que cataloga como Desierto Sarcoculescente.

Otra descripción de la vegetación de la Región del Cabo se encuentra en Villa-Salas (1968), quien propone varios tipos de selvas para la Región del Cabo, en ese trabajo el autor solamente nombra diferentes asociaciones vegetales y la superficie que ocupa cada una. Para la selva baja caducifolia, Villas-Salas (1968) propone dos subtipos con una extensión mayor que la que estudios posteriores han definido (INEGI, 2001; León de la Luz *et al.*, 1988; Morelos, 1988). Actualmente la delimitación más precisa de la selva baja caducifolia en esta región, se encuentra en la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI (2001), en la cual se considera un área de distribución de 390, 300 ha, siendo las laderas de la Sierra de la Laguna el área en donde se encuentra mejor representada y con mayor distribución.

En la Sierra de la Laguna, la selva baja caducifolia se desarrolla principalmente en un intervalo altitudinal entre los 300 y 1,000 m, hacia las partes más altas se mezcla con el bosque de encinos y en las regiones bajas con el matorral sarcoculescente (Breceda, 1994; Morelos, 1988), lo que dificulta su delimitación. Sin embargo en el trabajo de León de la Luz *et al.* (2000) se diferencian estas comunidades en función de la altitud, la precipitación y el sustrato, siendo las laderas de granito las que sostienen a la selva baja caducifolia y las planicies aluviales al matorral sarcoculescente. Las especies que distinguen a la selva baja caducifolia de otras comunidades árido tropicales de la Región del Cabo son: *Lysiloma divaricatum*, *Plumeria rubra* var. *acutifolia* y *Pachycereus pecten-aboriginum* (Breceda, 1994; León de la Luz *et al.*, 2000). La composición florística y la estructura de esta vegetación han sido estudiadas por diversos autores, entre ellos se encuentran los siguientes trabajos Arriaga y León de la Luz (1989), Breceda (1994), León de la Luz, *et al.* (1988), León de la Luz *et al.* (1989), León de la Luz

(1999), León de la Luz *et al.* (1999), Reygadas y Velásquez (1983), Villers-Ruiz, *et al.*, 2003.

Las características en los ecotonos del bosque de encino y de la selva baja caducifolia fueron analizadas por Casalegno *et al.* (2000). Para el municipio de Los Cabos existe una regionalización basada en criterios geomorfológicos y se proponen 32 unidades de paisaje terrestre, las cuales se agrupan en cuatro categorías de unidades ambientales y aptitudes (turística y pesquera, agrícola-ganadera, uso turístico costero y usos conservacionistas de baja intensidad, conservación) (López Blanco, 1994). Esta regionalización fue la base para el análisis de conflictos ambientales y el Ordenamiento Territorial (Malczewski *et al.*, 1997). Si bien ya existe un conocimiento base sobre esta comunidad, la mayoría de los trabajos sobre la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna corresponden a escalas locales y los estudios regionales se enfocan a la diferenciación de comunidades para la Región del Cabo o la clasificación regional en unidades geomorfológicas en zonas que sobrepasan la distribución geográfica de la selva baja caducifolia. De ahí el interés por entender con mayor precisión el patrón del mosaico de vegetación de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, principalmente en el área de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, y con el fin de contribuir a la conservación y manejo de esta área.

#### **1.2.2.1 Factores que influyen en el mosaico de vegetación de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna.**

La historia geológica y la paleoecología de la Región del Cabo se caracterizan por un alto dinamismo y aislamiento geográfico. Esta región tiene sus orígenes durante el Mesozoico (Cretácico Medio), junto con el cinturón montañoso de la costa occidental de América del Norte (Mina, 1956). La región se desprendió de la costa occidental del macizo continental durante el Mioceno Medio (alrededor de 14 millones de años antes del presente), permaneciendo aislada durante largos periodos y es hasta el Pleistoceno cuando la Región del Cabo queda definitivamente unida al resto de la Península. Los cambios climáticos globales

han sido también una de las principales fuerzas que han moldeado a la vegetación de la península y particularmente de la Región del Cabo. La tendencia global a la aridez desde el Terciario Medio y Tardío provocó cambios en la biota, particularmente en la distribución de los elementos tropicales, que se supone cubrían regiones más septentrionales que las actuales (Axelrod, 1950). Los cambios climáticos del Pleistoceno tuvieron una enorme repercusión sobre la vegetación de la península, ya que se considera que es durante esta época cuando se forma el desierto peninsular, dividiendo y aislando comunidades como el chaparral arbolado (woodland chaparral) en el norte y los arbustos espinosos hacia el sur (Murphy, 1983). Algunos autores mantienen la teoría de que durante el Pleistoceno ocurrió una expansión y contracción de la vegetación árida como respuesta a los cambios climáticos provocados por las glaciaciones e interglaciaciones (Axelrod, 1979; Savage, 1960). De esta manera se dio entrada a nuevas migraciones del continente, tanto de origen templado como tropical. Es también durante esta época cuando posiblemente se formaron puentes o conexiones entre las islas del Golfo como producto de los cambios en el nivel del mar, permitiendo así migraciones península-continente y viceversa (Murphy, 1983).

Con respecto a la evolución de la flora de la Región del Cabo, al parecer esta zona ha sido refugio de elementos tropicales y éstos confluyen con elementos áridos, características que se presentan en la actualidad y hacen que la vegetación de esta región sea sumamente particular. De acuerdo con los trabajos de Breceda *et al.* (1994), la flora de la selva baja caducifolia de la Región del Cabo se compone por numerosas especies propias de las zonas áridas y mantiene una gran influencia de elementos provenientes del Desierto Sonorense; sin embargo, existe una gran proporción de especies que se comparten con el trópico seco de México, de tal manera que en esta comunidad coexisten especies de zonas tropicales y zonas áridas.

Además de los factores históricos, las variaciones microclimáticas, fisiográficas y los efectos de las actividades humanas son elementos que

determinan el mosaico de vegetación de esta selva baja caducifolia. Aspectos que son abordados en los diferentes capítulos de esta tesis.

### 1.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO

En este trabajo se analizan factores que se presentan en distintas escalas geográficas por lo que en los distintos capítulos de esta tesis se hace referencia a la distribución de las especies en la Península, al clima del sur de la Región del Cabo y a la selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna. Es por ello que la descripción del área de estudio se refiere tanto a la Región del Cabo, a la Sierra de la Laguna y a la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna.

La Región del Cabo fue propuesta como una zona natural distinta del resto de la península debido a las particularidades de su origen geológico y de la biota que sostiene. Las primeras referencias de esta región se encuentran en Brandegee 1891 y 1892, quien la define como una extensión montañosa de alrededor de 130 km de largo por 50 km de ancho, situada principalmente entre 23° y 24° de latitud norte. Posteriormente Shreve (1937) define a esta zona con una mayor extensión, incorporando el área de la Sierra de la Giganta al norte de La Paz, hasta el paralelo 26°. Otra propuesta para delimitar la región fue la de Hammond (1954), quien enfatiza sobre los criterios geológicos y propone como área de delimitación norte la línea que sigue la falla La Paz (Figura 1.1). En un trabajo más reciente se propone como límite norte de la Región del Cabo los depósitos aluviales de roca granítica (León de la Luz *et al.*, 1999) (Figura 1.1), esta última delimitación coincide también con la provincia Sanlucana propuesta por Peinado *et al.* (1994) en la zonificación fitogeográfica de la península de Baja California. En esta tesis se optó por la delimitación propuesta por León de la Luz *et al.* (1999) y para la realización del capítulo tres se analizaron los datos de las estaciones meteorológicas localizadas en el sur de la Región del Cabo.

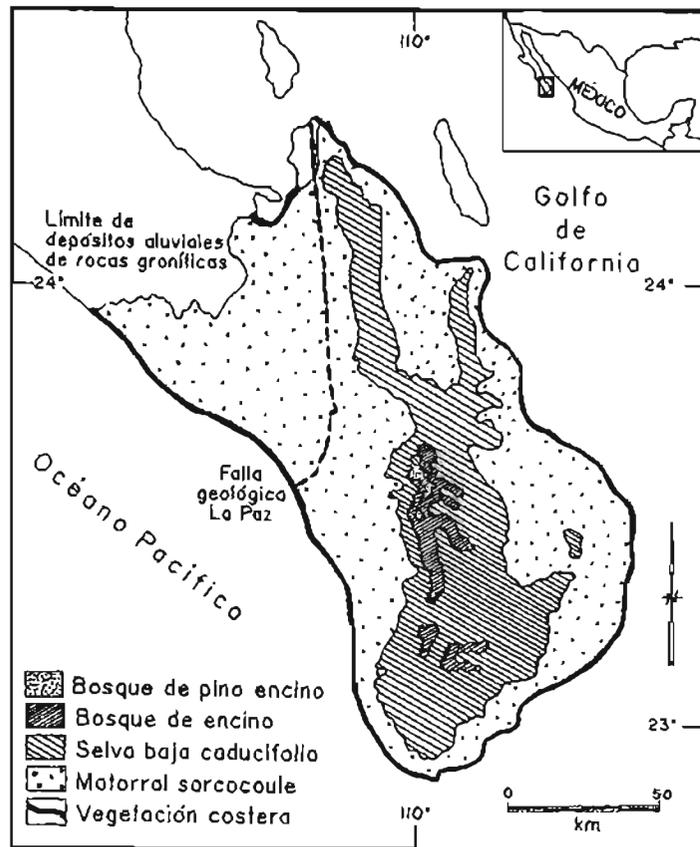


FIGURA 1.1 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA REGIÓN DEL CABO, B.C.S. Y COMUNIDADES VEGETALES (tomado de León de la Luz, *et al.*, 1999)

Para la elaboración de los capítulos cuatro y cinco de esta tesis se consideró como zona de estudio la selva baja caducifolia que se desarrolla dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera “Sierra la Laguna”. Esta porción de la selva constituye cerca de 20% del total del área de distribución de la selva baja caducifolia propuesta por INEGI (2001) para Baja California. La Reserva de la Biosfera fue decretada el 6 de junio de 1994 (Diario Oficial, 1994). La Reserva se localiza sobre la Sierra de la Laguna, al sur de la Península de Baja California, y forma parte de los municipios de La Paz y Los Cabos. Tiene una extensión de 112,437 ha; su delimitación queda comprendida entre los paralelos 23° 20' y 23° 42' y los meridianos 109° 46' y 110° 11' (Figura 1.2).

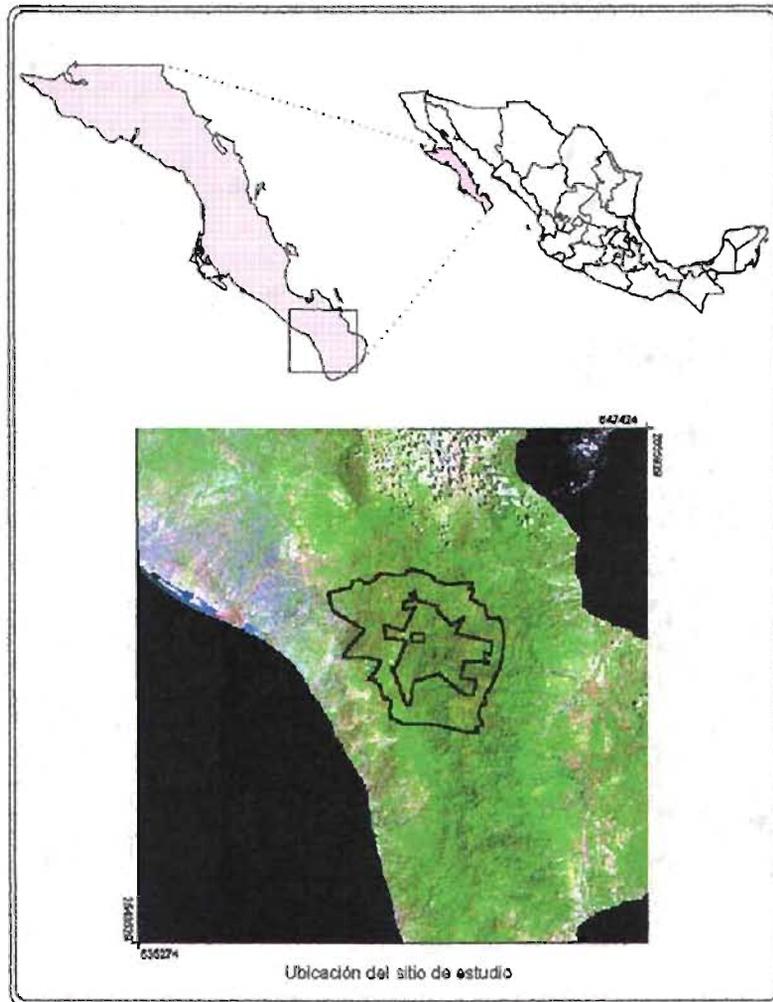


FIGURA 1.2. LOCALIZACIÓN DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA LA LAGUNA

La Sierra de la Laguna se encuentra limitada por los paralelos  $22^{\circ} 50' N$  y  $24^{\circ} N$  y por los meridianos  $109^{\circ} 45'$  y  $110^{\circ} 10' O$ , constituye el macizo montañoso más elevado y grande del sur de la península, con una altura máxima de 2,090 m. Está formada por cuatro serranías orientadas de norte a sur Sierra de la Victoria, Sierra de la Laguna, Sierra de San Lorenzo y Sierra de San Lázaro, aunque todas ellas reciben el nombre genérico de Sierra de la Laguna. Ésta es muy escarpada en casi todos sus flancos y constituye el parteaguas que divide el drenaje pluvial entre el Océano Pacífico y el Golfo de California (Hammond, 1954). Desde el punto de vista geomorfológico, este sistema se corta por una serie de cañones

perpendiculares a la sierra, orientados en dirección este-oeste, los cuales dan cauce a arroyos intermitentes que albergan a la vegetación ribereña. La heterogeneidad en el relieve se refleja en divergencias topográficas entre las vertientes, la del Pacífico presenta una pendiente muy pronunciada, mientras que la del Golfo es más suave y tendida (Hammond, 1954). Además de la cordillera, las otras geoformas que se encuentran en la zona son: colinas, mesas y llanos (Guertin *et al.*, 1988).

La geología superficial del macizo montañoso y parte de las colinas está formada principalmente por rocas ígneas intrusivas masivas y básicamente por granitos y sienitas. Estos materiales rocosos son probablemente parte de un batolito del Jurásico Tardío o Cretácico Temprano; las rocas son de grano grueso y fuertemente consolidadas (Hammond, 1954). Las intrusiones tardías, probablemente del Cretácico o del Terciario Temprano, aparecen como venas de grano fino en los granitos y las rocas metamórficas más tempranas. Sobre el límite oriental y discordantemente, se encuentran formaciones marinas miocénicas y pliocénicas depositadas sobre el bloque caído del batolito (Mina, 1956). En las colinas de la vertiente occidental se encuentran areniscas del Mioceno y las mesas están constituidas por conglomerados, areniscas y esquistos compuestos de arena de granito y rocas incluidos en una matriz calcárea, probablemente del Plioceno (Hammond, 1954). Los llanos están formados de material aluvial del Cuaternario; el aluvión está constituido por arenas estratificadas y gravas (Guertin *et al.*, 1988).

El clima de la región varía a lo largo del gradiente altitudinal. En general se presentan tres zonas térmicas: una zona cálida, una semicálida y una templada, con una gran variación en temperatura y humedad dependiendo de la exposición de las vertientes y de la altitud (Coria, 1988). De acuerdo con la clasificación de García (1973) y las adaptaciones de Coria (1988), el clima de la parte alta de la sierra es C(w)b(e) que corresponde a un clima templado subhúmedo. Para las partes medias de la vertiente occidental y de acuerdo con los datos de la estación de Santa Gertrudis el clima es de tipo BS<sub>0</sub>(h')hw, que es semiárido cálido. Para la porción media de la vertiente oriental y con la información meteorológica de la

estación de Santiago, Coria (1988) define al clima como de tipo BW(h')hw(e), que es muy árido y caluroso, con 29.8 °C de temperatura promedio anual.

Los suelos de la sierra fueron descritos por Maya (1991). Éstos son de textura gruesa y existen frecuentes afloramientos rocosos. La mayor parte de ellos son de escasa profundidad y presentan poco desarrollo por lo abrupto de las pendientes; son abundantes los suelos de colores claros y pobres en materia orgánica, con excepción de aquello que soportan al encinar y al bosque de encino-pino. En las llanuras y mesas se encuentran regosoles eútricos que se han formado por el material acarreado de la región montañosa; éstos son profundos y de poco desarrollo. En los lechos de los arroyos dominan los fluvisoles eútricos como producto del material transportado por el flujo del agua; generalmente se trata de arenas con rocas de cantos rodados. En la mayor parte de la región montañosa se encuentran litosoles asociados con regosoles eútricos de poco espesor. En las partes altas de la sierra se encuentran cambisoles húmicos que sostienen pastizales y cambisoles eútricos principalmente en la zona de encino-pino; a este tipo de suelos se les encuentra frecuentemente asociados con feozem háplicos.

A lo largo del gradiente altitudinal se desarrollan diferentes comunidades vegetales, en las zonas intermedias del macizo montañoso, entre 300 y 1000 m, con un clima cálido y seco, se desarrolla la selva baja caducifolia. Por arriba de esta cota altitudinal, entre 1000 y 1500 m, se desarrolla el bosque de encino, y en las zonas más elevadas se ubica el único bosque de pino-encino del sur de la península (Casalegno, 1997; León de la Luz *et al.* 1988; Morelos, 1988). A lo largo del gradiente altitudinal y en los fondos de los cañones y cañadas se desarrollan bosques en galería o vegetación de fondo de cañada; en estas comunidades es típico encontrar palmares y especies que sólo se distribuyen en esta vegetación, como *Populus brandegeei* y *Salix lasiolepis*. Esta vegetación varía en composición florística de acuerdo con el gradiente altitudinal (Breceda, 1994).

En las partes medias y bajas de la Sierra de la Laguna se asientan numerosas rancherías que se dedican a la ganadería extensiva, principalmente de ganado vacuno y en menor proporción a la cría de cabras. De acuerdo con el

trabajo de Arriaga y Cancino (1992), esta actividad ha generado un sobrepastoreo en la zona; asimismo, la presencia de ganado vacuno afecta la regeneración de la selva, tanto en la composición del banco de semillas (Ramírez-Apud, 1998), como en el establecimiento de juveniles (Ortiz-Ávila, 1999). Además de la ganadería otra fuente de perturbación de la vegetación es la entresaca selectiva de algunas especies que son utilizadas para la comercialización de carbón vegetal y para la construcción de viviendas, muebles y artesanías (Breceda *et al.*, 1997).

## **II. FACTORES HISTÓRICOS: IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE AFINIDAD ÁRIDA Y TROPICAL EN LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE LA SIERRA DE LA LAGUNA, B.C.S.**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

La distribución geográfica de las especies responde a múltiples factores físicos, biológicos e históricos. Por un lado ésta depende de la capacidad de las especies para adecuarse a las condiciones ambientales prevalecientes, y por otro a los procesos histórico-climáticos a las que han estado sujetas durante grandes períodos de tiempo. En el caso de las especies que conforman la vegetación del trópico seco, su origen responde a un patrón histórico-climático dinámico determinado por un incremento paulatino de la aridez. Así por ejemplo, para Centroamérica y el Caribe, Graham y Dilcher (1995) proponen la existencia de géneros actuales del trópico seco presentes desde etapas muy tempranas (Eoceno Tardío), los cuales probablemente constituían pequeñas poblaciones o individuos que se desarrollaban en microambientes secos, dentro de un ambiente predominante húmedo. No fue sino hasta el Plioceno cuando la vegetación del trópico seco se perfiló como una comunidad dominante en esa región.

Para la Península de Baja California, Axelrod (1979) propone la presencia de elementos del trópico seco o representantes de linajes que pudieron desarrollarse como parte de esta vegetación desde el Eoceno Medio, los cuales presentaban una distribución geográfica más amplia que la actual. El incremento de la aridez provocó cambios en la biota regional, dando paso a una vegetación dominada por bosques tropicales secos, bosques esclerófilos y chaparrales desde el Terciario Medio hasta el Plioceno. La existencia de microambientes áridos dentro de esta vegetación permitió el desarrollo de la vegetación desértica. Es también durante el Mioceno-Plioceno que se dan los eventos geológicos más importantes en la formación de la península, acentuando las condiciones climáticas locales hacia una mayor aridez (Murphy, 1983). El incremento paulatino de la aridez ha sido también registrado mediante la presencia de leguminosas

fósiles al norte de La Paz, lo que sugiere un ambiente más húmedo, así como una gran influencia de la flora de Sudamérica tropical (Cevallos-Ferriz y Barajas-Morales, 1994). Concretamente para la Región del Cabo, las condiciones paleogeográficas estuvieron dominadas por conexiones temporales y largos periodos de aislamiento, y es hasta el Pleistoceno cuando la Región del Cabo se unió definitivamente al resto de la península (Durham y Allison, 1960; Mina, 1956).

El Pleistoceno se caracterizó por la ocurrencia de 15 a 20 glaciaciones y periodos interglaciares (Imbrie e Imbrie, 1979). Entre los elementos paleogeográficos y paleobiogeográficos más relevantes para el área peninsular, se encuentran las marcadas variaciones en el nivel del mar, inmigraciones de especies, y la formación del Desierto Central (Murphy, 1983). Es durante los periodos interglaciares cuando se da una mayor expansión de la vegetación del Desierto Sonorense, presentándose expansión y contracción de los elementos áridos y tropicales como respuesta a los ciclos de glaciación-interglaciación (Axelrod, 1979). Estudios paleontológicos más recientes (Pleistoceno-Holoceno), basados en los registros fósiles de depósitos de basura del roedor *Neotoma*, muestran una tendencia general de incremento de la aridez, con la consecuente reducción de una vegetación más méxica y la expansión del desierto (Van Devender, 1987). Para el área de Cataviña, B.C., Sankey *et al.* (2001) analizaron depósitos fósiles de *Neotoma* para el Holoceno Tardío, encontrando que la vegetación de ese tiempo era similar a la actual; sin embargo, la distribución y abundancia de las especies vegetales eran localmente diferentes, sugiriendo que el clima era más húmedo que el actual, lo que permitió que algunas especies, actualmente restringidas a áreas húmedas como los cauces de arroyos, tuviesen una distribución más amplia.

Dado el marcado carácter de insularidad de la Región del Cabo, derivado de su compleja historia geológica y de la conexión permanente (relativamente reciente de esta zona) con el resto de la península, los eventos históricos más importantes para su desarrollo, con relación al Desierto Sonorense, se presentaron durante el Pleistoceno.

Actualmente el área peninsular está dominada por las comunidades del Desierto Sonorense, el cual ocupa tres cuartas partes de la región y solamente en el extremo sur se localiza la selva baja caducifolia como una comunidad dominante, particularmente en las laderas de las Sierras de la Laguna y en menor medida en la Sierra de la Trinidad. Esta distribución actual es en mucho el resultado de la compleja historia geológica regional, la cual muestra una marcada tendencia a la aridez, que permitió la expansión de la flora desértica.

Con base en este marco geohistórico de la evolución de la biota en la región, en el presente capítulo se pretende contestar a las siguientes preguntas ¿es la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna un refugio de especies que antaño tuvieron una distribución más amplia? Si ello es así, ¿la afinidad fitogeográfica de las dominantes fisonómicas de la Región del Cabo es de afinidad tropical?, ¿cuáles son los grupos de especies de afinidad árida y tropical que caracterizan a esta vegetación?.

Para contestar estas preguntas se procedió a analizar la distribución geográfica de las especies de importancia estructural de la selva baja caducifolia en la Región del Cabo, B.C.S., México.

## **2.2. METODOLOGÍA**

Para determinar la afinidad florística y ambiental de los géneros y especies de importancia estructural de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, se seleccionaron 82 géneros y 97 especies de acuerdo con el trabajo de Arriaga y Breceda (1999), en ese trabajo se presenta una síntesis de estudios florísticos, fitogeográficos, estructurales y manejo de esta vegetación. Del total de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas enlistadas en ese trabajo, se seleccionaron solamente las especies de importancia estructural.

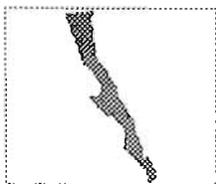
Para los taxa seleccionados se analizó la distribución geográfica con base en una revisión bibliográfica que abarcó la siguiente literatura: *Acanthaceae of California and The Peninsula of Baja California* (Daniel, 1997), *Árboles y Arbustos de México* (Standley 1924), Base de datos W<sup>3</sup>TROPICOS del Missouri Botanical

Garden (<http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>), Flora de Arizona (Kearney *et al.*, 1960), Flora de Baja California (Wiggins, 1980), Flora del Bajío (Rzedowski y Calderón (Eds.) 1992-2003, Flora de California (Munz y Keck, 1973), Flora de Chamela (Lott, 1993), Flora de Chiapas (Breedlove, 1986), Flora del Desierto Sonorense (Shreve y Wiggins, 1964), Flora de Veracruz (Gómez-Pompa (Ed), 1978-2003), Willis (1973), Vegetación y Flora de Nizanda, Oaxaca (Pérez-García *et al.*, 2001).

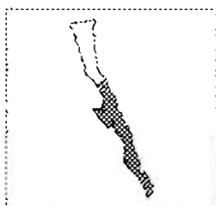
Con base en esta información, los géneros analizados se agruparon según su distribución geográfica en las siguientes categorías: América, Cosmopolita, México, Neotropical y Pantropical. Las especies se agruparon en regiones geográficas más acotadas como las siguientes:

- América: Comprende a las especies con una distribución geográfica en América del Norte y América del Sur.
- Desierto Sonorense (Sur): Especies cuya distribución geográfica comprende el límite sur del Desierto Sonorense y zonas adyacentes, principalmente los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora.
- Desierto Sonorense (Sur y Norte): Especies que se distribuyen principalmente dentro de los límites del Desierto Sonorense, según Shreve y Wiggins, (1964).
- México: Especies cuya distribución geográfica se restringe a México.
- México y Centroamérica: Comprende a las especies que han sido registradas para México y Centroamérica.
- Neotropical: Comprende casi la totalidad de América del Sur así como la intertropical de Norteamérica.
- Noroeste de México: Especies que han sido registradas para la zona que comprende principalmente la Península de Baja California, Sonora y Sinaloa.
- Pantropical: Regiones tropicales del mundo.
- Regiones templadas del mundo.
- Sur de EUA y México: Especies que han sido registradas para la zona que abarca los estados fronterizos de Estados Unidos (California, Arizona y Texas) y el territorio mexicano.
- Sur de EUA y Norte de México: Incluye a las especies que han sido registradas para la región que abarca los estados fronterizos de Estados Unidos y la zona norte de México, en la cual se incluyen los estados de Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas.
- Suroeste de EUA y Noroeste de México: Comprende la región de California, Arizona, península de Baja California, Sonora y Sinaloa.

Con los resultados obtenidos sobre los patrones de distribución de las especies seleccionadas y con base a una revisión bibliográfica sobre géneros característicos de ambientes áridos y tropicales de Norteamérica (Gentry, 1995; Rzedowski, 1962, 1973; Shreve, 1942; Shreve y Wiggins, 1964; Shmida, 1985), se definió la afinidad ambiental de las especies (árida o tropical) en función de las características ambientales predominantes de las áreas geográficas en donde se distribuyen. Asimismo y con el objeto de delimitar una distribución más detallada de estas especies dentro de la Península de Baja California, así como los ambientes peninsulares en los cuales se presentan, se procedió a delimitar las áreas de distribución peninsular con base en la información de Shreve y Wiggins (1964), Wiggins (1980), Hastings *et al.* (1972) y Turner *et al.* (1995). Cada especie se asignó a una región de la península; la regionalización peninsular se hizo con base en: (1) la subdivisión de la vegetación del Desierto Sonorense propuesta por Shreve y Wiggins (1964), (2) la categorización de comunidades vegetales para la península descritas por Wiggins (1980), y (3) las provincias fitogeográficas propuestas por Peinado *et al.* (1994). En estos trabajos se proponen subdivisiones de la vegetación de la península en función de atributos florísticos, abundancia de especies o relaciones fitogeográficas, así como algunas características físicas. Entre las tres propuestas existen diferencias de detalles; sin embargo permanecen algunas regiones muy definidas como el extremo norte de la península, la región del Vizcaíno a partir de 30° de latitud norte, la región de Magdalena y el extremo sur de la península. Con base en estas grandes regiones, en este trabajo se consideró la siguiente regionalización y distribución de las especies seleccionadas.



Distribución 1: Comprende a las especies que se distribuyen a todo lo largo de la Península.



Distribución 2: Comprende a las especies que se distribuyen desde la parte central de la Península (aproximadamente desde los 30° de latitud norte) hasta el extremo sur.



Distribución 3: Incluye a las especies cuya distribución geográfica en la Península se limita a la parte sur de ésta (aproximadamente desde los 27° de latitud norte) hasta el extremo sur.



Distribución 4: Contiene a las especies que se limitan a la Región del Cabo (aproximadamente desde los 24° de latitud norte) hasta el extremo sur.

Finalmente, y con el objeto de validar los grupos de especies de afinidad árida y tropical, se seleccionaron 18 especies representativas de ambos grupos y se identificaron los patrones de distribución en México. Para la selección de estas especies se consideró a las especies más importantes y abundantes en las diferentes comunidades del Desierto Sonorense de acuerdo con el trabajo de Shreve y Wiggins, (1964), y para la selva baja caducifolia los trabajos de Arriaga y Breceda (1999) y Breceda (1994). Otro criterio utilizado para agrupar a las especies consistió en comparar los listados florísticos de la comunidad estudiada con otras regiones en donde se desarrolla la selva baja caducifolia, como Chamela (Lott, 1993); Chiapas (Breedlove, 1986; Reyes García y Sousa, 1997), Oaxaca (Torres Colín *et al.*, 1997; Pérez-García *et al.*, 2001) y Sierra de San Juan, Nayarit (Téllez Valdés *et al.* 1995). Con base en esta revisión bibliográfica y los resultados obtenidos respecto de la afinidad de las especies y su distribución peninsular se eligieron diez especies representativas de ambientes áridos y ocho de ambientes tropicales.

Para identificar los patrones de distribución en México de estas dieciocho especies se digitalizó en MapInfo (V 5.0.1) (MapInfo Corporation, 1998) la información sobre sitios de colecta georreferenciados, provenientes de diversos herbarios del país y del extranjero y que están compilados en las bases de datos taxonómicas del Sistema Nacional de Información de Biodiversidad administrado

por Conabio (SNIB-CONABIO). Esta información incluyó 2,071 registros, mismos que fueron depurados y sólo se consideraron 1,591 registros consistentes para las dieciocho especies seleccionadas.

## 2.3. RESULTADOS

En el cuadro 2.1 se muestra el listado de géneros seleccionados y su afinidad geográfica. En el cuadro 2.2 se muestra la distribución geográfica y la afinidad ambiental de las especies de importancia estructural de la selva baja caducifolia de la región de estudio y en el cuadro 2.3 el listado de especies endémicas de la península de Baja California.

CUADRO 2.1 DISTRIBUCIÓN Y AFINIDAD GEOGRÁFICA DE LOS GÉNEROS DE IMPORTANCIA ESTRUCTURAL EN LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA EN BAJA CALIFORNIA SUR.

GÉNERO	DISTRIBUCIÓN	GÉNERO	DISTRIBUCIÓN
<i>Abutilon</i>	Pantropical	<i>Hyptis</i>	México
<i>Acacia</i>	Pantropical	<i>Ibervillea</i>	América
<i>Acalypha</i>	Pantropical	<i>Indigofera</i>	Pantropical
<i>Adelia</i>	Neotropical	<i>Ipomoea</i>	Pantropical
<i>Aeschynomene</i>	Pantropical	<i>Iresine</i>	América
<i>Albizia</i>	Pantropical	<i>Janusia</i>	América
<i>Ambrosia</i>	América	<i>Jatropha</i>	Pantropical
<i>Antigonon</i>	Neotropical	<i>Karwinskia</i>	América
<i>Ayenia</i>	Neotropical	<i>Lasiacis</i>	Neotropical
<i>Beloperone</i>	América	<i>Lysiloma</i>	América
<i>Bemardia</i>	América	<i>Malpighia</i>	Neotropical
<i>Bignonia</i>	Neotropical	<i>Mammillaria</i>	América
<i>Bourreria</i>	Neotropical	<i>Manihot</i>	América
<i>Brickellia</i>	América	<i>Matelea</i>	Neotropical
<i>Bumelia</i>	América	<i>Meibomia</i>	Pantropical
<i>Bursera</i>	Neotropical	<i>Merremia</i>	Pantropical
<i>Caesalpinia</i>	Pantropical	<i>Mimosa</i>	Pantropical
<i>Calliandra</i>	Pantropical	<i>Opuntia</i>	América
<i>Cardiospermum</i>	Pantropical	<i>Pachycereus</i>	México
<i>Carlownrightia</i>	México	<i>Pedilanthus</i>	México
<i>Celosia</i>	Pantropical	<i>Pereskiaopsis</i>	México
<i>Cercidium</i>	América	<i>Phragmites</i>	Cosmopolita
<i>Cissus</i>	Pantropical	<i>Pisonia</i>	Pantropical
<i>Cnidoscolus</i>	Neotropical	<i>Pithecellobium</i>	Neotropical
<i>Colubrina</i>	Pantropical	<i>Plumeria</i>	Neotropical
<i>Cordia</i>	Neotropical	<i>Porophyllum</i>	América
<i>Croton</i>	Pantropical	<i>Randia</i>	Neotropical
<i>Cyrtocarpa</i>	Neotropical	<i>Ruellia</i>	Pantropical
<i>Diospyros</i>	Pantropical	<i>Schaefferia</i>	América
<i>Dudleya</i>	México	<i>Schoepfia</i>	Pantropical

Cont. Cuadro 2.1

GÉNERO	DISTRIBUCIÓN	GÉNERO	DISTRIBUCIÓN
<i>Erythrina</i>	Pantropical	<i>Senna</i>	Pantropical
<i>Esenbeckia</i>	Neotropical	<i>Sida</i>	Pantropical
<i>Euphorbia</i>	Cosmopolita	<i>Solanum</i>	Pantropical
<i>Evolvulus</i>	Neotropical	<i>Stenocereus</i>	Neotropical
<i>Exogonium</i>	Neotropical	<i>Tecoma</i>	América
<i>Ferocactus</i>	México	<i>Toumefortia</i>	Pantropical
<i>Ficus</i>	Pantropical	<i>Turnera</i>	Pantropical
<i>Fouquieria</i>	México	<i>Verbesina</i>	América
<i>Gochnatia</i>	Pantropical	<i>Viguiera</i>	América
<i>Gouania</i>	Pantropical	<i>Yucca</i>	México
<i>Haematoxylon</i>	Pantropical	<i>Zanthoxylum</i>	Pantropical

**Americanos** = se refiere a géneros con distribución en regiones cálidas y templadas de América

**México** = géneros con distribución principalmente dentro de los límites de México y zonas adyacentes.

**Neotropical** = géneros de distribución en las regiones tropicales de América

**Pantropical** = géneros de distribución en regiones tropicales del mundo

CUADRO 2.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y AFINIDAD AMBIENTAL DE LAS ESPECIES DE IMPORTANCIA ESTRUCTURAL DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA EN BAJA CALIFORNIA SUR.

ESPECIE	DISTRIBUCIÓN	CHAMELA, JAL.	CHIAPAS	NIZANDA, OAX.	AFINIDAD * AMBIENTAL
<i>Adelia virgata</i> Brandegees	BC Y SON (DS)				A
<i>Albizia occidentalis</i> Brandegees	México Tropical	1			T
<i>Ambrosia ambrosioides</i> (Cav.) Payne	Sur de EUA y Norte de México				A
<i>Antigonon leptopus</i> Hook. & Arn.	Pantropical	1	1		T
<i>Ayenia glabra</i> S. Watson	México Tropical			1	T
<i>Bignonia unguis-cati</i> L.	Neotropical				T
<i>Bourreria sonorae</i> S. Watson	BC Y SON (DS)				A
<i>Bursera microphylla</i> A. Gray	Sur de EUA y México				A
<i>Bursera odorata</i> Brandegees	Sur de EUA y Norte de México				A
<i>Cardiospermum corindum</i> L.	Pantropical	1	1		T
<i>Carlowrightia californica</i> Brandegees	NO de México				A
<i>Carlowrightia pectinata</i> Brandegees	México				T
<i>Cissus trifoliata</i> (L.) L.	América (principalmente)	1			RTT
<i>Chloroleucon mangense</i> (Jacq.) Britton & Rose	Neotropical	1	1	1	T
<i>Cnidoscolus angustidens</i> Torrey	SW EUA y NO de México				A
<i>Colubrina triflora</i> Brongn.	México y CA	1	1		T
<i>Colubrina viridis</i> M. E. Jones	BC Y SON (DS)				A
<i>Cordia brevispicata</i> Mart. & Gal.	BC, SON Y Revillagigedo				A
<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roemer & Schultes	Pantropical			1	T
<i>Erythrina flabelliformis</i> Kearney	Sur de EUA y Norte de México				A

Cont. Cuadro 2.2

ESPECIE	DISTRIBUCIÓN	CHAMELA, JAL.	CHIAPAS	NIZANDA, OAX.	AFINIDAD * AMBIENTAL
<i>Evolvulus alsinoides</i> L.	América e introducida al Viejo Mundo	1	1		RTT
<i>Exogonium bracteatum</i> (Cav.) Choisy	Mexico Tropical				T
<i>Ficus palmeri</i> S. Watson	BC Y SON (DS)				A
<i>Fouquieria diguetii</i> (Van Tieghem) I. M. Johnst.	NO de México				A
<i>Gouania rosei</i> Wiggins	México y CA	1			T
<i>Haematoxylon brasiletto</i> Karst.	Neotropical	1	1		T
<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth.	Neotropical e introducida al Viejo Mundo	1	1		T
<i>Iresine calea</i> (Ibañez) Standl.	México y CA		1	1	T
<i>Janusia californica</i> Benth.	NO de México				A
<i>Jatropha cinerea</i> (Ortega) Muell. Arg.	NO de México				A
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schultes) Zucc.	Sur de EUA y México			1	A
<i>Lasiacis ruscifolia</i> (Kunth) Hitchc.	Neotropical	1	1		T
<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J. F. Macbr.	México y CA	1	1	1	T
<i>Mammillaria dioica</i> M. Brandegee	DS				A
<i>Manihot chlorosticta</i> Standley & Goldman	México y CA	1			T
<i>Matelea cordifolia</i> (A. Gray) Woodson	Sur de EUA y Norte de México				A
<i>Melochia tomentosa</i> L.	Neotropical			1	T
<i>Merremia aurea</i> (Kell.) O'Donnell	Neotropical				T
<i>Mimosa xantii</i> A. Gray	México y CA				T
<i>Opuntia cholla</i> Weber	BC Y SON (DS)				A
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> (Engelm.) Britton & Rose	México Tropical	1		1	T
<i>Pedilanthus macrocarpus</i> Benth.	NO de México				A
<i>Pereskiaopsis porterii</i> (Weber) Britton & Rose	NO de México				A
<i>Phragmites communis</i> Trin.	Regiones templadas del mundo				RTM
<i>Plumeria rubra</i> var. <i>acutifolia</i> (Poir.) L.H. Bailey	Neotropical e introducida al Viejo Mundo			1	T
<i>Ruellia peninsularis</i> (Rose) I. M. Johnst.	BC Y SON (DS)				A
<i>Schaefferia cuneifolia</i> A. Gray	Sur de EUA y Norte de México				A
<i>Senna atomaria</i> (L.) Irwin & Barneby	Neotropical				T
<i>Senna covesii</i> (A. Gray) Irwin & Barneby	SW EUA y NO de México				A

Cont. Cuadro 2.2

ESPECIE	DISTRIBUCIÓN	CHAMELA, JAL.	CHIAPAS	NIZANDA, OAX.	AFINIDAD * AMBIENTAL
<i>Senna villosa</i> (Miller) Irwin & Barneby	México Tropical				T
<i>Sida xantii</i> A. Gray	NO de México				A
<i>Solanum hindsianum</i> Benth.	BC Y SON (DS)				A
<i>Solanum nigrum</i> L.	Pantropical				T
<i>Stenocereus gummosus</i> (Engelm.) A. C. Gibson & K. E. Horak	BC Y SON (DS)				A
<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelm.) Gibson & Horak var. <i>thurberi</i>	DS				A
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss.	Neotropical		1		T
<i>Tournefortia hartwegiana</i> Steudel	México Tropical	1			T
<i>Turnera diffusa</i> Willd.	Neotropical	1	1	1	T
<i>Yucca valida</i> Brandegee	Sur de EUA y México				A
<i>Zanthoxylum aborescens</i> Rose	México Tropical	1		1	T

- A = afinidad árida, T= afinidad tropical, RTM= regiones templadas del mundo, RTT= regiones templadas y tropicales.

#### CUADRO 2.3 ESPECIES ENDÉMICAS DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA

<i>Acalypha comonduana</i> Millsp.
<i>Aeschynomene vigil</i> Brandegee
<i>Bernardia lagunensis</i> (M. E. Jones) Wheeler
<i>Brickellia peninsularis</i> Brandegee
<i>Bumelia peninsularis</i> Brandegee
<i>Bursera epinnata</i> (Rose) Engler
<i>Bursera hindsiana</i> (Benth.) Engler
<i>Caesalpinia pannosa</i> Brandegee
<i>Calliandra californica</i> Benth.
<i>Calliandra peninsularis</i> Rose
<i>Celosia floribunda</i> A. Gray
<i>Cercidium peninsulare</i> Rose
<i>Croton boregensis</i> M. E. Jones
<i>Cyrtocarpa edulis</i> (Brandegee) Standl.
<i>Diospyros californica</i> (Brandegee) I. M. Johnst.
<i>Esenbeckia flava</i> Brandegee
<i>Euphorbia californica</i> Benth. var. <i>hindsiana</i> (Benth.) Wiggins
<i>Euphorbia xantii</i> Engelm.
<i>Ferocactus peninsulae</i> (Engelm. ex Weber) Britton & Rose var. <i>peninsulae</i>
<i>Gochnalia arborescens</i> Brandegee
<i>Hyptis collina</i> Brandegee
<i>Hyptis laniflora</i> Benth.
<i>Ibervillea sonora</i> (S. Watson) Greene var. <i>peninsularis</i> (I. M. Johnst.) Wiggins
<i>Indigofera fruticosa</i> Rose

Conf. CUADRO 2.3 ESPECIES ENDEMICAS DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA  
ESPECIES

---

*Ipomoea jicama* Brandegee  
*Jatropha vernicosa* Brandegee  
*Justicia purpusii* (Brandegee) D. N. Gibson  
*Lysiloma candidum* Brandegee  
*Malpighia diversifolia* Brandegee  
*Pisonia flavescens* Standl.  
*Pithecellobium confine* Standl.  
*Porophyllum ochroleucum* Rydb.  
*Randia megacarpa* Brandegee  
*Ruellia leucantha* Brandegee subsp. *leucantha*  
*Schoepfia californica* Brandegee  
*Verbesina erosa* Brandegee  
*Viguiera tomentosa* A. Gray

---

En el cuadro 2.4 se resume la proporción de géneros de acuerdo con su afinidad geográfica. De los 82 géneros seleccionados 60% son de afinidad tropical, destacando la alta proporción de géneros pantropicales (40%).

CUADRO 2.4. PROPORCIÓN DE ELEMENTOS FLORÍSTICOS EN LOS GÉNEROS DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE LA SIERRA DE LA LAGUNA.

<b>Distribución</b>	<b>No</b>	<b>%</b>
América	19	23
Cosmopolita	2	2
México	9	11
Neotropical	19	23
Pantropical	33	40
<i>Total</i>	82	100

Con respecto a la distribución geográfica y a la afinidad ambiental de las especies seleccionadas los resultados se muestran en el cuadro 2.5, en donde se aprecia una importante proporción (38%) de especies endémicas de la península.

CUADRO 2.5. AFINIDAD AMBIENTAL Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESPECIES DE IMPORTANCIA ESTRUCTURAL.

Afinidad Ambiental	Regiones Geográficas	No. de especies
Regiones tropicales	Neotropical	11
	México	8
	México y Centroamérica	6
	Pantropical	4
	<i>Subtotal</i>	29
Regiones áridas	Desierto Sonorense <sup>1</sup>	11
	Sur de EUA y México <sup>2</sup>	10
	Noroeste de México	7
	<i>Subtotal</i>	28
Zonas templadas y tropicales	América	2
	<i>Subtotal</i>	2
Regiones templadas	Regiones templadas del mundo	1
	<i>Subtotal</i>	1
Endémicas	Península de Baja California	37
	<i>Subtotal</i>	37
	<b>Total</b>	<b>97</b>

<sup>1</sup> Incluye las categorías: Desierto Sonorense (Sur) y Desierto Sonorense (Sur y Norte)

<sup>2</sup> Incluye las categorías: Sur de EUA y México, Sur de EUA y Norte de México y Suroeste de EUA y Noroeste de México

Después del elemento endémico, la mayor proporción de especies dominantes de la selva baja caducifolia en la región de estudio corresponde a aquellas que se distribuyen principalmente en regiones tropicales, con 30% del total de las especies analizadas. Dentro de este grupo las más numerosas corresponden a especies presentes en las regiones tropicales de América, como:

*Bignonia unguis-cati*  
*Haematoxylon brasiletto*  
*Ipomoea nil*  
*Lasiacis ruscifolius*

*Melochia tomentosa*  
*Merremia aurea*  
*Plumeria rubra var acutifolia*  
*Chloroleucon mangense*

*Senna atomaria*  
*Tecoma stans*  
*Turnera diffusa*

siguiéndole las especies que se presentan en las zonas tropicales de México como:

*Albizia occidentalis*  
*Ayenia glabra*  
*Carlownrightia pectinata*  
*Exogonium bracteatum*

*Pachycereus pecten-aboriginum*  
*Senna villosa*  
*Tournefortia hartwegiana*  
*Zanthoxylum arborescens*

Especies con distribución en las regiones tropicales de México y Centroamérica se encuentran representadas en la zona de estudio por las siguientes especies:

*Colubrina triflora*  
*Gouania rosei*

*Iresine calea*  
*Lysiloma divaricatum*

*Manihot chlorosticta*  
*Mimosa xantii*

Las especies pantropicales contribuyen con tan sólo 4% de las especies dominantes de la selva baja estudiada, estas especies son:

*Antigonon leptopus*  
*Cardiospermum corindum*

*Cordia curassavica*  
*Solanum nigrum*

Las especies de afinidad árida son también muy importantes en la composición y estructura de esta selva, ya que 28% de las especies dominantes son características de las regiones áridas del sur de Estados Unidos y/o del norte de México. De éstas, la mayoría se restringen a la región sur del Desierto Sonorense, es decir, su distribución geográfica se encuentra principalmente en la Península de Baja California y Sonora. Ejemplos de éstas son:

*Adelia virgata*  
*Bourreria sonorae*  
*Colubrina viridis*

*Cordia brevispicata*  
*Ficus palmeri*  
*Opuntia cholla*

*Ruellia peninsularis*  
*Solanum hindsianum*  
*Stenocereus gummosus*

En tanto que sólo dos especies presentan una distribución en el norte y en el sur del Desierto Sonorense:

*Stenocereus thurberi* var. *thurberi*

*Mammillaria dioica*

Otras especies han sido registradas para el sur de los Estados Unidos y el norte de México, incluyendo los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango y Zacatecas; entre ellas se encuentran:

*Ambrosia ambrosioides*

*Bursera odorata*

*Erythrina flabelliformis*

*Matelea cordifolia*

*Schaefferia cuneifolia*

Especies como *Cnidoscolus angustidens* y *Senna covesii* han sido registradas solamente para el sur de Estados Unidos y el noroeste de México. *Bursera microphylla*, *Yucca valida* y *Karwinskia humboldtiana* han sido reportadas también en entidades más sureñas de México.

Finalmente dentro del grupo de especies de afinidad árida se encuentran aquellas con registros solamente para el noroeste de México, principalmente en la Península de Baja California, Sonora y Sinaloa. Éstas son:

*Carlownrightia californica*

*Jatropha cinerea*

*Fouquieria diguetii*

*Janusia californica*

*Sida xantii*

*Pedilanthus macrocarpus*

*Pereskiaopsis porteri*

Entre las especies dominantes se encuentran también plantas cuya distribución se localiza en regiones templadas y tropicales de América, como *Cissus trifoliata* y *Evolvulus alsinoides*.

Con el objeto de conocer las áreas de distribución de las especies en la península, cada especie - endémica y no endémica - se asignó a una región peninsular (Anexo 2.1). En la figura 2.1 se muestra el número de especies no endémicas en cada región y sus afinidades. Once especies se distribuyen a todo lo largo de la Península, la mayoría de las cuales son de afinidad árida. Quince

especies presentan una distribución continua desde la parte central de la Península hasta el extremo sur, la mayoría de ellas también de afinidad árida. Catorce especies se distribuyen principalmente en la parte sur y veinte especies se restringen a la Región del Cabo, todas de afinidad tropical.

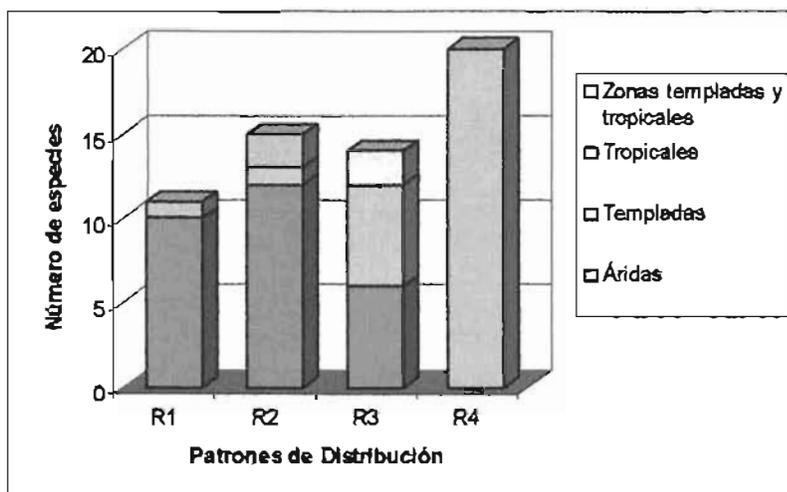


FIGURA 2.1. NÚMERO DE ESPECIES NO ENDÉMICAS Y AFINIDAD POR REGIÓN PENINSULAR

Con respecto a las especies endémicas, se encontró que 38% de las especies de importancia estructural de esta comunidad son endémicas de la península. Este nivel de endemismo es mayor al 23.2% reportado por Wiggins (1980) para todo el Desierto Sonorense. La mayoría de las especies endémicas presentan una distribución geográfica restringida a la Región del Cabo (Figura 2.2). Probablemente las condiciones de extremo aislamiento de esta comunidad con respecto a otros sistemas tropicales determinen la presencia de este alto porcentaje de endemismo en comparación con el Desierto Sonorense.

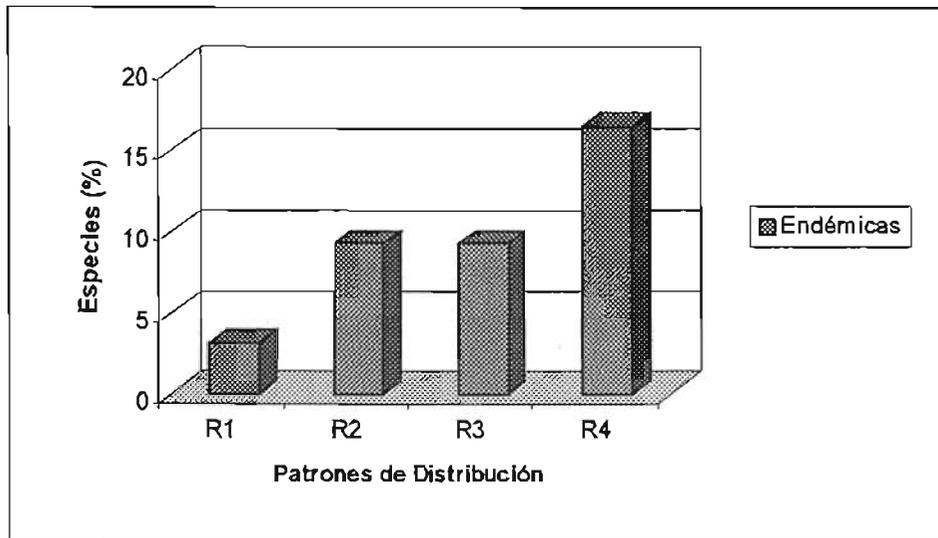


FIGURA 2.2 PROPORCIÓN DE ESPECIES ENDÉMICAS Y NO ENDÉMICAS POR REGIÓN PENINSULAR.

Los resultados sobre los patrones de distribución de las especies en la Península indican que 60% de las especies de importancia estructural de la selva baja caducifolia en la Sierra de la Laguna se distribuyen principalmente en el sur de la Península, y que la mayoría de éstas son casi exclusivas de la Región del Cabo, en donde predominan condiciones climáticas tropicales. Sin embargo, la influencia de especies características del Desierto Sonorense es muy importante ya que 40% de las especies forman parte de las comunidades de este desierto.

Respecto de la selección de especies representativas de ambientes áridos y tropicales con base en los resultados de la afinidad de las especies, su distribución en las regiones peninsulares, y la información bibliográfica revisada, se obtuvo el siguiente listado:

Especies con distribución geográfica en la Región del Cabo: Este grupo incluye especies presentes en otras regiones tropicales de México y especies que son endémicas de Baja California (\*)

*Senna atomaria*  
*Lysiloma divaricatum*  
*Zanthoxylum arborescens*  
*Pachycereus pecten-aboriginum*

*Albizia occidentalis*  
*Gouania rosei*  
*Jatropha vermicosa* (\*)  
*Cyrtocarpa edulis* (\*)

Especies con distribución geográfica a todo lo largo de la península o desde la región central y características de las comunidades del Desierto Sonorense.

*Yucca valida*  
*Bursera microphylla*  
*Fouquieria diguetii*  
*Opuntia cholla*  
*Pithecellobium confine* (\*)

*Lysiloma candida* (\*)  
*Stenocereus thurberi*  
*Jatropha cinerea*  
*Stenocereus gummosus*  
*Solanum hindsianum*

Los sitios en donde se han colectado estas especies en la Península y en otras regiones de México, de acuerdo con la información proporcionada por el SNIB-CONABIO, se muestran en las figuras 2.3 y 2.4.

## 2.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la flora genérica dominante de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna es de afinidad tropical, ya que ésta concentra 63% de los géneros analizados. Particularmente relevante es el alto número de géneros pantropicales (40%), lo que concuerda con lo planteado por Breceda *et al.* (1994) para 303 géneros de esta selva seca. Sin embargo, en el ámbito de las especies, el elemento endémico es el que concentra el mayor número de especies (38%), el tropical (30%), y el árido (29%); es también notable que en el caso de las especies de afinidad tropical, sólo 4% presenta una distribución pantropical y 11% neotropical. Retomando las áreas geográficas propuesta por Rzedowski (1991) para la regionalización natural de México y áreas adyacentes, resulta que 43% de las especies seleccionadas son endémicas de México y regiones fronterizas del norte y sur (Megaméxico III), sin considerar las especies endémicas de la península. Estos resultados muestran la relevancia del endemismo en esta comunidad. Si bien es cierto que una de las características de la flora de las selvas bajas caducifolias de México es el gran número de especies con distribución restringida a estas regiones de México y zonas adyacentes (Trejo, 1998), en el caso de la Sierra de la Laguna es particularmente relevante ya que al considerar el 38% de especies endémicas de

la península resulta que más de 80% de la flora de importancia estructural de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna se distribuye en los límites de México y regiones adyacentes, porcentaje mayor al 70% calculado para otras selvas bajas caducifolias de México (Trejo, 1998).

En cuanto a la distribución geográfica de las especies dominantes de esta selva es relevante la proporción (29%) de especies restringidas a las regiones áridas y semiáridas del suroeste de Estado Unidos y/o el norte de México. Estos resultados sugieren que existe un importante y poderoso proceso de especiación en esa región del territorio y confirman las ideas planteadas por Rzedowski (1991:3) sobre la diversidad y origen de la flora fanerogámica de México, respecto de que *"en las zonas áridas y semiáridas del norte de México las plantas han sufrido una evolución profunda, dando origen a una flora moderadamente rica de sello propio...."*. Asimismo, el hecho de que la flora genérica analizada sea principalmente pantropical, en tanto que en el ámbito de las especies su distribución se concentra en México y regiones adyacentes, sugiere que hay una gran influencia de linajes godwanianos para esta zona y un proceso intenso de especiación regional, particularmente de la flora de ambientes áridos.

Con respecto a los endemismos se observó también un gran número de especies endémicas restringidas a la Región del Cabo. Resultados similares han sido expuestos en los trabajos de Riemann (2001), León de la Luz y Breceda (2002) y Garcillán *et al.* (2003). Este alto grado de endemismo en la Región del Cabo se explica por la compleja historia geológica regional y por el profundo aislamiento geográfico y ecológico de la Región el Cabo.

Los resultados del presente análisis muestran que tanto las especies de afinidad tropical como las de afinidad árida constituyen elementos fundamentales de esta comunidad. Esta comunidad representa no sólo el límite de la distribución noroccidental de este tipo de vegetación en América, sino también una de las más secas de su tipo (ver capítulo 3). Asimismo, los resultados de este trabajo muestran la importancia de la Región del Cabo como una zona de concentración de especies de afinidad tropical confinadas en este espacio geográfico, con una enorme influencia sobre el elenco florístico del Desierto Sonorense, y a su vez

existe una gran influencia de la flora del Desierto Sonorense sobre la Región del Cabo, como producto no sólo de factores ecológicos sino también históricos, como se discute a continuación.

Los modelos de desarrollo de la vegetación del Desierto Sonorense (Axelreod, 1979; Murphy, 1983; Tallis, 1991) y del trópico seco para Centroamérica (Graham y Dilcher, 1995), muestran un patrón dinámico y cambiante en el tiempo y el espacio. Estos estudios proponen que las especies se originaron en microambientes con características edáficas y topográficas proclives a una mayor sequía que el entorno dominante, en un caso una vegetación dominada por bosques esclerófilos y chaparrales y en el otro por una vegetación del trópico húmedo. Para el caso concreto de la Región del Cabo, su origen se relaciona con la costa occidental de México desde el Cretácico-Medio, desprendiéndose de los márgenes de lo que actualmente es Jalisco y Nayarit durante el Mioceno-Medio (Mina, 1956; Durham y Allison, 1960; Murphy, 1983), periodo en el cual la vegetación tropical se encontraba en las zonas bajas de la franja costera occidental, desde Sonora hacia el sur (Van Devender, 1999). Los eventos de conexión prolongada entre la Región del Cabo y el resto de la península se presentan desde el Pleistoceno, periodo durante el cual los cambios climáticos han sido una constante, alternando periodos húmedos y otros áridos, lo que permite suponer que la vegetación tropical del Cabo se expandió hacia latitudes más norteñas y el desierto hacia el sur, respectivamente. Estos procesos continuos de expansión y contracción han enriquecido la flora de la Región del Cabo, en la que coexisten especies tropicales, áridas y endémicas.

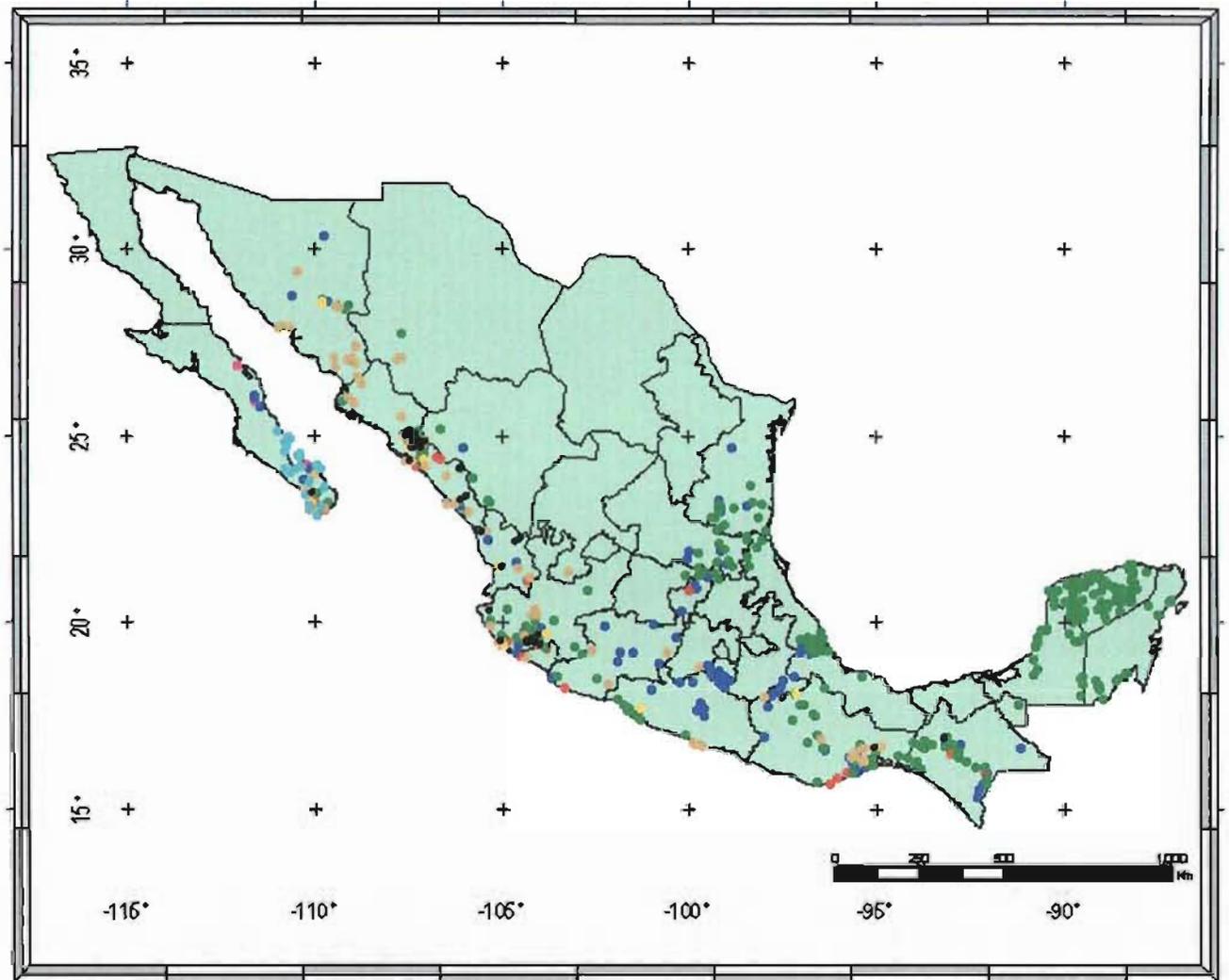
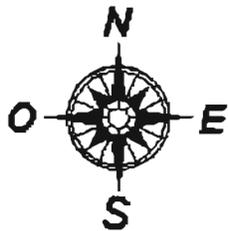
Con respecto a los resultados sobre la distribución de las especies representativas de especies de afinidad árida y tropical en México, se observó que las especies áridas (Figura 2.4) se restringen principalmente al área del desierto Sonorense, con excepción de *Stenocereus thurberi*, la cual es también muy abundante en las partes bajas de Sinaloa, en el área que ocupa el bosque espinoso, que se caracteriza por desarrollarse en áreas de clima más seco que la selva baja caducifolia y más húmedo que los matorrales xerófilos (Rzedowski, 1983). *Bursera microphylla* también es una especie cuyo patrón de distribución

corresponde principalmente al Desierto Sonorense y Región del Cabo, con escasos registros para las selvas bajas de Oaxaca, Puebla e Hidalgo. En el caso de *Jatropha cinerea* 85% de los registros corresponden al Desierto Sonorense, la Región del Cabo y Sinaloa, y tres ejemplares más fueron registrados para las selvas bajas de Jalisco y Oaxaca; si bien esta especie está presente en otras selvas bajas caducifolias del macizo continental, su gran abundancia en las comunidades del Desierto Sonorense nos permite mantenerla como una especie del gremio árido.

Las especies clasificadas como tropicales (Figura 2.5) muestran un claro patrón de distribución en las áreas del trópico seco del país; sin embargo, destacan los registros de tres especies. Estas son *Cyrtocarpa edulis*, *Lysiloma divaricatum* y *Jatropha vernicosa*. La primera especie, *Cyrtocarpa edulis*, endémica de la península presenta una distribución que se restringe al área que Shreve y Wiggins (1964) y Wiggins (1980) consideran como la vegetación árida-tropical del Cabo; resalta también que, de las especies seleccionadas, es la única que muestra una distribución continua para esa región fitogeográfica. En contraste, *Lysiloma divaricatum*, especie característica de las selvas bajas caducifolias de México, y *Jatropha vernicosa*, endémica de la península, presentan cuatro registros para la Sierra de la Giganta en el municipio de Comondú, que corresponde al límite norte de la región que Shreve y Wiggins (1964) y Wiggins (1980) consideran como Región del Cabo e incluso para *J. vernicosa* se reporta un ejemplar para Mulegé. Estos registros, así como la presencia de una población de *L. divaricatum* en la Sierra de la Giganta (Jon Rebman com per.) y la presencia de quince leguminosas que comparten la Sierra de la Giganta y la Sierra de la Laguna (Carter, 1979), sugieren que la vegetación tropical tenía una distribución geográfica más norteña y que dada la tendencia a la aridez del último periodo, ésta se ha restringido hacia el sur, quedando conjuntos de especies tropicales adaptadas a la aridez como relictos de una vegetación más amplia. Los registros fósiles del Holoceno tardío para la región peninsular sustentan la idea de que hubo paleoambientes menos áridos que el actual (Sankey *et al.*, 2001). Asimismo, la hipótesis sobre la expansión de la flora tropical hacia el norte se sustenta también

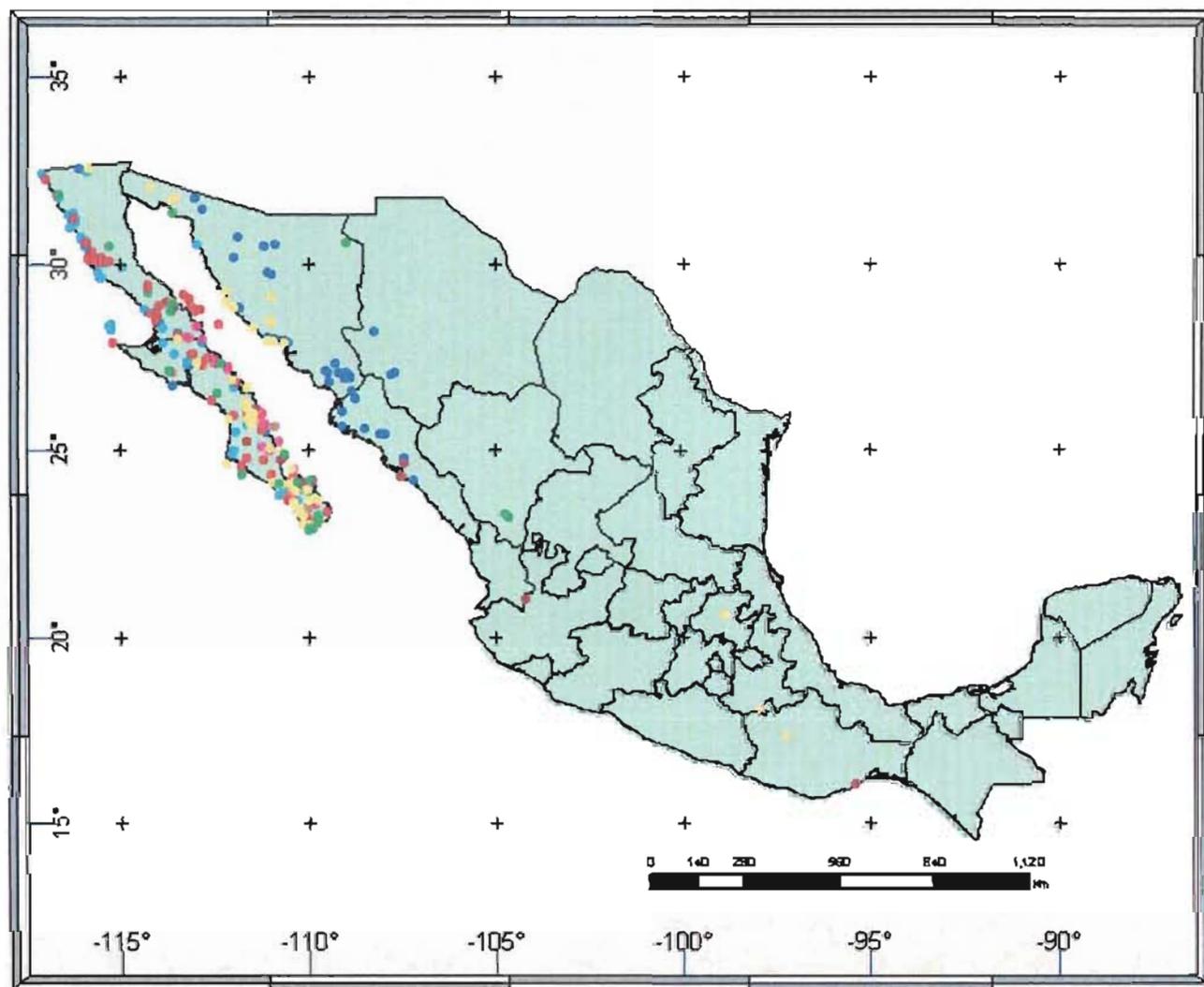
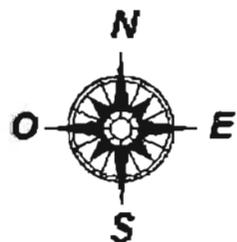
por las observaciones de Cody y colaboradores (2002), quienes observan una distribución disyunta de algunas especies propias de la Región del Cabo y de regiones tropicales presentes también en algunas islas del Golfo de California, localizadas al norte de La Paz, lo que sugiere que estas especies pudieron haber tenido una amplia distribución en el norte de la Región del Cabo y, dado los cambios climáticos, se extinguieron de latitudes más norteñas en la península por la presencia de competidores invasivos, mientras que en las islas permanecen como poblaciones relictuales en donde los competidores invasivos no tuvieron acceso (Cody *et al.*, 2002). La hipótesis sobre la expansión y contracción de la vegetación tropical de la Región del Cabo y su influencia en la flora de latitudes más norteñas contrasta con la propuesta de Garcillán *et al.* (2003) y Garcillán y Ezcurra (2003), quienes consideran a la Región del Cabo sólo como un refugio de especies áridas durante los periodos fríos y no como una posible fuente de especies tropicales para latitudes más norteñas, y señalan a la costa central del Golfo como un corredor actual de leguminosas arbóreas de afinidad tropical. Sin embargo, la discontinuidad de la distribución de algunas leguminosas, así como de *Coulterella capitata* y *Haplopappus arenaria* (Compositae) en la Región del Cabo y en algunas Islas del Golfo como Monserrat, Coronado y Carmen (Cody *et al.*, 2002), apoyan la hipótesis de una distribución más amplia de la vegetación tropical que la actual, en donde la Región del Cabo constituye un importante refugio de vegetación tropical y árida durante los diferentes escenarios paleoambientales. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten concluir que la composición florística de las especies dominantes de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, se caracteriza por la confluencia de elementos áridos, tropicales y endémicos como resultado no sólo de factores ecológicos, sino también como resultado de la larga y compleja historia geológica regional, caracterizada por un profundo aislamiento geográfico y un permanente cambio climático. Y dada la tendencia a una acentuación de la aridez, esta zona representa un refugio de especies tropicales en el ámbito peninsular.

- *Albizia occidentalis*
- *Cyrtocarpa edulis*
- *Gouania rosei*
- *Jatropha vernicosa*
- *Lysiloma divaricatum*
- *Pachycereus pecten-aboriginum*
- *Senna atomaria*
- *Zanthoxylum arborescens*



**FIGURA 2.3 SITIOS DE COLECTA DE ESPECIES DE ZONAS TROPICALES.  
(FUENTE: SNIB-CONABIO)**

- *Solanum hindsianum*
- *Bursera microphylla*
- *Jatropha cinerea*
- *Lysiloma candida*
- *Fouquieria diguetii*
- *Opuntia cholla*
- *Pithecellobium confine*
- *Stenocereus gummosus*
- *Stenocereus thurberi*
- *Yucca valida*



**FIGURA 2.4 SITIOS DE COLECCIÓN DE ESPECIES DE ZONAS ÁRIDAS.  
(FUENTE: SNIB-CONABIO)**

### III. FACTORES CLIMÁTICOS: CÁLCULO DE UN ÍNDICE DE ARIDEZ PARA EL SUR DE LA REGIÓN DEL CABO

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El clima es el principal factor exógeno que determina la distribución de los ecosistemas. Las variaciones climáticas derivadas de elementos espaciales como la latitud, la altitud, la continentalidad y la fisiografía, así como variaciones temporales diarias, estacionales o de largo plazo, influyen en la composición y estructura de las comunidades naturales a diferentes escalas espacio-temporales, desde regionales hasta locales, y a corto y mediano plazo dependiendo de la capacidad de respuesta de las especies ante los cambios climáticos (Davis, 1986).

Las comunidades vegetales que se agrupan como selva baja caducifolia ocupan cerca de 42% del total de los bosques tropicales del mundo (Murphy y Lugo, 1986), distribuyéndose ampliamente en América, Asia, África y Australia bajo condiciones climáticas muy variadas. En México, el área de distribución de este tipo de vegetación varía según autores (Trejo, 1998); sin embargo varios investigadores estiman, para las décadas de los años ochenta y noventa, una superficie poco mayor a 8% del territorio nacional (Castillo *et al.*, 1989; Jaramillo-Villalobos, 1994; Masera *et al.*, 1992; Trejo, 1998). La selva baja caducifolia se distribuye de manera casi continua en la vertiente occidental, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, y en la vertiente oriental se le encuentra de manera discontinua desde Tamaulipas hasta Yucatán (Rzedowski, 1983; Trejo, 1998). Esta amplia distribución de la selva baja caducifolia en México corresponde con una gran diversidad de tipos climáticos, 68% de las selvas bajas del país se distribuyen en áreas con climas cálidos o semicálidos y en condiciones subhúmedas, 29% en zonas más secas y sólo 3% en áreas templadas (Trejo, 1999). El monto de la precipitación total anual y la temperatura media anual para las regiones en donde se establece este tipo de vegetación varía entre 300 a 1800 mm (más frecuentemente entre 700 y 1200 mm), con temperaturas que van de 18° a 28°C y entre cinco a ocho meses secos consecutivos (Rzedowski, 1983; Trejo, 1998, 1999). Además de las variaciones climáticas a la escala del país, dentro de cada una de las regiones en donde se establece este tipo de vegetación

se presentan también diversas condiciones microclimáticas y microambientales que permiten el desarrollo de esta vegetación bajo condiciones extremas de temperatura y precipitación.

En la península de Baja California, la selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio se distribuye únicamente en el extremo sur, en la región conocida como Región del Cabo. El área de distribución más importante de este tipo de vegetación lo constituyen las laderas de la Sierra de la Laguna, abarcando un gradiente altitudinal entre 300 y 1000 m, y constituye el límite de la distribución noroccidental de este tipo de vegetación en América. De acuerdo con la información de CONABIO (1998a) los climas en los que se desarrolla la selva baja caducifolia en esta región son del tipo BS y BW, es decir áridos y muy áridos, con temperaturas medias anuales de cálido ( $> 22^{\circ}\text{C}$ ) a semicálido ( $18$  a  $22^{\circ}\text{C}$ ).

A pesar de esta gran gama de condiciones climáticas en las que se establece la selva baja caducifolia en México y el mundo, las características que unifican y determinan el establecimiento de este tipo de vegetación son la marcada estacionalidad y la presencia de al menos un periodo de sequía que puede variar desde dos hasta nueve meses, periodo durante el cual la relación evaporación/precipitación es mayor a la unidad (Murphy y Lugo, 1986; Mooney *et al.*, 1995). Para este tipo de comunidades tanto la frecuencia como la duración del periodo de secas y la relación entre precipitación y temperatura o precipitación y evapotranspiración son muy importantes ya que son determinantes en los procesos biológicos.

Una de las herramientas de mayor utilidad para identificar aridez o periodos de secas como una característica climática son los índices de aridez, el uso de estos índices ha permitido desarrollar diferentes clasificaciones climáticas y de biomas, y son una herramienta para evaluar y comparar entre diversas regiones. La aridez está asociada no solamente a la escasez de precipitación sino a la relación entre precipitación y temperatura o precipitación y evapotranspiración, es decir la aridez se presenta cuando existe una mayor pérdida de agua que la disposición de ésta. Existen diferentes índices para calcular la aridez, desde los más sencillos como el De Martonne quien utiliza la relación entre precipitación media anual y temperatura

media anual o el Köppen en donde se considera la estacionalidad, hasta más complejos como el de Thornthwaite que relaciona la precipitación con evapotranspiración (<http://www.todohistoria.com/terminosgeograficos/letraa2.htm>; Stadler, 1987). Muchos otros índices de aridez se han desarrollado para diferentes regiones o temas a investigar; sin embargo estos índices son muy útiles para comparar entre regiones o localidades. Para el caso de las selvas bajas caducifolias del país, Trejo (1999) calculó la relación entre precipitación y temperatura para once regiones, obteniendo un intervalo desde 19.1 para Baja California Sur hasta 46.1 en las zonas menos áridas de la región central del Golfo de México.

Para la Sierra de la Laguna Díaz *et al.* (1994) obtuvieron una serie anual de aridez climatológica para nueve estaciones de las partes bajas y medias de esta serranía en un periodo que abarca de 1942 a 1990, y se concluye que durante ese periodo se observa una tendencia general a la disminución de la aridez; sin embargo cada 24 años se presenta una acentuación de la aridez que coincide aproximadamente con el doble ciclo de las manchas solares. Si bien ese trabajo aporta valiosos elementos sobre las variaciones de los índices de aridez a escala regional, aún se desconocen las diferencias de aridez a lo largo del gradiente altitudinal y las diferencias locales, es por ello que en el presente capítulo se analiza el comportamiento de variables climáticas para las estaciones que se localizan al sur de la Región del Cabo. Se calculan los índices de aridez para varias localidades y se generaron isóneas de aridez para el sur de la Región del Cabo, particularmente para la Sierra de la Laguna y la Sierra Trinidad. Información que permitirá analizar las condiciones de aridez de la selva baja caducifolia de esta zona, así como identificar diferencias entre las vertientes de la Sierra de la Laguna, y comparar datos climáticos con otras comunidades similares. Asimismo se analizan las diferencias de los índices de aridez en el área de la Reserva de la Biosfera Sierra de la Laguna, lo que permitirá posteriormente relacionar las características de la selva baja caducifolia de esta reserva con los diferentes valores del índice de aridez.

### 3.2. METODOLOGÍA

Con el objeto de analizar el comportamiento de variables climáticas en el sur de la Región del Cabo, particularmente en la Sierra de la Laguna y sus alrededores, se obtuvieron los datos de temperatura y precipitación diaria para 28 estaciones meteorológicas localizadas en el área de estudio, se eliminaron cuatro estaciones que contenían datos para cinco años o menos; sin embargo se mantuvieron algunas estaciones con registro entre seis y nueve años, dada la falta de registros para las zonas de altitud intermedia, donde se distribuye la selva baja caducifolia. El periodo de toma de datos varía según la estación; la más antigua contiene información de 58 años y la más reciente de 6. Esta información se encuentra contenida en la base de datos de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Para cada estación se obtuvo la vertiente, la altitud y el tipo de vegetación en el que se encuentran, para ello se contó con la información expuesta en las bases de datos de la CNA, información que se corroboró y en su caso se corrigió, de acuerdo con la información de la cartas topográficas y de uso del suelo de INEGI (2001).

Para cada estación se calculó la precipitación total mensual promedio para la serie de datos de cada estación y la temperatura promedio mensual, lo que permitió construir los climogramas de cada estación y observar las diferencias entre las estaciones ubicadas en la vertiente del Golfo de California y la del Océano Pacífico. Asimismo, se calculó el Índice de Aridez de Martonne (1926; tomado de Salinas-Zavala *et al.*, 1998) para cada estación, utilizando la serie de datos más completa para la mayoría de las estaciones, es por ello que para calcular el índice de aridez se obtuvo la precipitación total anual promedio y la temperatura promedio para cada estación en el periodo 1960 -1997. Se eligió este índice porque relaciona de una manera sencilla precipitación y temperatura, datos con los que se cuentan, así como por ser el índice utilizado en otros trabajos climáticos de la región. El índice de aridez De Martonne (IA) se define como:

$$IA = P / (T + 10)$$

Donde: IA = índice de aridez, P = precipitación anual (en mm), T = Temperatura media anual (°C). La escala de clasificación que utiliza el índice de Martonne es la siguiente:  $IA \leq 5$  árido;  $5 < IA \leq 10$  semiárido;  $10 < IA \leq 20$  estepa seca;  $20 < IA \leq 30$  pradera;  $IA > 30$  bosque.

Posteriormente se construyeron las isolíneas de aridez para la zona de estudio, para lo cual se utilizó el programa Surfer 6.0 (Golden Software Inc., 1995) con base en el algoritmo de Kriging y con una resolución de aproximadamente 2 km, Posteriormente esta información se exportó a un programa SIG vectorial con el fin de sobreponer capas de información digital. Con base en la cobertura de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI (2001) se obtuvo el área de distribución de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna y Sierra la Trinidad usando el programa vectorial MapInfo 5.0.1 (MapInfo Corporation, 1998). Las coberturas vectoriales de vegetación e índices de aridez fueron rasterizadas en el programa raster IDRISI 14.0 Kilimanjaro (Clark Labs., 2003) y se obtuvo el área de la selva baja caducifolia de esta zona con relación a los índices de aridez. Para la zona de la Reserva de la Biosfera Sierra de la Laguna se obtuvieron las diferencias en área para la vertiente del Pacífico y del Golfo de California, para ello se digitalizaron las curvas de nivel cada 100m, en caso de terrenos muy abruptos se digitalizaron las curvas cada 40 m, con ello se definió el parteaguas del área de la reserva y se sobrepuso con la información de los índices de aridez. Finalmente se obtuvo el Índice de Aridez para cada año de toda la serie de datos.

### **3.3. RESULTADOS.**

En la figura 3.1 y cuadro 3.1 se muestran la ubicación geográfica de las estaciones analizadas, así como la información contenida en cada estación.

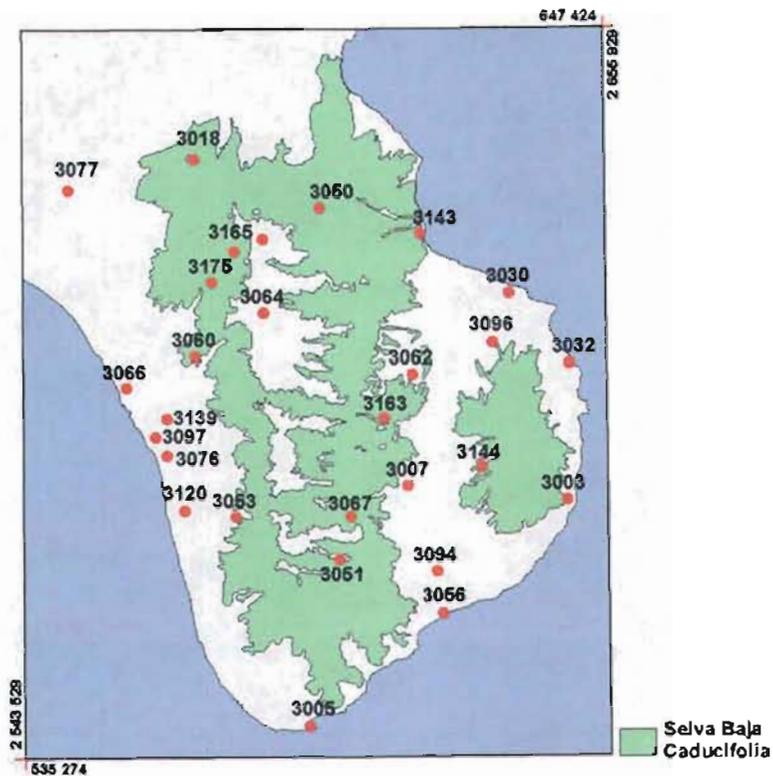


FIGURA. 3.1. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

CUADRO 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

CLAVE	NOMBRE	VERT.	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA		PRECIPITACIÓN	
				AÑO INICIO	No. AÑOS	AÑO INICIO	No. AÑOS
3003	Boca del Salado	G	10	1961	36	1961	36
3032	Las Barracas	G	12	1970	28	1970	28
3030	La Ribera, Santiago	G	15	1946	52	1946	52
3143	Las Palmas	G	15	1978	20	1978	20
3056	San José del Cabo	G	35	1940	58	1940	58
3163	Agua Caliente	G	60	1982	14	1982	14
3096	Las Cuevas	G	105	1973	25	1973	25
3094	Santa Anita	G	120	1973	25	1973	25
3062	Santiago	G	125	1940	58	1940	58
3007	Caduaño, Santiago	G	195	1950	47	1942	55
3144	Mangle	G	400	1978	20	1978	20
3050	San Bartolo	G	450	1941	57	1941	57
3018	El Triunfo, La Paz	G	500	1961	37	1961	37
3067	Yereca	G	600	1961	37	1961	37
3051	San Felipe	G	650	1940	58	1940	58

Cont. Cuadro 3.1

CLAVE	NOMBRE	VERT.	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA		PRECIPITACIÓN	
				AÑO INICIO	No. AÑOS	AÑO INICIO	No. AÑOS
3076	Todos Santos (SMN)	P	18	1973	17	1961	28
3005	Cabo San Lucas	P	25	1941	54	1941	55
3097	El Pescadero	P	120	1974	24	1974	24
3120	Col. P. E. Calles	P	140	1979	17	1979	17
3077	El Carrizal	P	160	1961	37	1961	37
3139	Campo Exp. Forestal	P	160	1978	6	1978	6
3053	San Jacinto	P	280	1953	45	1953	45
3060	Santa Gertrudis	P	450	1940	58	1940	58
3175	El Crucero	P	500	1991	6	1991	6
3165	Junta los Arroyos	P	650	1982	9	1982	9
3064	Sierra de la Laguna		1906	1961	20	1961	20

En la figura 3.2 a, b se muestran los climogramas para las estaciones de la vertiente del Pacífico y del Golfo, respectivamente. En todos ellos se observa para todas las estaciones un periodo de lluvias durante los meses de julio a octubre, principalmente en agosto y septiembre, como resultado de los ciclones y tormentas tropicales. Durante los meses de noviembre a enero se presentan escasas precipitaciones con un marcado descenso de la temperatura. De febrero a junio no se registran precipitaciones para ninguna de las estaciones. El promedio de precipitación y temperatura para las estaciones que se ubican en la vertiente del Golfo de California es de 320 mm y 22° C, en tanto que para las estaciones de la vertiente del Pacífico es de 220 mm y una temperatura media de 21°C. En el caso de la vertiente del Golfo, nueve estaciones (3007, 3018, 3050, 3051, 3062, 3067, 3094, 3144 y 3163) presentan de uno a dos meses con precipitaciones de más de 100 mm. Estas estaciones se localizan en altitudes que varían de 60 a 650 m., la mayoría de estas estaciones se encuentran dentro del área de distribución de la selva baja caducifolia, con excepción de tres estaciones (3007, 3062 y 3094) que se encuentran en sitios en donde se desarrolla el matorral xerófilo y en el extremo sur de la Sierra de la Laguna. En la vertiente del Pacífico, sólo las estaciones de Santa Gertrudis (3060), Junta los Arroyos (3165) y El Crucero (3175) presentan por lo menos un mes con una precipitación > 100 mm y corresponde a la zona de la media montaña, con una altitud que varía entre 450 m y 650 m. todas ellas

dentro del área de distribución de la selva baja caducifolia en la vertiente del Pacífico.

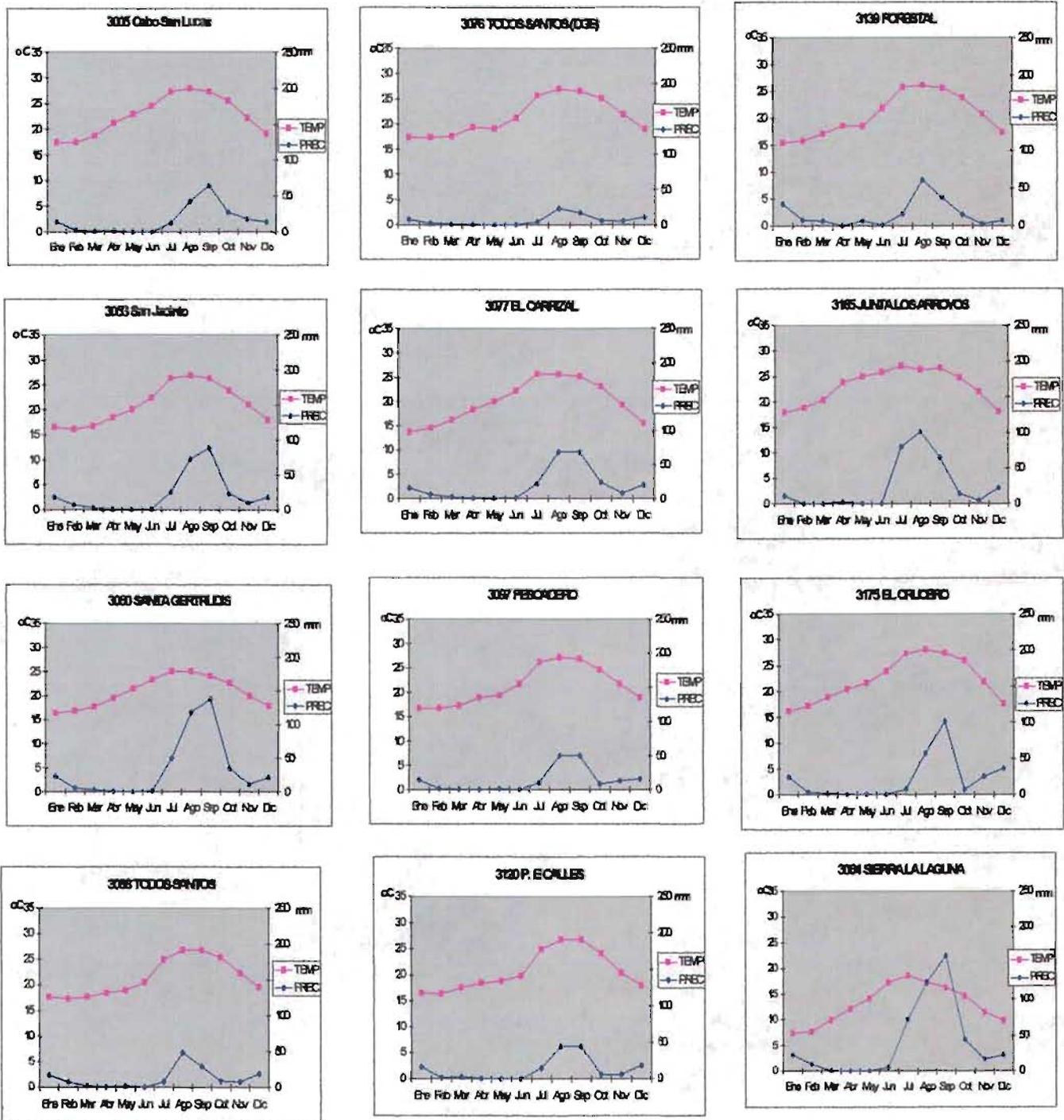


FIGURA 3.2.a. CLIMOGRAMAS DE LAS ESTACIONES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO

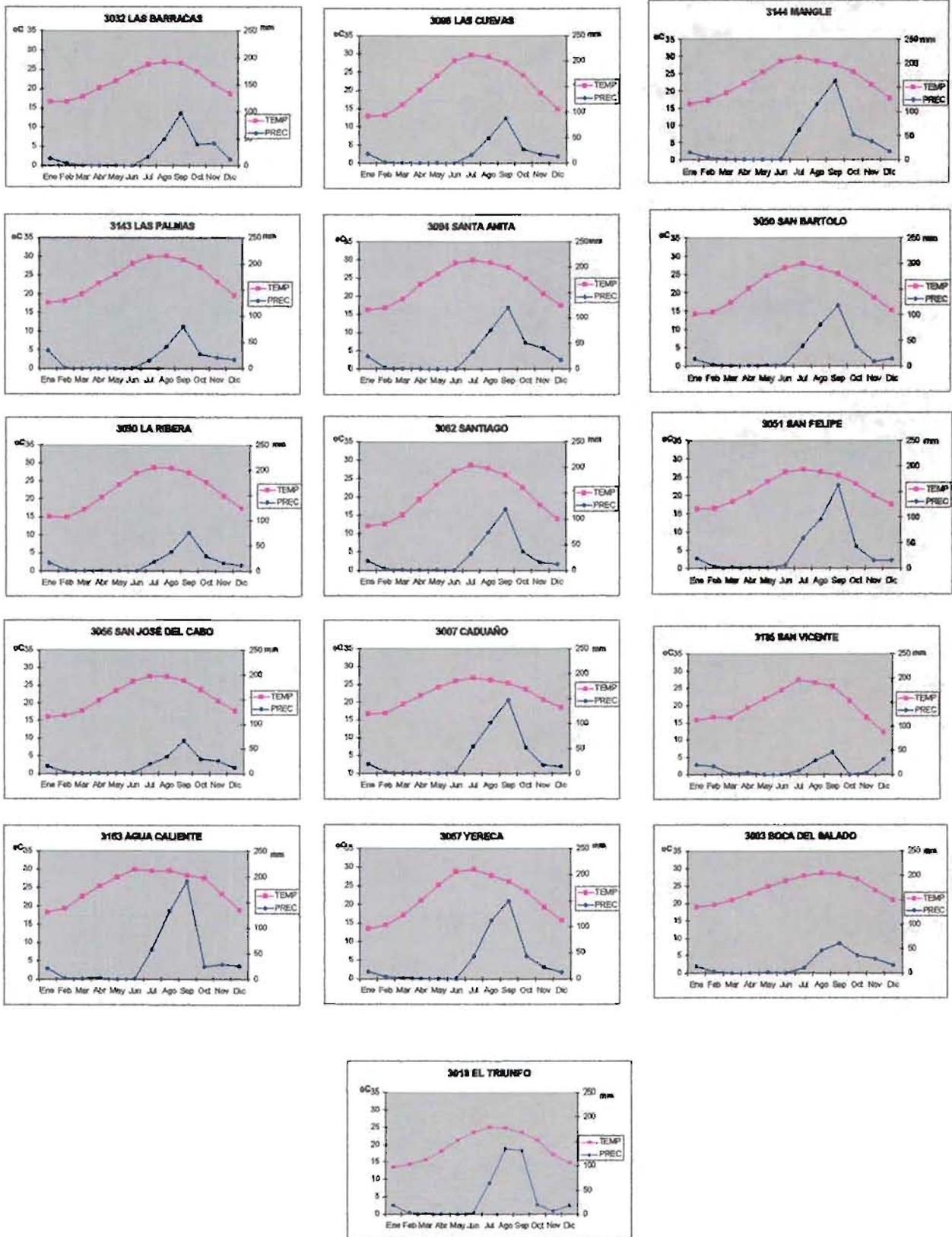


FIGURA. 3.2 b. CLIMOGRAMAS DE LAS ESTACIONES DE LA VERTIENTE DEL GOLFO

En el cuadro 3.2 se muestran los resultados de precipitación total anual, temperatura media e Índice de Aridez De Martonne (IA) para cada estación analizada durante el periodo 1960-1997.

CUADRO 3.2. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL, TEMPERATURA MEDIA ANUAL E ÍNDICE DE ARIDEZ PARA LAS ESTACIONES DEL SUR DE LA REGIÓN DEL CABO.

CLAVE	NOMBRE	VERT.	ALT. (msnm)	TIPO VEG.	DÉCADAS 60-97				
					P (mm)	T °C	IA Pt+10	DSTA ±	No. AÑOS
3185	San Vicente de la Sierra	G	1000	BE	165.2	19.6	5.9	5.9	7
3003	Boca del Salado	G	10	M	220.2	24.2	6.4	3.9	36
3032	Las Barracas	G	12	M	278.1	22.0	8.8	5.6	28
3030	La Ribera, Santiago	G	15	M	212.0	22.4	6.6	3.8	37
3143	Las Palmas	G	15	M	239.8	24.5	7.0	3.1	20
3056	San José del Cabo	G	35	M	209.4	21.7	6.6	5.8	37
3096	Las Cuevas	G	105	M	233.7	21.4	7.4	3.6	25
3094	Santa Anita	G	120	M	372.0	23.6	11.1	5.6	25
3062	Santiago	G	125	M	329.8	20.0	11.0	4.4	37
3007	Caduaño, Santiago	G	195	M	455.9	22.5	14.1	6.8	36
3163	Agua Caliente	G	60	S	488.4	25.4	13.9	5.4	14
3144	Mangle	G	400	S	471.3	23.5	14.1	6.7	20
3050	San Bartolo	G	450	S	312.6	21.2	10.1	5.4	37
3018	El Triunfo, La Paz	G	500	S	363.4	19.4	12.5	7.1	37
3067	Yereca	G	600	S	404.1	22.0	12.7	5.6	37
3051	San Felipe	G	650	S	401.7	21.8	12.5	7.3	37
3066	Todos Santos (DGE)	P	15	M	149.6	21.4	4.8	3.2	36
3076	Todos Santos (SMN)	P	18	M	78.6	21.4	3.9	2.9	28
3005	Cabo San Lucas	P	25	M	198.3	21.8	6.2	4.0	37
3097	El Pescadero	P	120	M	168.4	21.6	5.3	3.3	24
3120	Col. P. E. Calles	P	140	M	156.4	20.9	5.0	3.3	17
3077	El Carrizal	P	160	M	237.7	20.0	7.9	3.7	37
3139	Campo Exp. Forestal	P	160	M	187.9	20.4	6.2	3.9	6
3053	San Jacinto	P	280	M	262.4	21.2	8.4	3.9	37
3060	Santa Gertrudis	P	450	S	392.5	21.1	12.7	7.1	37
3175	El Crucero	P	500	S	264.0	22.7	8.2	5.3	6
3165	Junta los Arroyos	P	650	S	299.9	22.7	9.1	5.9	9
3064	Sierra de la Laguna		1906	BPE	476.6	12.8	20.6	11.8	20

Tipo de Vegetación: BE = Bosque de encino, M = Matorral xerófilo, S = Selva baja caducifolia, BPE = Bosque de pino-encino.

Con estos resultados se construyeron las isolíneas de aridez para la zona de estudio (Figura 3.3). Conforme a la clasificación de Martonne, en la zona de estudio se presentan valores de los índices de aridez que varían entre 5 y 20, siendo la región de Todos Santos, en la costa occidental, en donde se localizan condiciones de franca aridez. En altitudes intermedias de la porción norte de la Sierra de la Laguna y sobre la franja costera que rodea a esta serranía, así como en altitudes de hasta 400 m de la Sierra de la Trinidad, en el extremo suroriental de la Región del Cabo, se presenta una amplia región semiárida. Sobre una franja que se ensancha hacia el sureste de la Sierra de la Laguna, sobre la zona de Santiago, Agua Caliente y Santa Anita, se presentan condiciones climáticas más benignas, con valores de aridez que varían entre 10 y 15. Son las porciones más elevadas de la Sierra de la Laguna, en donde se desarrolla el bosque de pino-encino, las que presentan condiciones climáticas menos áridas, con un IA  $\geq$  20, lo que en la clasificación de Martonne corresponde a praderas. Es probable que este resultado se deba a la poca información meteorológica para la única estación que funcionó solamente por un periodo de 20 años a una altitud de 1906 m. Esta falta de información ocasiona que el IA para la región boscosa de la Sierra de la Laguna sea incompleta. Sin embargo, para las zonas bajas e intermedias de la sierra se cuenta con suficientes estaciones meteorológicas, lo que permitió calcular el IA para esas zonas de la Sierra de la Laguna con bastante precisión.

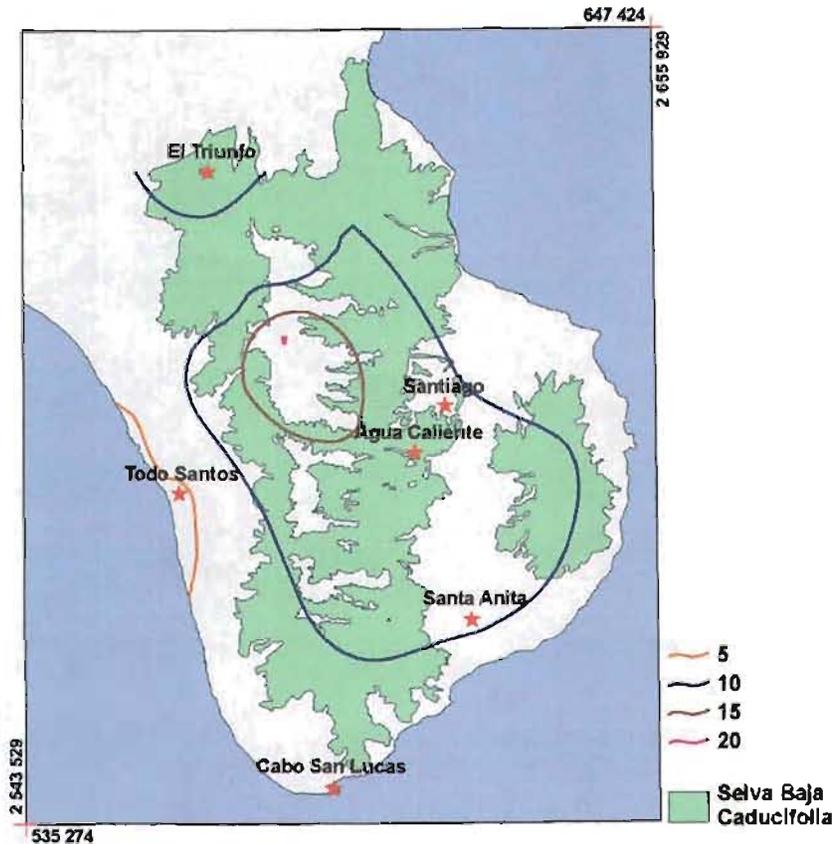


FIGURA 3.3. ISOLÍNEAS DE IA PARA LA REGIÓN DEL CABO

Conforme a los resultados de las variables climáticas analizadas y los valores de aridez por estación, se obtuvo que la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna y la Sierra la Trinidad se desarrolla en sitios con una temperatura media anual de  $22.2^{\circ}\text{C}$  y una precipitación total anual promedio de 377.5 mm. De la sobreposición de las isolíneas de aridez con el área de distribución de la selva baja caducifolia de la región de estudio, se obtuvo que cerca de 50% de este tipo de vegetación se desarrolla en áreas con un índice de aridez menor a 10, 46% en áreas con índices de aridez entre 10 y 15, y sólo 4% con valores de aridez por arriba de 15. Asimismo es posible observar que la vertiente del Golfo de California presenta una mayor superficie con índices de aridez con valores entre 10 y 15, en tanto que en la vertiente del Pacífico la mayoría de las estaciones meteorológicas muestran valores por debajo de 10, sugiriendo una mayor aridez para esa vertiente de la Sierra de la Laguna.

De la sobreposición de las curvas de nivel y el parteaguas del área de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, se obtuvo que cerca de 60% de la superficie de la vertiente del Golfo de California presenta valores de aridez entre 10 y 15, en tanto que para la vertiente del Pacífico sólo 40% de esa vertiente, como se muestra en la figura 3.4.

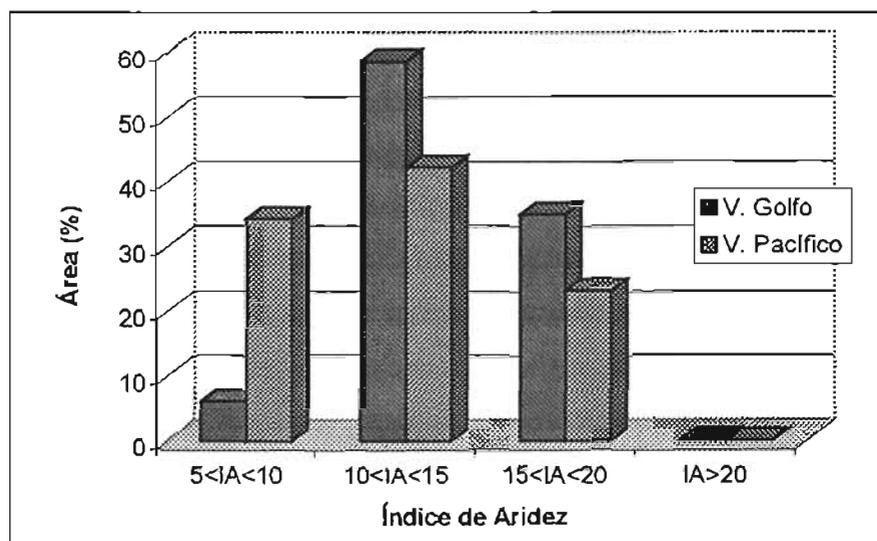


FIGURA 3.4 PROPORCIÓN DE LA SUPERFICIE DE CADA VERTIENTE (GOLFO DE CALIFORNIA Y PACÍFICO) SEGÚN EL ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE PARA LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA LA LAGUNA

Finalmente y con base en la información histórica de 1940 a 1997 para el Índice de Aridez se construyó la figura 3.5. En ella se observa que algunos años muestran variaciones muy pronunciadas, debido al comportamiento climático regional en donde la incidencia de eventos "aislados" como los ciclones juega un papel muy importante, así como periodos de pronunciada aridez.

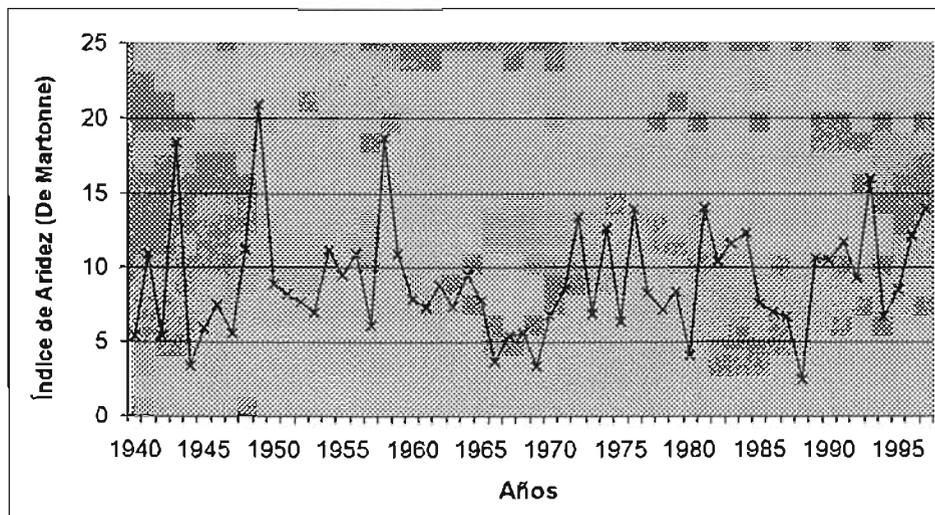


FIGURA 3.5. ÍNDICE DE ARIDEZ HISTÓRICO PARA LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL SUR DE LA REGIÓN DEL CABO.

### 3.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Comparando los resultados de este trabajo con los datos de otras comunidades del trópico seco de América (Cuadro 3.3), se observa que la selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio de la Sierra de la Laguna es la comunidad con las condiciones climáticas más secas de todas, estas condiciones climáticas son más parecidas a las que se presentan en sitios donde se desarrolla el bosque espinoso. Esta observación ya había sido mencionada por Rzedowski (1979, 1983), quien propone como una posible explicación que el bosque tropical caducifolio en Baja California Sur se encuentra en condiciones menos perturbadas que en otras regiones de México, en donde posiblemente este tipo de comunidades han sido substituidas por bosques espinosos debido a la intensa actividad humana, particularmente agrícola. La confirmación de esta hipótesis requiere de un trabajo de investigación específico en donde se incluyan análisis comparativos de los bosques espinosos de Sonora y Sinaloa con la vegetación secundaria derivada de actividades humanas en Baja California Sur.

Otros factores que pueden explicar el desarrollo de esta comunidad bajo condiciones extremas de baja precipitación son, por un lado la relativa baja tasa de evapotranspiración derivada de una menor temperatura. En el caso de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna la temperatura promedio anual es de 22.1°C, valor menor al promedio de las selvas bajas de México, que asciende a 24.6°C (Trejo, 1999). Asimismo el número de días con lluvias inapreciables para su cuantificación pero importantes por la humedad que proporcionan al ambiente y que contribuyen al sostenimiento de esta vegetación (Trejo, 1999). Otro factor fundamental para el desarrollo de esta vegetación en esta región, son las escasas pero importantes lluvias invernales (principalmente Diciembre – Enero, ver figura 3.2 a, b), que permiten el desarrollo de un estrato herbáceo particular de esta época del año, así como la presencia de hojas y flores en árboles y arbustos. Las lluvias invernales son fundamentales no sólo para el sostenimiento de la vegetación, sino que también regulan gran parte de las actividades agropecuarias de la región.

Los resultados de las isóneas de aridez muestran que las porciones más elevadas de la Sierra de la Laguna se encuentran bajo condiciones menos áridas, que se presenta una amplia franja de la región sureste de la Sierra de la Laguna con valores del índice de aridez que varían entre 10 y 15, y que las zonas costeras - tanto en la zona de Todos Santos como la franja costera del Golfo de California - son las más áridas. Las diferencias entre vertientes sugieren que la zona del Pacífico contiene una mayor superficie con mayor aridez que la del Golfo de California. Asimismo, la precipitación total anual promedio de todas las estaciones de la vertiente Pacífica es del orden de 200 mm, en tanto que para la vertiente del Golfo de California es de 300 mm. Es probable que estas diferencias se deban a la temperatura superficial del mar, ya que la costa pacífica se encuentra bajo la influencia de la corriente fría de California la cual provoca una menor temperatura superficial del mar, del orden de 1° a 2 °C, que la temperatura del mar en el Golfo de California (Díaz, 2002; NOAA, 2004). El efecto “secante” de la corriente de California se debe al enfriamiento de la parte inferior de las capas atmosféricas que impide su movimiento ascendente y condensación. Asimismo, el patrón de

cambio de las isolíneas de aridez en la vertiente del Pacífico y del Golfo refleja también los patrones fisiográficos de ambas vertientes, ya que la vertiente del Pacífico es más escarpada y abrupta que la del Golfo, en la cual la pendiente cambia de manera más suave. De acuerdo con los resultados de este trabajo se esperaría para la vertiente del Pacífico una mayor influencia de la vegetación con características áridas.

Con respecto a los resultados obtenidos sobre la variabilidad climática en el período analizado (1940-1997), cabe señalar que estos resultados concuerdan con la periodicidad climática propuesta por Díaz *et al.* (1994) para las partes medias de la Sierra de la Laguna, en ese trabajo, los autores señalan que los años más secos ocurrieron a mediados de la década de los años cuarenta, cincuenta y al final de la década de los sesenta, en tanto que los periodos más húmedos se presentaron al inicio de los años cincuenta, sesenta y ochenta. Si bien en el estudio de Díaz *et al.* (1994) sólo reportan hasta 1990, los datos obtenidos en el presente trabajo también muestran un periodo de humedad para el inicio de la década de los noventa. Otro de los resultados del trabajo de Díaz *et al.* (1994) es que durante el periodo que ellos estudiaron (1940-1990) existe una tendencia general hacia una menor aridez en el área, información que concuerda también con los resultados de Salinas-Zavala *et al.* (1998), para el noroeste Mexicano. El efecto de estas tendencias sobre la vegetación es sin duda una de las líneas de investigación más atractiva para futuros trabajos, en donde se observe los cambios en el área de distribución de la selva baja caducifolia de la región, así como también cambios en la composición florística.

CUADRO 3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE COMUNIDADES DEL TROPICO SECO EN AMÉRICA

TIPO DE BOSQUE LOCALIZACION	PPT (mm) ANUAL	TEMP. °C	T/P	IA <sup>+</sup>	MESES SECOS	REFERENCIA
B. seco (5 sitios) América tropical	1200-1533	—	—	—	—	Gentry (1982)
B. deciduo Chamela, Jal., México	748	25	3.3	21.4	6-8	Lott, <i>et al.</i> (1987)
B. seco subtropical, Centroamérica.	500-1000	—	—	—	—	Sabogal (1992)
B. tropical seco Caracas, Venezuela.	834	23	2.7	25.3	8*	Olivares y Medina (1992)
B. muy seco Venezuela.	500-1000	26	2.6-5.2	—	7	Veillon (1963)
B. seco subtropical Puerto Rico.	860	25	2.9	24.6	—	Murphy y Lugo (1985)
B. deciduo Sinaloa, México.	618-926	—	—	—	>6	Gentry (1942b)
B. espinoso Sinaloa, México.	768	—	—	—	8	Shreve (1937)
B. espinoso Sonora, México.	305	32	10.5	7.3	—	Gentry (1942a)
B. espinoso México.	350-1200	17-29	—	—	5-9	Rzedowski (1983)
B. espinoso subtropical Centroamérica.	250-500	—	—	—	—	Sabogal (1992)
B. espinoso Venezuela.	250-500	27.9	5.6-11	—	10**	Veillon (1963)
Bosque siempre verde y bosque deciduo estacional Centro América y el Caribe	800-1300	—	—	—	5-6*	Murphy y Lugo (1995)
Caatinga Brasil	500-750	23-27	—	—	7-11	Sampaio (1995)
B. tropical caducifolio Nizanda, Oaxaca	1000	25	2.5	—	—	Gallardo-Cruz, <i>et al.</i> (2005)
B. tropical caducifolio (10 sitios) México ♦	743-1128	24-27	2.2-3.4	21.3-32.2	—	Trejo (1998)
B. tropical caducifolio Baja California Sur •	264-488	19-25	5.0-8.6	8.2-14.1	10-11	Este trabajo

+ Índice de Aridez de Martonne calculado con base en los datos de los autores originales.

\* meses con precipitación menor a 100 mm

\*\* meses con una precipitación (mm) menor del doble de la temperatura media mensual.

♦ no se incluyó el dato para Baja California Sur.

• sólo se consideraron las estaciones que se localizan en el área de distribución de la selva baja caducifolia.

## IV. EL MOSAICO DE VEGETACIÓN DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA LA LAGUNA, B.C.S., MÉXICO: UNA VISIÓN A DIFERENTES ESCALAS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que la selva baja caducifolia constituye cerca de 42% del total de los bosques tropicales del mundo (Murphy y Lugo, 1986), este tipo de vegetación es considerada como una de las más amenazadas (Janzen 1988; Gentry, 1995), ya que se encuentra asociada con zonas densamente pobladas (Murphy y Lugo, 1986, 1995). En México este tipo de vegetación también es una de las más afectadas, ya que 73% de la superficie cubierta originalmente por selvas bajas caducifolias han sido alteradas o convertidas en pastizales o matorrales (Trejo y Dirzo, 2000).

En la Península de Baja California, la selva baja caducifolia se restringe a la porción meridional de la Península con un área de distribución de 390,300 hectáreas. La zona en donde está mejor representada abarca las laderas de los cañones de la Sierra de La Laguna. En esta serranía se encuentra la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, la cual da protección aproximadamente a 20% de la selva baja caducifolia de la región.

Esta comunidad representa el límite noroccidental de la distribución de la selva baja caducifolia en América y se caracteriza por su aislamiento geográfico y ecológico (Arriaga y León de la Luz, 1989). Asimismo, representa una de las comunidades más secas de su tipo (ver capítulo 3). Sobre esta comunidad existen varios estudios florísticos y estructurales (ver capítulo 1), en los que se muestra la importancia de la altitud y la fisiografía en la heterogeneidad de esta comunidad. De acuerdo con el trabajo de Breceda (1994) las familias mejor representadas en esta comunidad son Leguminosae, Poaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae y Cactaceae, más de 50% de los individuos que conforman a esta selva son arbustos, siguiéndole en abundancia los árboles y las suculentas. Entre las especies arbustivas más abundantes se encuentran *Jatropha cinerea*, *J. vernicosa* y *Tecoma stans*, y entre las especies arbóreas más importantes están *Albizia occidentalis*, *Lysiloma divaricatum* y *L. candida*, dependiendo de la vertiente y de

las geofomas. En términos generales, la estructura vertical de esta comunidad consiste en un estrato arbustivo y arbóreo bajo con altura máxima de entre cuatro y seis metros, algunas especies se encuentran representadas en un estrato que alcanza hasta ocho metros y escasos individuos alcanzan hasta quince metros de altura (Breceda, 1994).

A pesar de que existen varios trabajos sobre esta comunidad, aún no se han realizado estudios que analicen el mosaico de vegetación e identifiquen las diferentes unidades o parches que la constituyen mediante el uso de herramientas como imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG). La aplicación de estas herramientas en la región se ha enfocado a la descripción de las zonas ecotonales (Casalegno *et al.*, 2000) y la regionalización del municipio de los Cabos con fines de ordenamiento territorial (López. Blanco, 1994; Malczewski *et al.*, 1997);

El uso de las imágenes satelitales, las imágenes de radar y los sistemas de información geográfica, han revolucionado el mapeo y el modelaje de la vegetación. Estas tecnologías han contribuido al resurgimiento del interés por reconocer patrones y procesos en un dominio regional y global, y han facilitado la investigación sobre la heterogeneidad del paisaje y sus efectos en la dinámica de las comunidades vegetales y el ecosistema (Walsh y Davis, 1994). Estas herramientas se han convertido en elementos indispensables para cualquier estudio extensivo sobre vegetación y cobertura de la tierra. Sin embargo, muchas aplicaciones requieren información muy detallada, la cual no puede obtenerse solamente con percepción remota. Consecuentemente, existe un interés mayor en la integración de datos adquiridos vía remota (satelital o aérea) con observaciones locales, es decir con muestreos y datos de campo. Las exploraciones locales, así como los métodos remotos, son fuentes de datos complementarios para la elaboración de mapas ecológicos, ya que cada uno de estos métodos tiene fortalezas y debilidades. La percepción remota, debido a que observa los fenómenos a distancia, es capaz de detectar patrones a una escala en la que los trabajos locales no son observables (Wyatt, 2000).

En el caso de la vegetación, el objetivo principal es hacer mapas de la distribución de la vegetación e identificar sus patrones y cambios en el tiempo y el

espacio. La clasificación de una imagen remota incluye esencialmente la transformación de medidas de la radiación espectral de la superficie de la tierra obtenidas por sensores remotos, y es un importante medio para adquirir información cualitativa y cuantitativa sobre la cubierta de la tierra. Cada vez más se utilizan estas herramientas para la elaboración de mapas de cobertura de la tierra, lo que ha generado nuevos temas de discusión, tanto sobre los patrones de distribución espacial y temporal de elementos del paisaje, como del uso mismo de estas herramientas y la información contenida en los mapas resultantes. Sobre este último tema se ha discutido sobre la relación entre la información adquirida mediante métodos remotos y su expresión en escalas locales o más finas. Al respecto, Franklin *et al.* (1997) discuten sobre la jerarquización en las unidades del paisaje, esto es, que si los mapas generados con información local (*rodal*) anidan información espacial y florística en unidades de mapas de grano grueso. Con base en un estudio de caso, estos autores concluyen que los dos métodos son espacialmente anidados mas no florísticamente y sugieren que ambos métodos son complementarios y pueden brindar más información sobre el sistema.

Con base en la visión que nos proporcionan las herramientas remotas y los SIG, en el presente capítulo se analiza la información que se obtiene de una imagen LANDSAT TM de la selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, B.C.S. y se complementa con la información recabada mediante muestreos de campo, con el objeto de conocer cuál es el patrón del mosaico de vegetación que nos proporciona una escala remota y si ésta presenta una correspondencia con atributos de la comunidad a niveles locales o de rodal, así como conocer cuáles son los factores espaciales que determinan este mosaico de vegetación. Bajo estas consideraciones, en el presente capítulo se pretende contestar a las siguientes preguntas: ¿cuáles son las diferentes unidades de vegetación que conforman a la selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera Sierra de la Laguna?, ¿cuáles son las características ambientales que identifican a las diferentes unidades de vegetación?, ¿existe una correspondencia entre los atributos de las distintas unidades vegetales con grupos de especies vegetales específicos de cada una?, ¿cuál es la participación de especies áridas y tropicales

en cada unidad de la selva?, ¿cuál es el efecto de la fisiografía en la configuración del mosaico de vegetación?, y ¿cuáles de las unidades vegetales identificadas se encuentran bajo mayor presión por actividades humanas?

## **4.2. METODOLOGÍA**

Para identificar las unidades de vegetación o parches en la selva baja caducifolia se hizo fotointerpretación de zonas representativas de esta comunidad, se seleccionaron puntos de muestreo y se tomaron datos estructurales para cada punto, a este muestreo se le llamó puntos de entrenamiento. Se realizó una clasificación supervisada de una imagen satelital, que incluye la vegetación de toda la Reserva de la Biosfera, y comprende tanto a la selva baja caducifolia como al bosque de encino y al bosque de pino-encino. Se seleccionaron las áreas que correspondían exclusivamente a la selva baja caducifolia y con base en esa información se efectuó la sobreposición con información obtenida en los muestreos de campo (puntos de entrenamiento). Posteriormente se efectuó un trabajo de verificación para lo cual se hicieron varios puntos de muestreo (puntos de verificación). Paralelamente se digitalizaron diferentes capas con atributos ambientales (altitud, pendientes, exposición, hidrología, vertientes y asentamientos humanos) información que se utilizó para el análisis de atributos ambientales asociados a cada unidad de vegetación. Con los datos de campo de la verificación se efectuó un análisis de composición florística y atributos estructurales locales de cada punto, información que se utilizó para hacer un análisis de componentes principales e identificar a escala local o de rodal las variables asociadas a la vegetación, así como la participación de especies áridas y tropicales en cada unidad de la selva. En la figura 4.1 se hace un esquema de los objetivos y procedimientos metodológicos, y posteriormente se detalla cada uno de los pasos señalados.

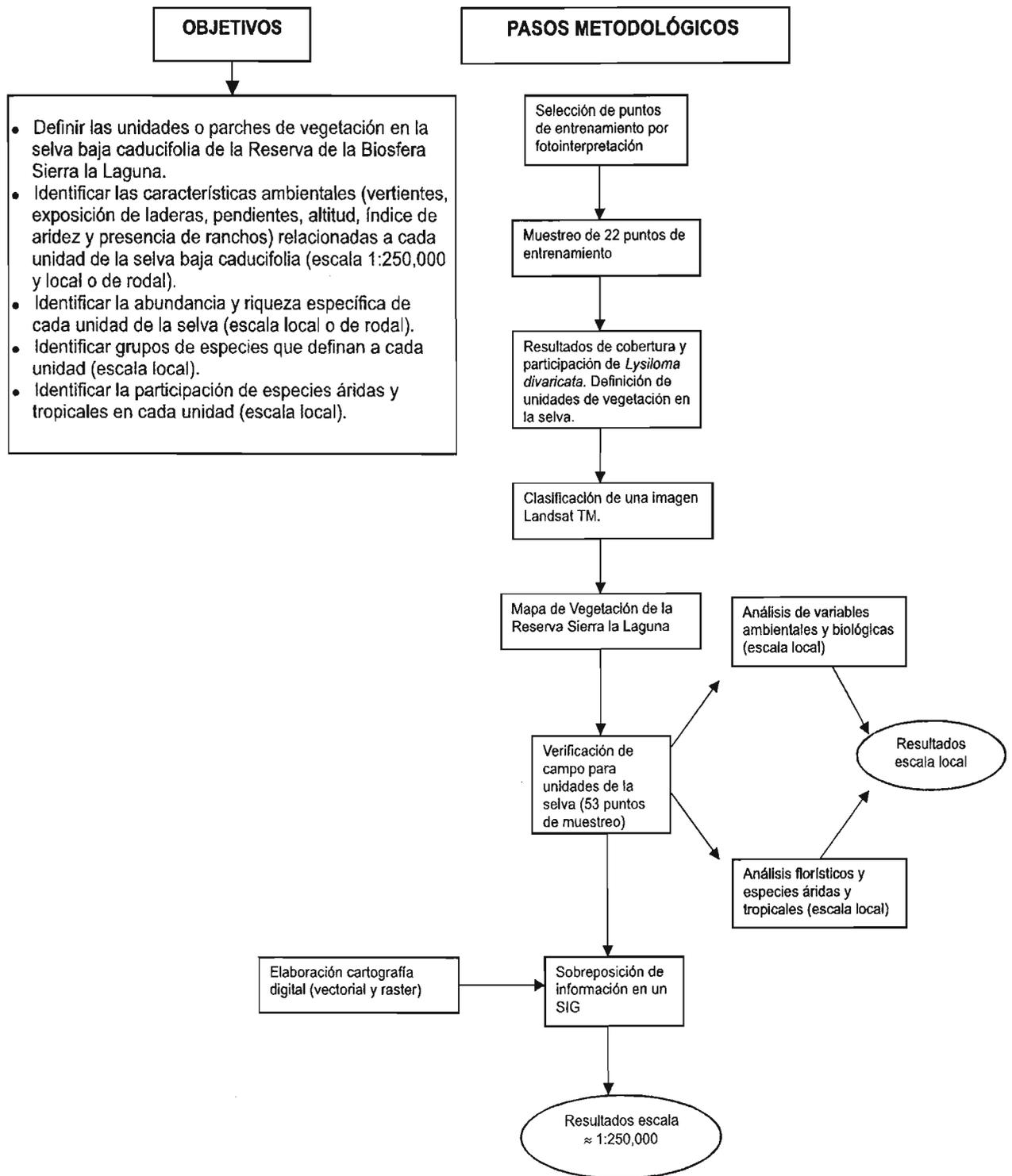


FIGURA 4.1. ESQUEMA DE OBJETIVOS Y PASOS METODOLÓGICOS

## **4.2.1. Mapa de vegetación e identificación de unidades**

### ***4.2.1.1 Fotointerpretación, muestreo y análisis de sitios de entrenamiento.***

Con el objeto de tener información de campo sobre la vegetación, previamente a la clasificación de la imagen de satélite, se procedió a seleccionar distintas áreas en la selva baja caducifolia. Para ello se elaboró un mosaico con las fotografías aéreas de INEGI de marzo de 1993 escala 1:75,000 de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna y se seleccionaron los juegos de fotos correspondientes a dos cañones del área de estudio, eligiéndose uno en la vertiente del Pacífico (Cañón de la Burrera) y otro en la vertiente del Golfo de California (Cañón de la Zorra). Se hizo la fotointerpretación de ambos cañones con base en las características fisiográficas, la textura, la estructura, el color y la exposición de las laderas. Con base en la fotointerpretación se eligieron 22 sitios de muestreo de la selva a lo largo del gradiente altitudinal de la Sierra de la Laguna en ambos cañones. Los criterios para seleccionar estos sitios fueron que estuvieran dentro del área de distribución de la selva baja caducifolia, también se consideró que fuesen representativos de áreas más extensas y que mostraban diferencias en textura y color entre ellos. Además se consideraron dos puntos del encinar con fines comparativos. Cada sitio de muestreo fue localizado mediante GPS y fotografía aérea. En la figura 4.2 se muestra la ubicación de los puntos seleccionados. Para cada punto de muestreo se registraron los datos referentes a altitud, pendiente, rocosidad y exposición de la ladera (cuadro 4.1a y b).

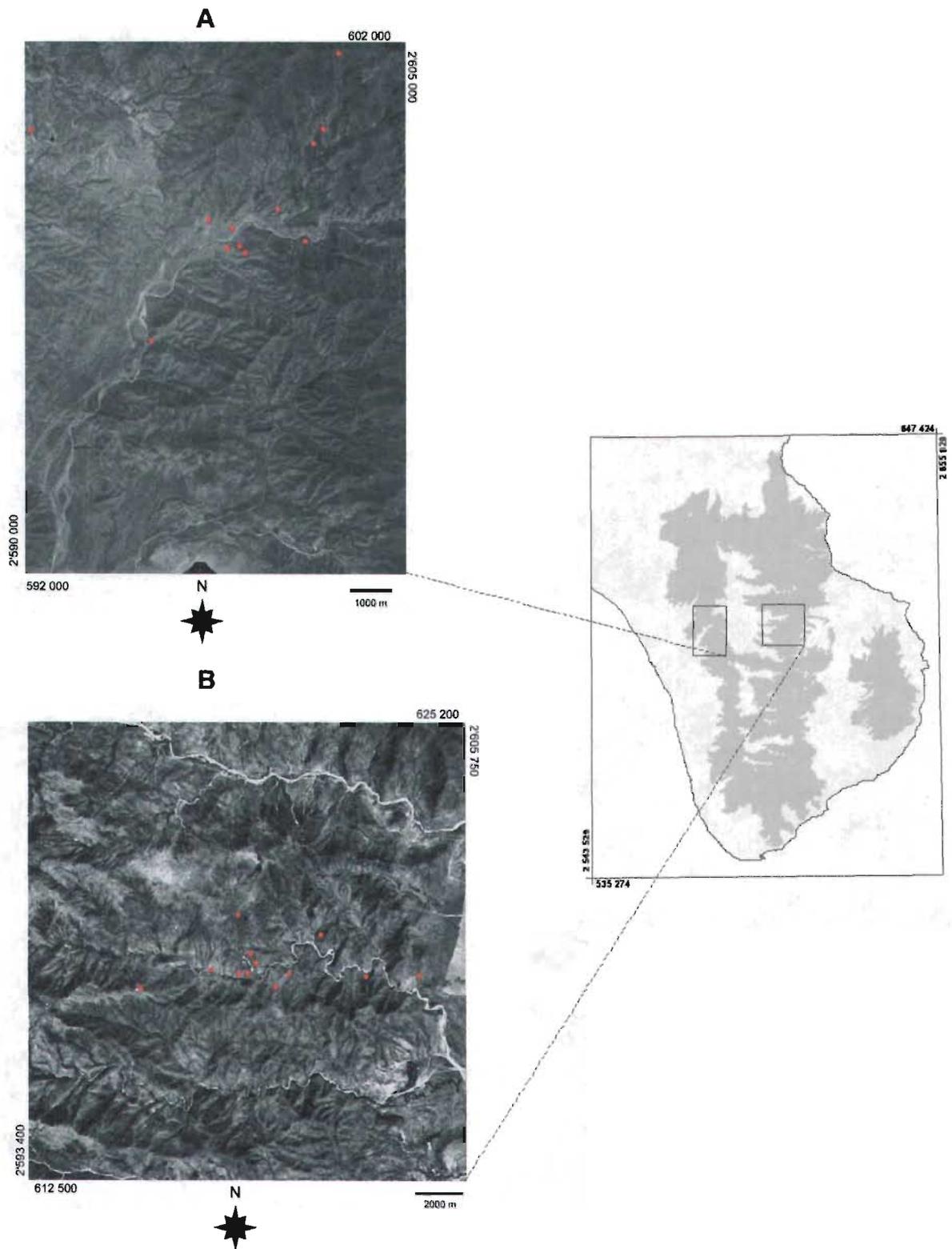


FIGURA 4.2. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE ENTRENAMIENTO. A) CAÑÓN DE LA BURRERA, B) CAÑÓN DE LA ZORRA.

CUADRO 4.1a .CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE ENTRENAMIENTO DEL CAÑÓN DE LA BURRERA

Nombre	Altitud (m)	Pend. (%)	Exposición	Roc. (%)	Tipo de disturbio y/o perturbación
Las Piedritas	400	10	Sur	10	ganado, tala y rancho
Arroyo	450	0	-----	0	camino, ganado y tala
Ecotono	450	10	Norte	0	ganado y tala
Camino	470	60	Sur	30	camino y ganado
Rancho Abraham.	480	40	Oeste	80	ganado, tala y rancho
Cerro Pelón	500	40	Sur	50	cárcavas
Incógnita	530	80	Norte	10	camino, ganado y tala
Toro Bramon	560	30	Sur	40	descansadero ganado
Atrás	570	90	Norte	40	ganado escaso
Plumeria	840	30	Este	40	ganado
El Palmillar	870	20	Oeste	20	camino y ganado

CUADRO 4.1b. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO DEL CAÑÓN DE LA ZORRA

Nombre	Altitud (m)	Pend. (%)	Exposición	Roc. (%)	Tipo de disturbio
Sol de Mayo	250	4	---	1	escasa forestería
Ecotono c/mat.	270	0	----	0	ganado, camino, tala
Santa Amalia	345	15	Norte	70	escasa forestería
El Tapeite	400	60	Norte	80	ganado escaso
Las Palmas	460	20	Oeste	90	ganado-descansadero
Rancho del Humo	510	40	Este	10	ganado, rancho, tala
Piedra Lisa	520	30	Norte	5	ganado, camino y tala
El Capricho	540	10	Oeste	30	ganado descansadero, rancho viejo.
Guayabo	640	30	Sur	40	ganado
Puerta San Miguel	720	70	Norte	90	ganado escaso
Tulito	760	30	Oeste	15	ganado

En cada sitio se ubicó un cuadro de 30 × 30 m en los que se registraron todos los individuos perennes, considerando como individuo para las especies arbóreas los tallos de cada uno, y en el caso de las especies arbustivas se considero como un individuo todos los tallos de una misma base. La determinación de las especies se efectuó *in situ*, y cuando no se reconocía se herborizó y se determinó en el Herbario del CIB (HCIB). Para cada individuo se registró la altura y

la cobertura en dos dimensiones. En gabinete se organizó la información en hoja de cálculo (Excel v. 9.0) y para cada especie en cada sitio se calculó la abundancia, la cobertura y la frecuencia. La cobertura por individuo se calculó utilizando la fórmula de la elipse.

$$C = \pi * 0.25 * d_1 * d_2$$

$d_1$ =diámetro más grande,  $d_2$ = diámetro perpendicular al primero.

Con base en esta información se categorizaron los sitios de entrenamiento en función del porcentaje de cobertura y las especies de mayor cobertura vegetal, identificándose cuatro unidades para la selva baja caducifolia del área de estudio: selva cerrada densa de *Lysiloma divaricatum* (SC), selva amatorralada de *Jatropha cinerea-Tecoma stans* (SAM), sitios o áreas de escasa cobertura vegetal (AEV) y selva abierta (SA).

#### **4.2.1.2. Tratamiento de Imagen**

Se adquirió una imagen LANDSAT TM de septiembre de 1996, correspondiente a la época de lluvias, corregida geográfica y geoméricamente. De esta imagen se emplearon las bandas 1, 2, 3, 4, 5, y 7. Para el análisis se consideró una subimagen de 2080 x 2000 pixeles, la que cubre la totalidad de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna. Para el procesamiento de la imagen se utilizó el programa IDRISI 14.0 (Kilimanjaro) (Clark Labs., 2003). Se obtuvo una matriz de varianza/covarianza entre las bandas, así como el análisis de componentes principales. Con base en esta información, se creó una imagen de falso color RGB con las bandas TM4, TM5 y TM3, respectivamente.

Con el fin de tener un mapa de vegetación de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna se realizó una clasificación supervisada de la imagen, para lo cual se seleccionaron un total de 60 campos de entrenamiento, los cuales incluían los sitios de la selva muestreados en campo, así como áreas del bosque de encino, del bosque de pino-encino, del matorral xerófilo, de cuerpos de agua y de suelo desnudo. Cabe señalar que si bien el objetivo de este trabajo consiste en

identificar las unidades de vegetación de la selva abaja caducifolia, en este apartado del trabajo se generó el mapa completo de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, la cual incluye también a otros tipos de vegetación, ya que en el proceso de la clasificación de la imagen se contaba con esa información adicional y permitió tener un producto más completo. Se generaron las firmas espectrales mediante el algoritmo de máxima verosimilitud, el cual asigna cada píxel de la imagen a la categoría para la que posee mayor probabilidad de pertenencia. Del total de firmas espectrales se desecharon aquellas que presentaban una desviación estándar mayor a 6, que contuvieran menos de 60 píxeles y cuyos histogramas de reflectividad espectral mostraran una distribución multimodal (Chuvienco, 1996). Para estimar las diferencias entre clases, se hizo un análisis de conglomerados, utilizando las medias de la reflectividad de cada banda para 34 firmas espectrales, empleando el método del vecino más cercano y la distancia euclidiana. Asimismo se realizó la prueba de separabilidad entre pares de firmas (Chuvienco, 1996), para lo cual se calculó la distancia normalizada entre pares de firmas para todas las bandas:

$$Dn_{A,B} = \sum_{i=1}^7 \frac{|ND_A - ND_B|}{S_A + S_B}$$

$ND_{AB}$ = diferencia entre las medias por pares de firmas espectrales;  $S$ = desviación estándar por pares de firmas espectrales;  $A, B$ = categorías de firmas espectrales.

Para obtener una mejor clasificación de la imagen se procedió a discriminar entre los sitios cubiertos por vegetación y aquellos que mostraran una cubierta abierta. Esto se logró por medio de una división entre la banda TM5 y TM4, y así se obtuvo un mapa que permitió discriminar entre estos sitios. Posteriormente se sobrepusieron las capas de cobertura de vegetación con todas las firmas espectrales, el índice TM5/TM4 y la altimetría. Con base en estos resultados se reclasificó la imagen y se aplicó un proceso de filtraje de  $5 \times 5$  píxeles, utilizando la moda y se obtuvo el mapa de vegetación para toda la Reserva de la Biosfera

Sierra la Laguna, el cual contiene información de la selva baja caducifolia, así como del bosque de encino, el bosque de encino-pino y matorral xerófilo.

#### **4.2.1.3. Muestreo y análisis de sitios de verificación para las unidades de la selva**

Con base en el mapa de vegetación se verificó la clasificación de las unidades de la selva, usando un total de 53 puntos que incluyeran las cuatro unidades de la selva previamente definidos. Cada sitio fue localizado (georeferenciado) y en cada uno se registró la altitud, la exposición, el porcentaje de pendiente y la rocosidad. Dado que la diferenciación entre las unidades de la selva se presenta en función del porcentaje de la cubierta vegetal y de las especies que mayor contribuyen a ésta, en cada sitio se montó un cuadro de 10 × 10 m, en los que se registró la abundancia y cobertura de todos los individuos perennes. Con base en los resultados de cobertura y de especies relevantes, cada sitio fue asignado a una categoría del mapa. Posteriormente se construyó la matriz de confusión entre clases de la selva baja caducifolia y se obtuvo una medida de fiabilidad global, utilizando la siguiente fórmula (Chuvienco, 1996).

$$F = Y \pm z ES$$

$Y = (a/n) * 100$ ,  $ES = \sqrt{pq/n}$ ,  $z =$  la abcisa del área bajo la curva normal a nivel de probabilidad  $(1-\alpha)$ , que en este caso fue del 95%,  $a =$  número de aciertos,  $n =$  tamaño de la muestra,  $p =$  porcentajes de aciertos,  $q =$  porcentaje de errores.

#### **4.2.2. Elaboración de la cartografía digital**

Para la elaboración de la cartografía digital se escanearon los mapas topográficos 1:50,000 de INEGI que abarcan la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, mediante el uso del programa Adobe PhotoShop 3.0. Todos las unidades fueron georeferenciadas y corregidas con proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum NAD 27, Zona 12, en el Programa Vectorial MapInfo 5.0.1 (MapInfo Corporation, 1998) y del Programa Raster Idrisi 14.0 Kilimanjaro (Clark Labs., 2003). Asimismo, se adquirió una imagen Landsat TM de septiembre de 1996

(P 34/R44) con una resolución de 25 m, que fue analizada para la generación del mapa de vegetación y del cociente bandaTM5/bandaTM4 para discriminar entre suelo y vegetación.

#### **4.2.2.1. Elaboración de mapas vectoriales**

- *Mapa Topográfico.* Se digitalizaron en pantalla las curvas de nivel cada 100 m. En caso de terrenos muy abruptos, se digitalizaron las curvas cada 40 m.
- *Poligonales de la Reserva.* Para delimitar el área de estudio se emplearon los puntos limítrofes del polígono general publicados en el Diario Oficial de la Federación (6 de junio de 1994).
- *Ubicación de Rancherías.* Con base en la localización geográfica de las rancherías y los caseríos, se digitalizaron cada uno de ellos, anexando los atributos asociados a cada rancho. La información de las rancherías se obtuvo de la encuesta realizada por la Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna y de la encuesta generada para el presente trabajo (ver capítulo 5). Para cada rancho se consideró un área de influencia equivalente a un kilómetro de radio a partir del rancho. Se consideró esta zona de influencia de acuerdo con los resultados obtenidos en el trabajo de Ramírez (2001) relativo al efecto de las rancherías en diversidad de flora y aves.
- *Hidrología.* Se digitalizaron todos los arroyos ubicados dentro del área de estudio.

#### **4.2.2.2. Elaboración de mapas raster**

*Modelo Digital de Terreno.* Con base en las curvas de nivel se procedió a la elaboración del MDT utilizando la instrucción INTERCON de Idrisi 14.0. Con este mapa base y mediante reclasificación se obtuvieron los mapas de Altimetría, Inclinación de Pendientes y Exposición de laderas.

### 4.2.3. Análisis local de la vegetación

El análisis de la composición florística y la estructura de la vegetación a escalas locales se hizo mediante el procesamiento de los datos obtenidos en los 53 muestreos de verificación. Esto permitió elaborar un listado florístico y se hicieron comparaciones del contingente florístico de las diferentes unidades de la selva (selva cerrada densa de *Lysiloma divaricatum*, selva amatorralada de *Jatropha cinerea-Tecoma stans*, sitios o áreas de escasa cobertura vegetal y selva abierta). Se efectuó un análisis de clasificación con base en la matriz de presencia-ausencia del total de especies registradas, utilizando el método del vecino más cercano y la distancia euclidiana.

Para identificar la abundancia de especies de afinidad árida y tropical, se seleccionaron 78 especies áridas, tropicales y endémicas previamente definidas en el capítulo 2. Con el fin de probar si existe independencia entre los grupos de especies y las unidades de vegetación se efectuó una prueba de  $\chi^2$  con base en las abundancias de los grupos de especies en cada unidad analizada.

Con el objeto de sintetizar la información obtenida en los muestreos y detectar las relaciones entre variables tanto ambientales como biológicas, se llevó a cabo un análisis de componentes principales. Para este fin se utilizó una matriz que contiene los 53 puntos de muestreo de verificación y 9 variables ambientales y biológicas (latitud, altitud, rocosidad, riqueza específica, abundancia, pendiente, índice de aridez, número de vacas, cobertura total). Antes de la construcción de la matriz, los datos de las variables fueron normalizados aplicando logaritmo natural y el arcoseno de  $(x+0.01)^{0.5}$ , empleándose la mejor transformación. Para el análisis de componentes principales se utilizó la matriz de correlación, eligiéndose los componentes que explicasen el mayor porcentaje de la varianza. Una vez definido el número de componentes principales de acuerdo con este porcentaje, los valores de los componentes fueron estimados con los coeficientes transformados mediante una rotación de tipo varimax (Richman, 1986 en Lluch-Cota, 2001). Todo el análisis de componentes principales se realizó utilizando los programas Statistica 5.1 y Excel 9.0.

## **4.3. RESULTADOS**

### **4.3.1. Cartografía**

En el anexo 4.1 se muestran los mapas de altimetría, orientaciones, pendientes, hidrología y localización de las rancherías.

### **4.3.2. Identificación de las unidades de la selva**

#### **4.3.2.1. Sitios de entrenamiento**

En el anexo 4.2 se muestran los datos de cobertura y abundancia para cada sitio de entrenamiento, así como las especies de mayor cobertura para cada uno. De la comparación entre sitios es difícil agrupar en unidades de vegetación distintivas, ya que las especies de mayor abundancia y cobertura se comparten entre la mayoría de los sitios, destacando la frecuencia de especies como *Jatropha cinerea*, *J. vernicosa*, *Tecoma stans* y *Lysiloma divaricatum*. Sin embargo, existen diferencias con respecto a la cobertura total y a la participación porcentual del mauto (*Lysiloma divaricatum*) en la cobertura del área muestreada. Esta especie es uno de los árboles distintivos de este tipo de vegetación en la costa pacífica de México y es la que caracteriza a este tipo de vegetación en la zona. Bajo estas consideraciones, los criterios que se emplearon para identificar unidades de la selva se presentan en el cuadro 4.2. Para nombrar a las unidades se recurrió a aspectos relacionados con la fisonomía de cada unidad según su cobertura y/o las especies dominantes. En el caso de la selva amatorralada se optó por ese nombre dada la abundancia de especies arbustivas.

CUADRO 4.2. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE UNIDADES DE VEGETACIÓN PARA LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA.

Unidad	Cobertura Total (%)	Cobertura (%) <i>Lysiloma divaricatum</i>
Sitios de escasa cobertura vegetal.	< 100	< 40
Selva abierta	>100 y < 180	< 40
Selva amatorialada densa de <i>Jatropha cinerea-Tecoma stans</i>	≥ 180	< 40
Selva cerrada densa de <i>Lysiloma divaricatum</i>	> 180	≥ 40

Quedando la agrupación de los sitios de la siguiente manera:

➤ **Selva amatorialada densa de *Jatropha cinerea-Tecoma stans***

SITIO	EL TAPEITE	PIEDRA LISA	HUMO	CAPRICO	CAMINO	GUAYABO	ARROYO
Especies de mayor Cobertura	TECSTA GOUROS COUGLA ACACOM CHLMAN	CHLMAN JATVER KARHUM JATCIN LYSDIV	JATVER JATCIN BURMIC STETHU ANTLEP	TECSTA JATCIN BURMIC ANTLEP SENATO	CHLMAN BURMIC ANTLEP ERYFLA AYEUNI	JATCIN LYSDIV ANTLEP JATVER KARHUM	TECSTA ALBOCC JATCIN CYREDU CHLMAN
Cobertura Total (%)	181	255	219	206	190	190	270
Abundancia Total (NI/900m <sup>2</sup> )	284	397	552	396	418	356	284
Cobertura% <i>L. divaricatum</i>	1	18.3	6.9	7.5	2.1	18.1	4.7
Altitud m	400	520	510	540	470	640	450

➤ **Selva cerrada densa de *Lysiloma divaricatum***

SITIO	ATRAS	PLUMERIA	INCOGNITA	LAS PALMAS	TULITO	P.DE SAN MIGUEL
Especies de mayor cobertura	LYSDIV JATCIN JATVER CROCAB GOCARB	LYSDIV SENATO BURMIC PLUACU JATVER	LYSDIV JATVER SCHCUN BERMEX JATCIN	LYSDIV COUGLA ACASPP CYREDU SENATO	LYSDIV BURMIC EXOBRA RUELEU CARARI	LYSDIV AYEUNI ANTLEP TECSTA GOUROS
Cobertura Total (%)	198	200	235	217	208	253
Abundancia Total (NI/900 m <sup>2</sup> )	588	319	379	352	539	310
Cobertura% <i>L. divaricatum</i>	42	86	63	40	124	50
Altitud m	570	840	530	460	760	720

➤ **Selva abierta**

SITIO	ECOMATSEB	LAS PIEDRITAS	TORO	ECOTONO MZ	SOL DE MAYO	CERRO PALMAS
Especies de mayor cobertura	JATCIN VIGTOM SENATO LYSDIV EUPXAN	JATCIN TECSTA CHLMANU ADEVIR STETHU	LYSDIV TECSTA ANTLEP BURODO COLGLA	JATCIN TECSTA FOUDIG VIGTOM LYSCAN	JATCIN CHLMAN SENATO COLGLA SOLHIN	LYSDIV BURMIC JATVER ACAMCM INDFRU
Cobertura Total (%)	116	134	179	170	104	118
Abundancia Total	498	427	343	352	244	353
Cobertura% <i>L. divaricatum</i>	9.4	3.7	29.1	1.5	—	14.8
Altitud m	450	400	560	270	250	870

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

➤ **Áreas de escasa vegetación.**

SITIO	CERRO	RANCHO	AMALIA
Especies de mayor cobertura	COLGLA LYSDIV MIMXAN JATVER ALBOCC	LYSDIV JATVER COLGLA MIMXAN VIGTOM	LYSCAN JATCIN COUGLA CROCAB BURMIC
Cobertura Total (%)	51	94	84
Abundancia Total (N/900 m <sup>2</sup> )	267	272	313
Cobertura% <i>L. divaricatum</i>	6.6	23.1	.01
Altitud m	500	480	345

ACACOM = *Acalypha comonduana*, ACAMCM = *Acacia mcmurphyi*, ACASPP = *Acalypha* sp. ADEVIR = *Adelia virginata*, ALBOCC = *Albizia occidentalis*, ANTLEP = *Antigonon leptopus*, BERMEX = *Bernardia mexicana*, BURMIC = *Bursera microphylla*, BURODO = *Bursera odorata*, CARARI = *Carlownrightia arizonica*, CHLMAN = *Chloroleucon manguéense*, COLGLA = *Colubrina glabra*, COUGLA = *Coursetia glandulosa*, CROCAB = *Croton caboensis*, CYREDU = *Cyrtocarpa edulis*, ERYFLA = *Eritryna flabelliformis*, EUPXAN = *Euphorbia xantii*, EXOBRA = *Exogonum bracteatum*, GOCARB = *Gochnatia arborescens*, GOUROS = *Gouania rosei*, INDFRU = *Indigofera fruticosa*, JATCIN = *Jatropha cinerea*, JATVER = *Jatropha vernicosa*, KARHUM = *Karwinskia humboldtiana*, LYSCAN = *Lysiloma candida*, LYSDIV = *Lysiloma divaricatum*, MIMXAN = *Mimosa xantii*, PLUACU = *Plumeria acutifolia*, RUELEU = *Ruellia leucantha*, SCHCUN = *Schaefferia cuneifolia*, SENATO = *Senna atomaria*, STETHU = *Stenocereus thurberi*, TECSTA = *Tecoma stans*, VIGTOM = *Viguiera tomentosa*.

### 4.3.3. Clasificación de una imagen LANDSAT TM

#### 4.3.3.1 Creación de imagen de falso color

En el cuadro 4.3 se muestran los resultados del análisis de varianza/covarianza de las seis bandas que componen la imagen original. De estos resultados se aprecia que existe una alta correlación entre las bandas TM1, TM2 y TM3; las bandas TM5 y TM7 también presentan altos valores de correlación, en tanto que la banda TM4 es la que muestra menores valores de correlación con el resto de las bandas.

CUADRO 4.3. MATRIZ DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LAS BANDAS TM.

<b>Bandas</b>	<b>TM1</b>	<b>TM2</b>	<b>TM3</b>	<b>TM4</b>	<b>TM5</b>	<b>TM7</b>
<b>TM1</b>	1	0.9692	0.9576	0.2666	0.7257	0.8579
<b>TM2</b>		1	0.9807	0.4104	0.8253	0.9123
<b>TM3</b>			1	0.3298	0.8191	0.9284
<b>TM4</b>				1	0.6797	0.453
<b>TM5</b>					1	0.9384
<b>TM7</b>						1

<b>COMPONENT</b>	<b>C 1</b>	<b>C 2</b>	<b>C 3</b>	<b>C 4</b>	<b>C 5</b>	<b>C 6</b>
<b>% var.</b>	79.13	17	3.3	0.26	0.26	0.05
<b>eigenval.</b>	1010.4	217.02	42.09	3.38	3.35	0.68
<b>TM1</b>	0.7932	0.4909	0.3371	-0.0161	-0.1191	-0.0167
<b>TM2</b>	0.8833	0.3652	0.2735	-0.0197	0.039	0.0978
<b>TM3</b>	0.8679	0.4433	0.19	-0.029	0.1145	-0.0294
<b>TM4</b>	0.7038	-0.694	0.1495	0.016	0.0047	-0.0026
<b>TM5</b>	0.9868	-0.0143	-0.1571	-0.0332	-0.0106	0.0008
<b>TM7</b>	0.9448	0.292	-0.091	0.1256	0.0022	-0.0001

El primer componente principal explica 79.13% de la varianza, en donde las bandas TM5 y TM7 (infrarrojo medio) son las variables que presentan los más altos valores. De estos resultados se puede concluir que a pesar de que la imagen analizada corresponde a la época de lluvias, en la zona de estudio existe una importante participación de biomasa seca y suelos descubiertos, ya que las bandas del infrarrojo medio están inversamente relacionadas con la humedad (Ripple, 1986; Hunt y Rock, 1989; Cohen, 1991) y pueden ser indicadoras de sequía, suelos desnudos y hojarasca (Rey-Benayas y Pope, 1995).

Con base en esta información, así como con las técnicas más recomendadas de creación de imágenes de falso color, se decidió formar un compuesto RGB con las bandas TM4, TM5 y TM3 respectivamente, lo que permitió obtener una imagen que contuviera una alta varianza, así como una buena representatividad del conjunto de bandas. Sobre el compuesto de falso

color se eligieron campos de entrenamiento para generar posteriormente las firmas espectrales.

#### 4.3.3.2 Patrones espectrales.

Con base en los datos obtenidos en campo sobre cobertura vegetal en los 22 sitios de entrenamiento, las fotografías aéreas y las características espectrales de la imagen satelital, se seleccionaron 34 firmas espectrales, las cuales fueron agrupadas de acuerdo con su patrón como se muestra en la figura 4.2.a-i.

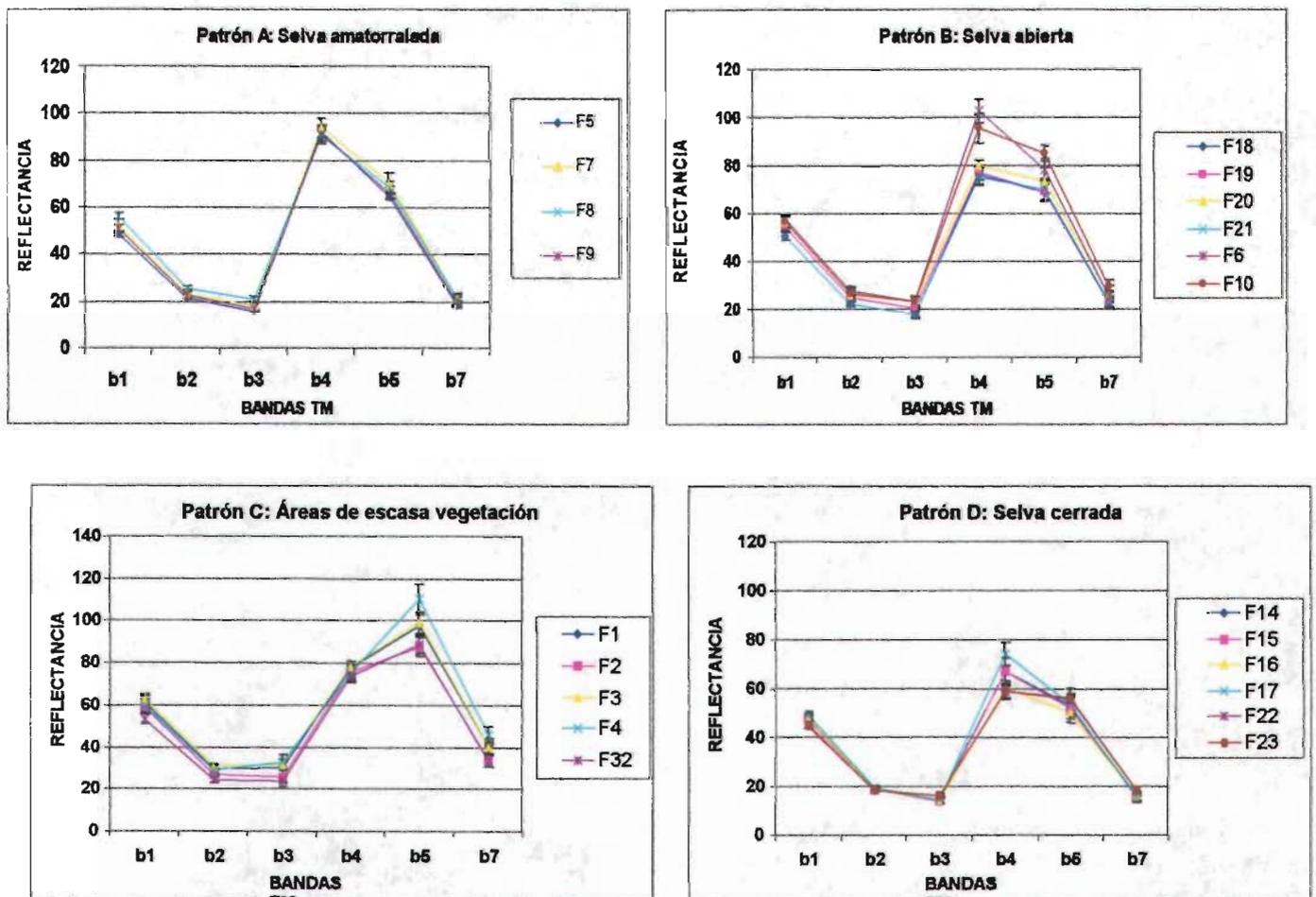
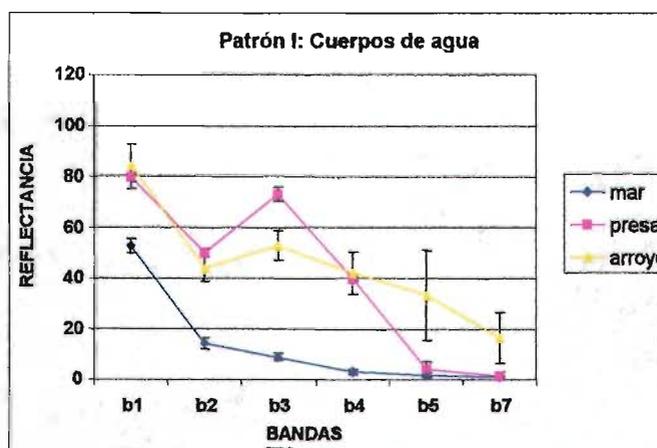
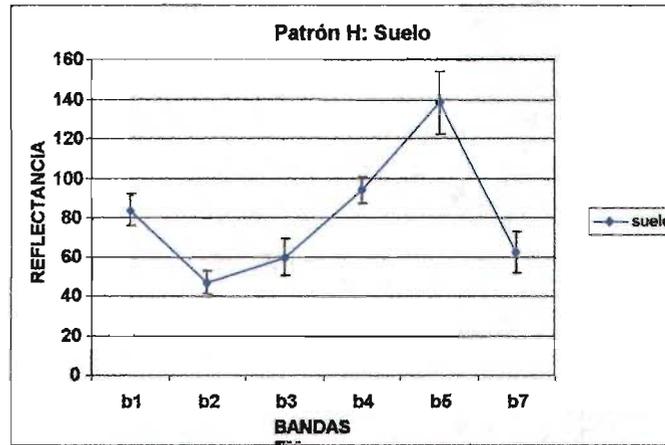
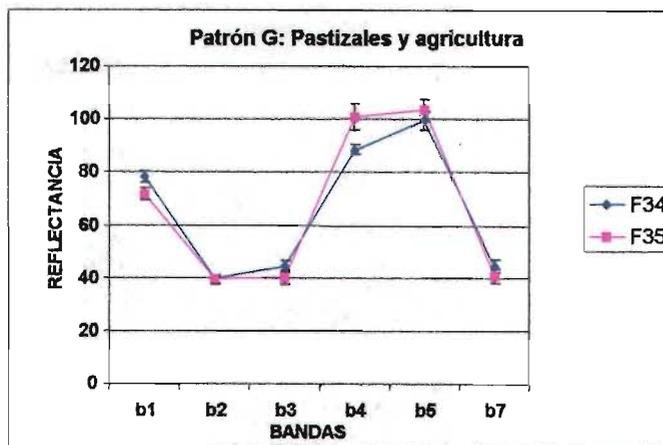
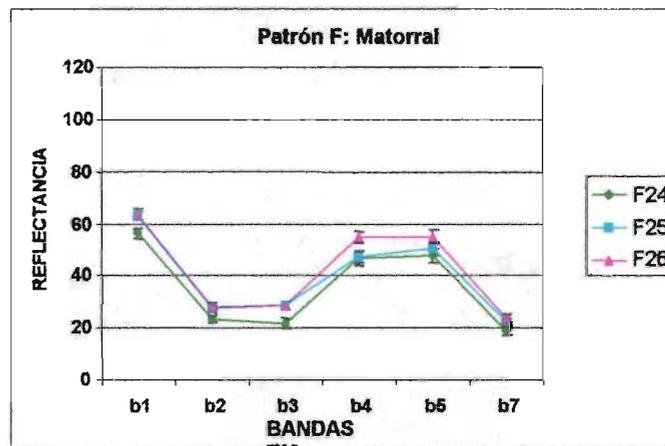
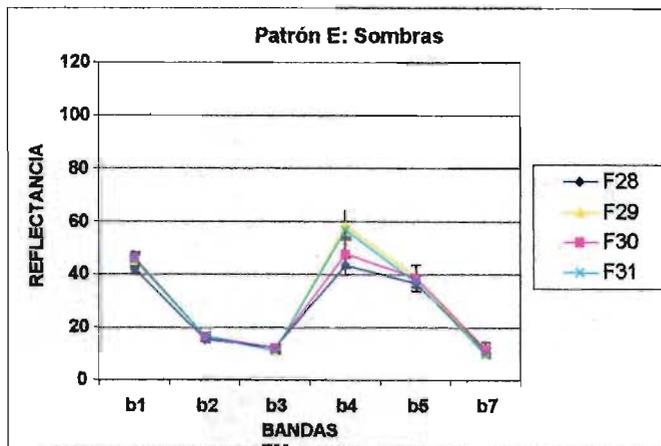


FIGURA 4.2. PATRONES ESPECTRALES



CONT. FIGURA 4.2. PATRONES ESPECTRALES

Con el objeto de definir con mayor certeza los grupos espectrales, se aplicó la prueba de separabilidad entre firmas y un análisis de conglomerados. En el anexo 4.3 se presentan los resultados de la prueba de separabilidad y se señalan las firmas más cercanas. En la figura 4.3 se presenta el dendrograma de las firmas espectrales. Analizando los resultados se distinguen siete grupos definidos y varias firmas independientes (Cuadro 4.4).

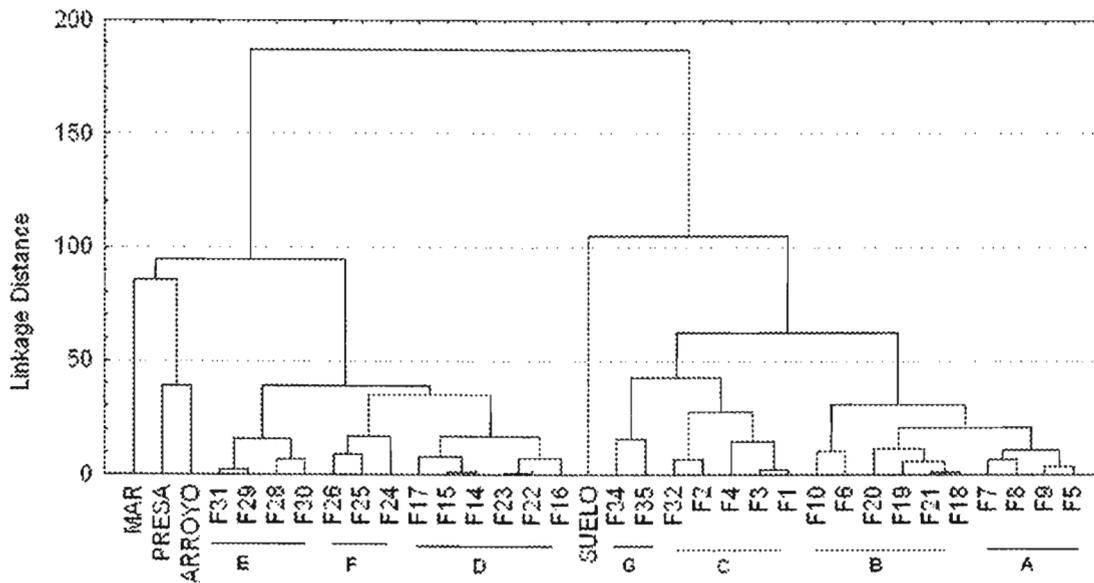


FIGURA 4.3. DENDROGRAMA DE 34 FIRMAS ESPECTRALES (MÉTODO DE UNIÓN COMPLETA).

CUADRO 4.4. PATRONES ESPECTRALES Y UNIDADES DE VEGETACIÓN

PATRÓN	FIRMAS ESPECTRALES	UNIDAD DE VEGETACIÓN	CARACTERÍSTICAS
A	F5, F7, F8, F9	Selva amatorralada	Típica firma de vegetación vigorosa.
B	F6, F10, F18, F19, F20, F21	Selva abierta	Vegetación abierta
C	F1, F2, F3, F4, F32	Áreas de escasa vegetación	Firmas con bajos valores del infrarrojo cercano en relación con el infrarrojo medio

Cont. Cuadro 4.4

PATRÓN	FIRMAS ESPECTRALES	UNIDAD DE VEGETACIÓN	CARACTERÍSTICAS
D	F14, F15, F16, F17, F22, F23	Selva cerrada y pinar	Bajos valores del infrarrojo cercano.
E	F28, f29, f30, f31	Sombras	Bajos valores para todas las bandas
F	F24, F25, F26	Matorral	Bajos valores para todas las bandas y sin diferencias entre el infrarrojo cercano y medio
G	F34, F35	Pastizales	Altos valores para el infrarrojo cercano y medio, sin diferencias entre estas bandas
H		Suelo	Muy altos valores en el infrarrojo cercano
I		Cuerpos de agua	Poca reflectividad para todas las bandas

El primer grupo (Figura 4.2, Patrón A) presenta una firma típica de vegetación vigorosa y corresponde con los sitios de selva amatorialada, caracterizada por bajos valores de reflectividad en las bandas visibles y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano (TM4) reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio (TM5 y TM7). La diferencia en el porcentaje de reflectividad entre el espectro visible, particularmente la banda roja (TM3) y el infrarrojo cercano (TM4), es un indicador de vegetación vigorosa (Chuvieco, 1996). El siguiente grupo (Figura 4.2, Patrón B) presenta también un patrón típico de vegetación ya que tiene un alto contraste entre los valores de reflectividad de las bandas TM3 y TM4; sin embargo, la reducción hacia los valores del infrarrojo medio (TM5 y TM7) es menos contrastante, lo que sugiere sitios de coberturas abiertas y corresponde con los sitios clasificados como selva abierta. Dado que las firmas F6 y F10 muestran valores de separabilidad (Anexo 4.3) cercanas a este grupo y presentan la misma tendencia del patrón espectral, quedaron incluidas en esta categoría.

El tercer grupo (Figura 4.2, Patrón C) presenta un patrón típico de suelos, en el que la banda del infrarrojo medio (TM5) presenta los valores más altos. Cabe señalar que en este grupo quedaron incluidos los sitios de entrenamiento del

encinar, por lo que se puede concluir que el bosque de encino de la Sierra de la Laguna muestra una cobertura muy abierta con gran porcentaje de suelo expuesto. El cuarto grupo (Figura 4.2, Patrón D) contiene sitios de entrenamiento de selva cerrada y del bosque de pino. Su patrón espectral muestra también un alto contraste entre las bandas TM3 y TM4; sin embargo, los valores de la banda TM5 presenta valores menores que los grupos anteriores, por lo que pudiera tratarse de sitios con una mayor humedad relativa.

Las firmas que forman el quinto grupo (Figura 4.2, Patrón E) corresponden a sitios sombreados tanto del bosque de pino como de la selva y tienen, comparativamente con las otras unidades, valores más bajos para todo el espectro electromagnético. De igual forma, el sexto grupo (Figura 4.2, Patrón F) muestra un patrón espectral de bajos valores para todas las bandas. Los sitios de entrenamiento de estas firmas se encuentran en áreas de sustrato muy oscuro perteneciente al matorral xerófilo. El patrón G corresponde a sitios muy abiertos en donde predominan pastizales o zonas agrícolas. La firma del suelo (Patrón H) corresponde a sitios de suelo descubierto; el patrón espectral del suelo depende de varios factores como su textura, estructura, minerales, materia orgánica y contenido de agua, por lo que es difícil generalizar sobre un sólo tipo. En el caso de estudio, la firma de suelo presenta valores más altos en las bandas del espectro visible que los que corresponden a la vegetación y altos valores de la banda TM5.

Finalmente se obtuvieron también firmas espectrales correspondientes a cuerpos de agua como mar, presa y arroyos (Figura 4.2, Patrón I); la curva correspondiente al mar es el patrón típico de cuerpos de agua que tiende a absorber la mayor parte de la radiación visible, siendo mayor cuanto mayor sea la longitud de onda. Por su parte, el agua de la presa muestra un comportamiento distinto, dada la gran cantidad de elementos orgánicos y sedimentos que se encuentran en ella; la firma correspondiente a los arroyos presenta una gran heterogeneidad debido a la presencia de suelos arenosos y de gran contenido de humedad y de superficies acuosas laminares.

#### 4.3.4. Mapa de vegetación de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna

Con base en los patrones espectrales, el análisis de separabilidad entre firmas, el análisis de clasificación de firmas espectrales, la información proveniente del muestreo de campo y las fotografías aéreas, se definieron las siguientes clases:

- Áreas de escasa vegetación (AEV)
- Selva amatorialada de *Jatropha cinerea*-*Tecoma stans* (SAM)
- Selva cerrada de *Lysiloma divaricatum* (SC)
- Selva abierta (SA)
- Pinar (P)
- Sombras
- Encinar (E)
- Matorral (M)
- Selva perturbada (SP)
- Zonas agrícolas y pastizales (ZA-P)
- Cuerpos de agua (A)
- Suelos descubierto (SD)

Se obtuvo una primera clasificación de la imagen; sin embargo, y con el objeto de obtener una mejor clasificación de ella y discriminar mejor entre unidades de vegetación distintas que presentaran el mismo patrón espectral, se procedió a: 1) con base en el mapa de altimetría distinguir entre los sitios de selva cerrada y bosque de pino, y 2) discriminar entre los sitios cubiertos por vegetación y los que mostraran una cubierta abierta. Para identificar las zonas con cobertura abierta se utilizó el mapa del cociente entre las bandas TM5 y TM4, los resultados se muestran en la figura 4.4.

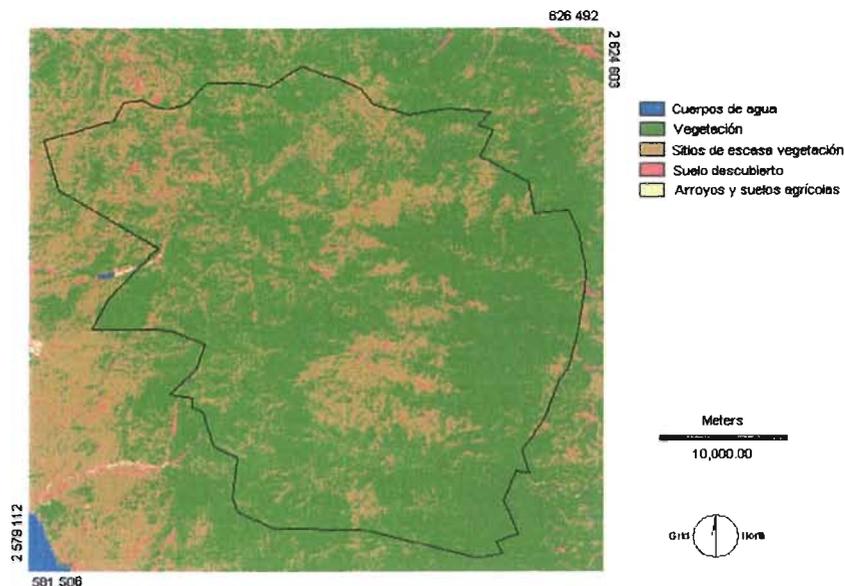


FIGURA 4.4. SUELO-VEGETACIÓN DE LA "RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA LA LAGUNA"

De la sobreposición de la cobertura de vegetación con todas las firmas espectrales y la figura 4.4, se obtuvo que las firmas correspondientes al encinar mostraban altos valores del índice  $TM5/TM4$ , lo que indica que el encinar de esta zona presenta una cubierta vegetal muy abierta y la firma espectral dominante es la de suelos, por lo que los valores de separabilidad entre las firmas correspondientes a suelo descubierto y encinar es muy baja. Asimismo, la firma espectral correspondiente a selva perturbada presentó altos valores del índice de suelo, por lo que estas áreas fueron reclasificadas como sitios de escasa cobertura vegetal.

Para discernir entre clases confusas se superpusieron las capas o mapas de vegetación, el cociente  $TM5/TM4$  y la altimetría, y se procedió a reclasificar la imagen de vegetación, considerando las siguientes reglas: 1) los píxeles catalogados como encinares por debajo de la cota de los 1000 m, fueron reclasificados como áreas de escasa cobertura, 2) los píxeles clasificados como selva abierta que presentan un índice de suelo  $TM5/TM4$  muy grande fueron reclasificados como áreas de escasa vegetación, 3) los píxeles clasificados como selva perturbada fueron reclasificados como áreas de escasa vegetación, y 4) los

pixeles clasificados como bosque de pino por debajo de la cota altitudinal de 1400 fueron reclasificados como selva cerrada. Efectuada la reclasificación se aplicó un proceso de filtraje de  $5 \times 5$  pixeles con lo que se obtuvo el mapa de vegetación para toda la reserva de la Biosfera Sierra la Laguna (Figura 4.5).

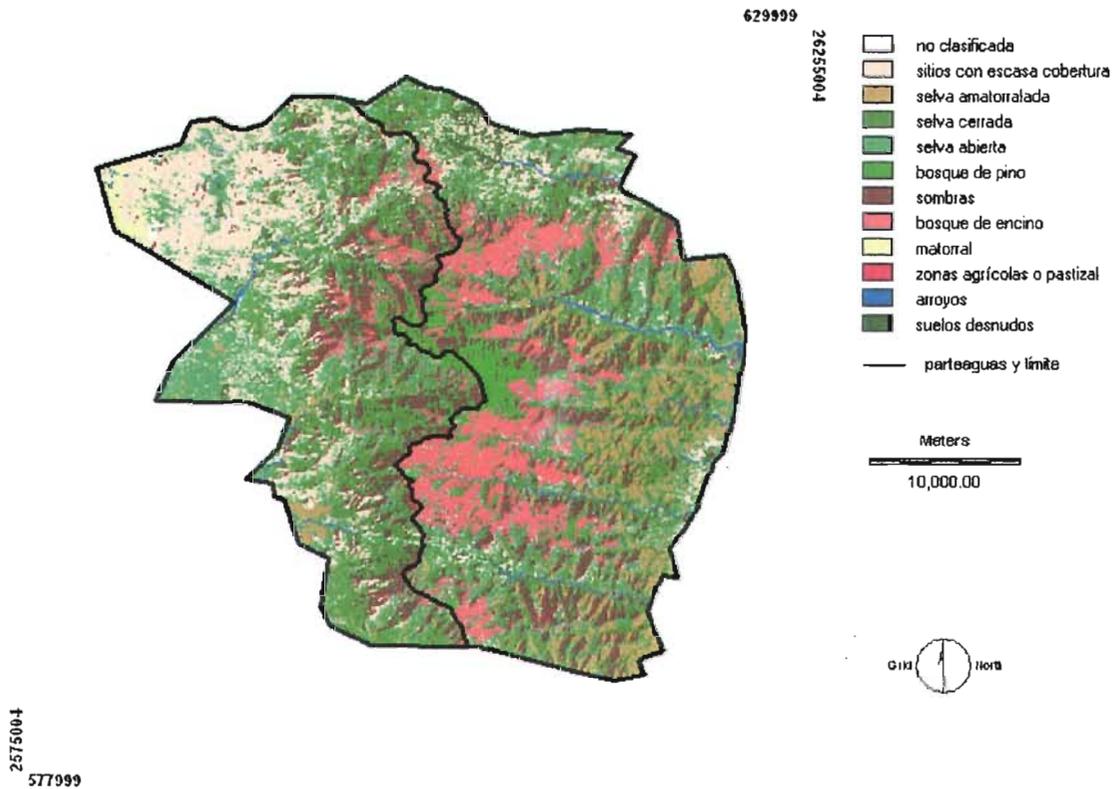


FIGURA 4.5. MAPA DE VEGETACIÓN DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA LA LAGUNA

#### 4.3.5. Verificación de las unidades de la selva

En la figura 4.6 se muestra la ubicación de los 53 puntos de verificación, y en el cuadro 4.5 se muestran los resultados de la matriz de confusión entre clases de la selva baja caducifolia.

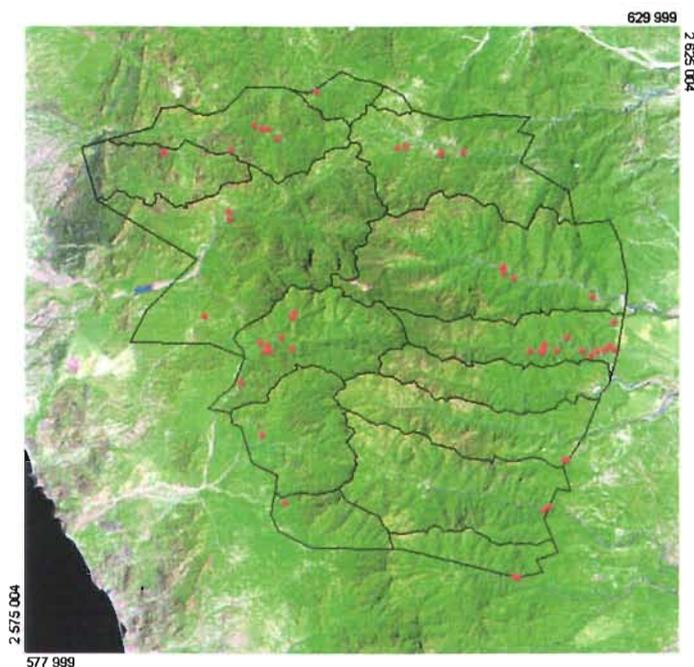


FIGURA 4.6. LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE VERIFICACIÓN.

CUADRO 4.5. MATRIZ DE CONFUSIÓN ENTRE CLASES.

Clase	AEV	SAM	SC	SA	TOTAL	EU (%)	EO (%)
AEV	8			3	11	73	27
SAM		13	2	1	16	81	19
SC			13		13	100	0
SA	2	1		10	13	77	23
TOTAL	10	14	15	14	53		
EP (%)	80	93	87	71			
EC (%)	20	7	13	29			

**Fiabilidad (F) = 83**

AEV= áreas de escasa vegetación, SAM= selva amatorialada, SC= selva cerrada, SA= selva abierta, EU= Error del Usuario, EO= Error de Omisión, EP= Error del Productor, EC= Error de Comisión, F= Fiabilidad Global

De esta tabla se obtuvo la medida de fiabilidad global (F), dando como resultado, con un 95% de probabilidad, una fiabilidad real de  $83.02 \pm 10.2$ , por lo que se acepta de manera global esta clasificación para las unidades de la selva. En un análisis más detallado por clase se obtuvo una alta precisión relativa para las unidades correspondientes a selva cerrada y selva amatorialada, en tanto que la clase de selva abierta mostró menor precisión dado que se trata de sitios con

una cobertura vegetal abierta y tiende a confundirse con áreas de escasa vegetación. Sin embargo, se mantuvo como clase independiente dado que su patrón espectral difiere del de los sitios de escasa cobertura.

#### 4.3.6 Análisis espacial.

De la sobreposición de los mapas se obtuvo el área de cada unidad de la selva (cuadro 4.6). La selva baja caducifolia representa 68% del total del área de la reserva, siendo la selva cerrada y la selva abierta las unidades con mayor superficie. De este cuadro destaca la gran superficie correspondiente a áreas de escasa vegetación, ya que esta categoría, la cual se define como vegetación con menos de 100% de cubierta vegetal, ocupa más de 16% del área total de la reserva. Si además consideramos la superficie catalogada como suelo descubierto que corresponde aproximadamente a 2% del área de la reserva, podemos advertir un problema importante de riesgo de erosión dentro de esta área natural protegida.

CUADRO 4.6. SUPERFICIE POR UNIDAD DE VEGETACIÓN.

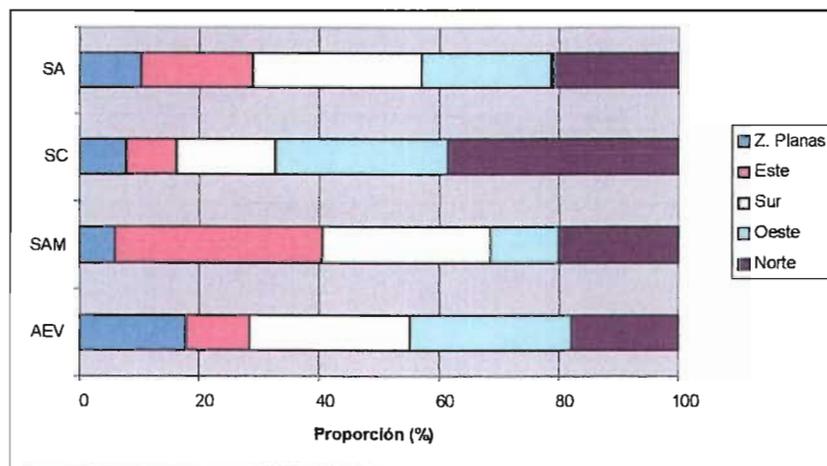
Unidad de Vegetación	Área (ha)	Proporción (%)
Áreas con Escasa Vegetación (AEV)	18551	16.50
Selva Amatorralada de <i>J. cinerea-T. stans</i> (SAM)	9975	8.87
Selva Cerrada de <i>L. divaricatum</i> (SC)	23980	21.33
Selva Abierta (SA)	23906	21.27
Otras unidades	35990	32.02
TOTAL	112402	100.00

En el cuadro 4.7 se muestra el porcentaje de cada unidad de vegetación en las dos vertientes. La vertiente del Golfo de California tiene una superficie mayor (63, 515 ha) que la vertiente del Pacífico (48,887 ha). Respecto a la superficie que ocupan las diferentes unidades en ambas vertientes, se aprecia que la selva amatorralada (SAM) se distribuyen principalmente en la vertiente del Golfo; en tanto que la vertiente del Pacífico concentra las áreas de escasa vegetación.

CUADRO 4.7. PROPORCIÓN DE LAS UNIDADES CLASIFICADAS SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN POR VERTIENTE

Unidad de Vegetación	Golfo (%)	Pacífico (%)
Áreas con Escasa Vegetación (AEV)	27	73
Selva Amatorralada de <i>J. cinerea</i> - <i>T. stans</i> (SAM)	85	15
Selva Cerrada de <i>L. divaricatum</i> (SC)	55	45
Selva Abierta (SA)	52	48

En la figura 4.7 se muestra la distribución de la vegetación en las distintas exposiciones. Se puede apreciar que las áreas de escasa vegetación se distribuyen principalmente en las laderas con orientaciones oeste y sur. La selva abierta presenta la mayor proporción en laderas de exposición al sur; en tanto que la selva cerrada se desarrolla preferentemente en laderas más húmedas con exposición norteña. La selva amatorralada tiene una mayor proporción de su superficie en sitios de orientación al este.



AEV= áreas de escasa vegetación, SAM= selva amatorralada, SC= selva cerrada, SA= selva abierta,

FIGURA 4.7. PORCENTAJE DE LAS UNIDADES DE LA SELVA EN LAS DIFERENTES ORIENTACIONES.

En el cuadro 4.8 se muestra la proporción de cada unidad de vegetación con relación a la pendiente. Las áreas de escasa vegetación y la selva abierta se desarrollan principalmente en sitios de poca pendiente, en tanto que la selva cerrada y la selva amatorralada se distribuyen en un amplio intervalo de pendientes.

CUADRO 4.8. PORCENTAJE DE LAS UNIDADES DE VEGETACIÓN EN LAS DIFERENTES PENDIENTES.

UNIDAD DE LA SELVA	PENDIENTE				
	0°-10°	10°-20°	20°-30°	30°-40°	> 40°
Áreas con escasa vegetación (AEV)	61	22	11	5	1
Selva amatorralada (SAM)	28	23	25	20	3
Selva cerrada (SC)	26	31	25	16	3
Selva abierta (SA)	46	22	17	12	2

En la figura 4.8 se muestra el área cubierta por cada unidad de vegetación a lo largo del gradiente altitudinal. La selva abierta presenta una importante proporción de su área de distribución en altitudes bajas y medias (400-600 m); la selva amatorralada comprende un amplio intervalo de distribución altitudinal, siendo más pronunciada entre 600 y 800 m, en tanto que la selva cerrada es la unidad de vegetación que ocupa una mayor proporción en altitudes medias y altas (800 a 1000 m).

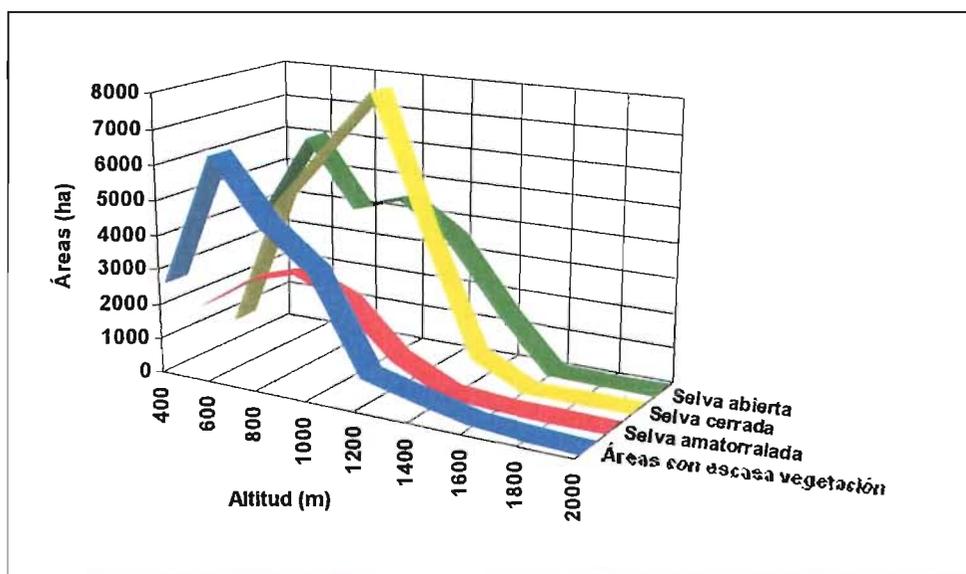


FIGURA 4.8. DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN A LO LARGO DEL GRADIENTE ALTITUDINAL.

Considerando un radio de un kilómetro como área de influencia de los asentamientos humanos en la zona (Figura. 4.9), se obtuvo que aproximadamente

16% del área de la reserva se encuentra bajo la influencia de las 143 rancherías y el caserío de San Jorge (Cuadro 4.9). Las unidades que contienen mayor área dentro del radio de acción de las rancherías son áreas de escasa vegetación y selva abierta.

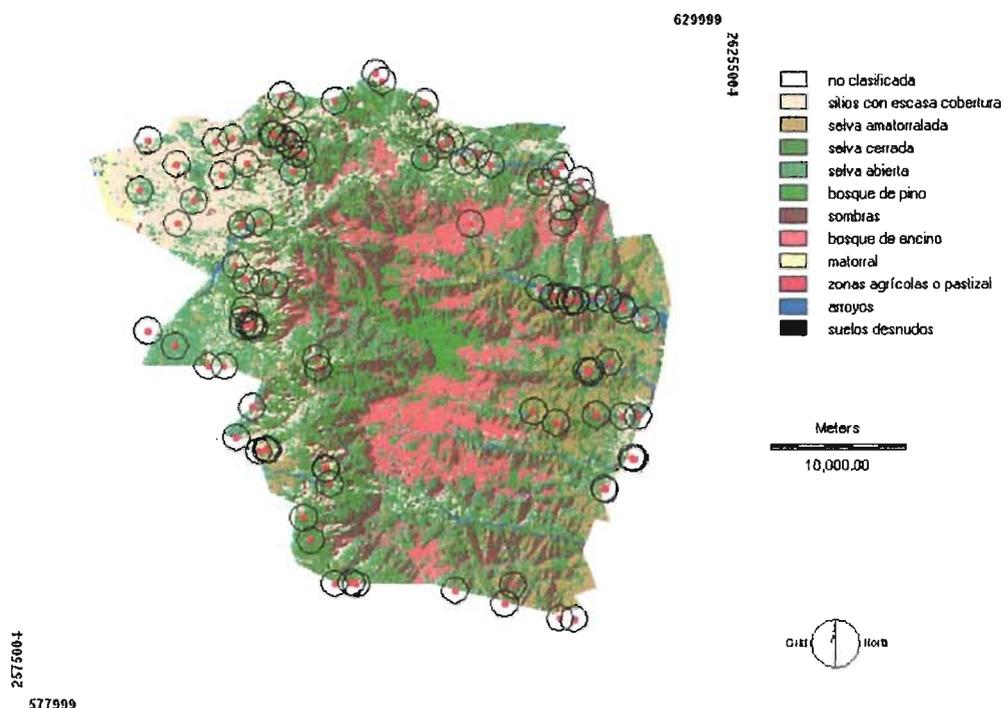


FIGURA 4.9. INFLUENCIA DE UN KILÓMETRO DE RADIO DE LAS RANCHERÍAS SOBRE LA VEGETACIÓN.

CUADRO 4.9. EFECTO DE LAS RANCHERÍAS EN LA VEGETACIÓN.

Unidad de Vegetación	Área (ha)	Área (%)
Áreas con escasa vegetación	5113	28
Selva amatorialada	1511	8
Selva cerrada	3826	21
Selva abierta	4856	27
Suelo	767	4
Otros tipos de vegetación	1952	11
<b>TOTAL</b>	<b>18025</b>	<b>100</b>

Finalmente, y con el objeto de identificar las condiciones de aridez en que se desarrollan las diferentes unidades de la selva se superpusieron las coberturas de

Índice de Aridez y Vegetación. Los resultados se muestran en el cuadro 4.10. Las zonas de escasa cobertura vegetal se desarrollan principalmente en las regiones de mayor aridez, en tanto que las otras unidades de la selva se encuentran principalmente en áreas con índices de aridez entre 10 y 15.

CUADRO 4.10. PROPORCIÓN DEL ÁREA DE LAS UNIDADES DE VEGETACIÓN CON RELACIÓN AL ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE.

Unidad de Vegetación (%)	Índice de Aridez		
	5 a 10	10 a 15	15 a 20
Áreas con escasa vegetación	50	40	10
Selva Amatorralada	2	80	18
Selva Cerrada	10	62	28
Selva Abierta	19	60	21

De la sobreposición del mapa de vegetación con las diferentes capas se puede concluir que existen diferencias importantes entre las vertientes de la Sierra de la Laguna. Siendo la selva amatorralada la unidad que mejor caracteriza a la vertiente del Golfo de California, en tanto que en la zona norte de la vertiente del Pacífico se concentran las áreas de escasa vegetación, las cuales están también asociadas a una mayor incidencia de ranchos, a regiones de poca pendiente y de mayor aridez (Figura. 4.10). Con respecto a la distribución de la vegetación en función de la orientación, pendiente y altitud; los resultados muestran que las áreas de escasa vegetación y la selva abierta se desarrollan preferentemente en sitios de exposición sur y oeste, con pendientes suaves ( $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ ) y altitudes entre 400 y 600 m, también ambas unidades se encuentran fuertemente relacionadas con la presencia de rancherías, ya que más del 25% de su área se encuentra bajo la influencia de las actividades de los rancheros. La diferencia entre estas unidades se presenta en el Índice de Aridez, ya que las áreas de escasa vegetación se localizan preferentemente en sitios más áridos que la selva abierta. La selva amatorralada ocupa principalmente sitios con orientaciones hacia el oriente y entre 600 y 800 m de altitud. La mayor superficie de selva cerrada se desarrolla en sitios con un índice de Aridez de 10-15, al igual que las otras

unidades de la selva; sin embargo, la localización de esta vegetación es preferentemente en laderas de exposición norte y en altitudes entre 800 y 1000 m, tanto en la vertiente del Golfo de California como del Océano Pacífico.

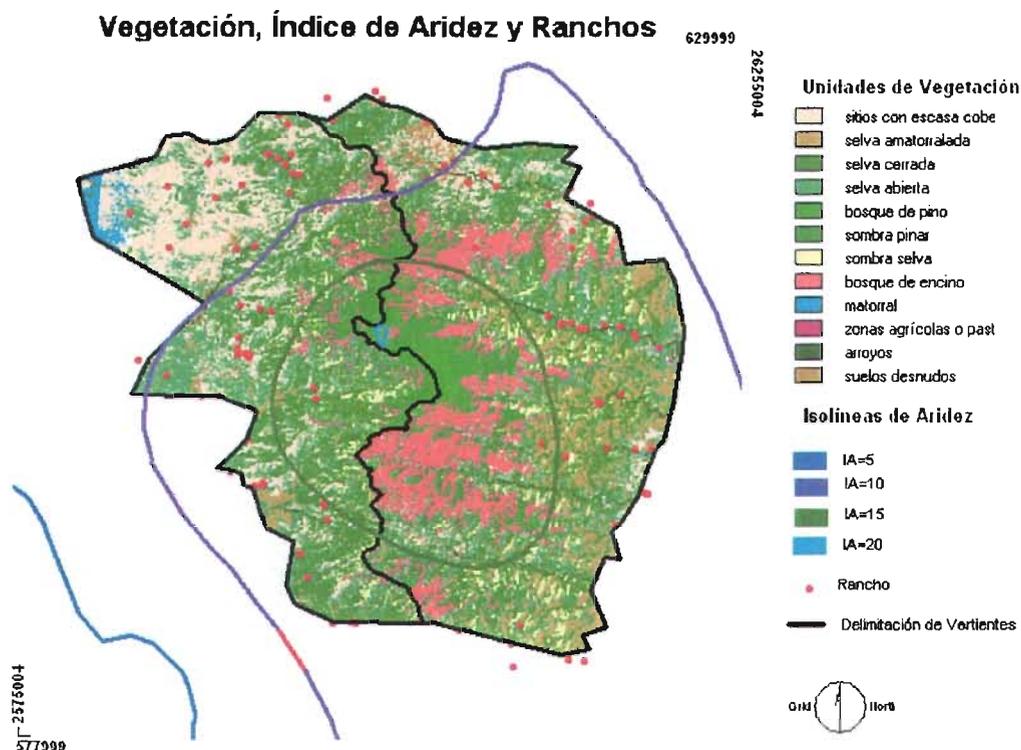


FIGURA 4.10. UNIDADES DE VEGETACIÓN, ÍNDICES DE ARIDEZ Y RANCHOS

#### 4.3.7. Vegetación en escalas locales

De los 53 puntos de verificación, once corresponden a la unidad de áreas de escasa vegetación (AEV), trece sitios a selva cerrada (SC), trece a selva abierta (SA), y dieciséis corresponden a selva amatorialada (SAM). En el anexo 4.4 se muestran las características de cada sitio.

#### 4.3.7.1. Composición florística

De los sitios de verificación se obtuvo un total de 116 especies que pertenecen a 93 géneros y 40 familias (Anexo 4.5). Sólo cinco especies *Antigonon leptopus*, *Jatropha cinerea*, *J. vernicosa*, *Lysiloma divaricatum* y *Tecoma stans*, se distribuyen en más de 50% de los muestreos, en tanto que 82% de las especies se localizan en menos de 10 sitios, lo que indica una gran heterogeneidad florística de esta comunidad. Con respecto a la riqueza promedio por unidad de vegetación, fue la selva cerrada la que presentó mayor número de especies (84) y las áreas de escasa vegetación la unidad con menor número de especies (54), en tanto que la selva abierta y la selva amatorralada presentaron 63 y 61 especies, respectivamente. No se encontraron especies características a cada unidad de la selva, ya que las especies que sólo se presentan en una unidad tienen frecuencias muy bajas, por lo que no se puede afirmar que existan conjuntos taxonómicos característicos a cada unidad de vegetación. Sin embargo destacan algunas especies como *Chloroleucon mangense*, *Pachycereus pecten-aboriginum* y *Senna atomaria* ya que tienen una alta frecuencia en todas las unidades de la selva, con excepción de las áreas de escasa cobertura en donde no están representadas. Es posible que la ausencia de *Senna atomaria* y *Chloroleucon mangense* en estos sitios se deba a la extracción de estas especies por su alto valor maderable.

En la figura. 4.11 se muestran los resultados de la clasificación de los sitios. En el nivel más amplio de aglomeración, con una distancia de 6, se observan dos grandes grupos: uno con 28 sitios y el segundo con 25 sitios. El primer grupo contiene a la mayoría de los sitios de la vertiente del Pacífico, en tanto que el segundo se caracteriza por contener a la mayoría de los sitios de la vertiente del Golfo de California (ver anexo 4.4). Con una menor distancia de unión, del orden de 4.5, se distinguen 15 subdivisiones.

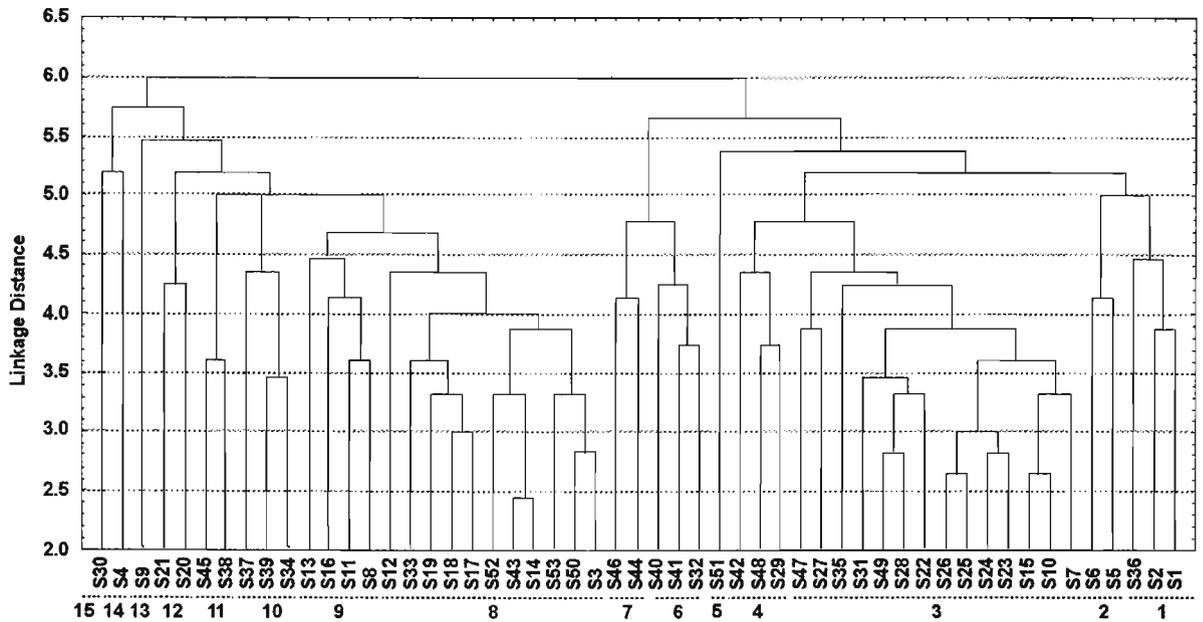


FIGURA 4.11. DENDROGRAMA DE SITIOS EN FUNCIÓN DE PRESENCIA O AUSENCIA DE ESPECIES

Los dos primeros grupos están formados principalmente por sitios de la vertiente del Golfo de California de altitudes por arriba de 800 m. El grupo 3 contiene 14 sitios de ambas vertientes; sin embargo, dentro del grupo la cercanía entre ellos presenta también una agregación por vertientes, así los sitios 15,10 y 7 se localizan en la vertiente del Golfo, en tanto que los sitios 23, 24, 25 y 26 corresponden todos a localidades del Pacífico con altitudes intermedias; los otros dos subgrupos contienen principalmente sitios del Pacífico. Los grupos 4 y 6 están formados principalmente por sitios de altitudes intermedias del Pacífico, en tanto que los grupos 7, 8, 9, y 12 corresponden a sitios de altitudes bajas y medias de la vertiente del Golfo de California. Estos resultados sugieren una composición florística de esta comunidad determinada por la vertiente y el gradiente altitudinal.

#### 4.3.7.2. Abundancia y Cobertura

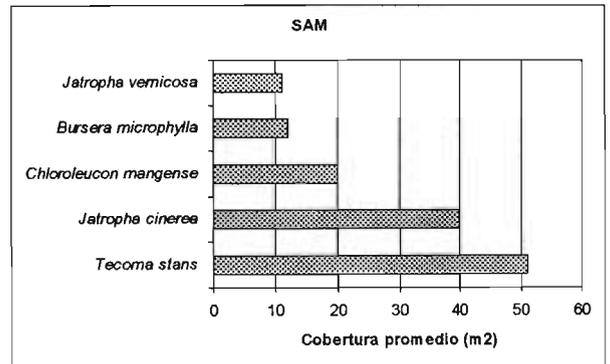
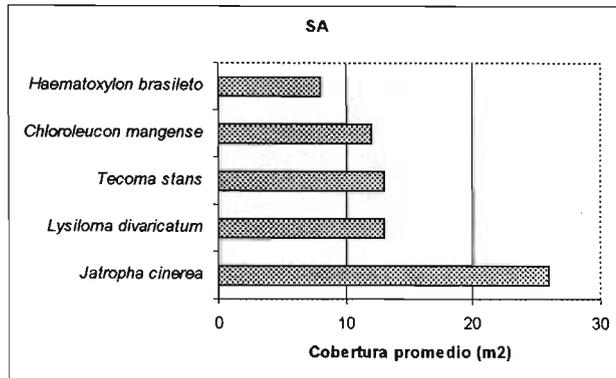
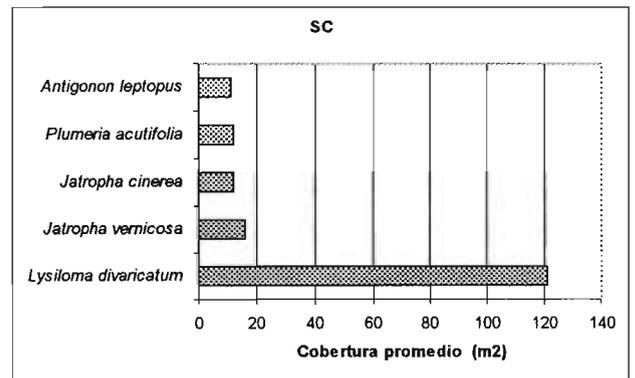
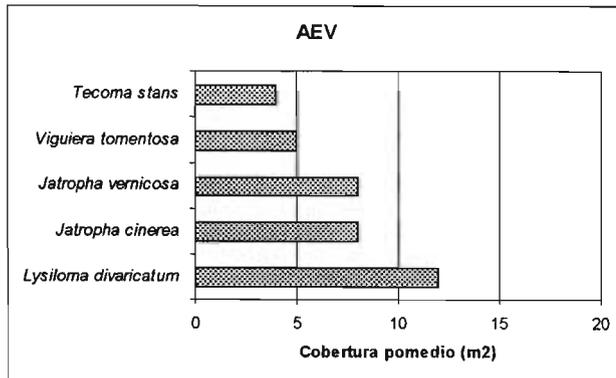
La densidad y la cobertura promedio de cada unidad de selva se muestra en el cuadro 4.10.

CUADRO 4.10. DENSIDAD Y COBERTURA PROMEDIO POR UNIDAD DE VEGETACIÓN.

	AEV	SC	SA	SAM
Densidad (No. de ind./100 m <sup>2</sup> )	55	65	57	61
Cobertura (m <sup>2</sup> )	64	321	140	251

AEV= áreas de escasa vegetación, SC= selva cerrada, SA= selva abierta, SAM= selva amatorralada.

La diferencia más importante entre las unidades se debe a la cobertura vegetal. En la figura 4.12 se muestra la las especies con la cobertura promedio más grande por unidad de vegetación.



AEV= áreas de escasa vegetación, SC= selva cerrada, SA= selva abierta, SAM= selva amatorralada

FIGURA 4.12 ESPECIES DE MAYOR COBERTURA PROMEDIO POR UNIDAD DE VEGETACIÓN.

De esta figura se obtiene que para las áreas de escasa vegetación la especie más importantes es *Lysiloma divaricatum*, la cual aparece también como especie relevante para la selva cerrada y la selva abierta; sin embargo, esta especie es notoriamente importante para la selva cerrada haciendo de ella el elemento característico de esta unidad. *Jatropha vernicosa* y *Plumeria rubra* var *acutifolia* presentan su mayor cobertura en la selva cerrada; esta última aparece como exclusiva a esta unidad de vegetación. Para la selva abierta, las especies de mayor cobertura son *Jatropha cinerea*, *L. divaricatum* y *Tecoma stans*, las cuales se comparten también con otras unidades de vegetación; sin embargo, *Haematoxylon brasiletto* y *Fouquieria diguetii* tienen su mejor representación en la selva abierta. En la selva amatorialada, *Tecoma stans*, *Jatropha cinerea*, *Chloroleucon manguense* y *Bursera microphylla* no sólo son las especies de mayor relevancia en esta unidad, sino que también tienen su mejor desarrollo en la selva amatorialada, como sucede también con *Karwinskia humboldtiana*, *Cyrtocarpa edulis*, *Senna atomaria* y *Albizia occidentalis*.

#### 4.3.7.3. Participación de especies áridas y tropicales

En el cuadro 4.11 se presenta el número de especies de afinidad árida y tropical, así como las endémicas de la península por cada unidad.

CUADRO 4.11 NÚMERO DE ESPECIES DE AFINIDAD ÁRIDA, TROPICAL Y ENDÉMICAS EN LAS UNIDADES DE VEGETACIÓN.

UNIDAD	ÁRIDAS	TROPICALES	ENDÉMICAS
AEV	15	10	17
SC	15	19	25
SA	15	17	21
SAM	18	15	15
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>31</b>

AEV= áreas de escasa vegetación, SC= selva cerrada, SA= selva abierta, SAM= selva amatorialada.

Los resultados de este análisis muestran nuevamente la importancia de la participación de las especies de afinidad árida en la estructura de esta comunidad, que en comparación con otras selvas secas de México y el mundo se caracteriza por desarrollarse bajo condiciones climáticas extremas. Destaca también el alto número de especies endémicas en la composición florística de todas las unidades de la selva, particularmente para la selva cerrada, en donde además de presentar un gran número de especies endémicas a la Península, en esta unidad se localizan 12 de las 13 especies con distribución restringida a la Región del Cabo, por lo que esta unidad puede ser considerada de alto valor para la conservación de especies endémicas de la Región del Cabo.

En el cuadro 4.12a se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , de donde se puede afirmar, con 99% de confianza, que la abundancia de las especies según su afinidad ambiental no son independientes de las unidades de vegetación. Los resultados del análisis de residuos estandarizados (cuadro 4.12b) muestran que en la selva cerrada hay comparativamente menor abundancia de especies áridas, en tanto que en la selva abierta predominan los individuos de afinidad árida. Con respecto a las especies endémicas los resultados indican que en la selva cerrada y en las áreas de escasa cobertura hay una gran abundancia de individuos de especies endémicas.

CUADRO 4.12a. ABUNDANCIA OBSERVADA Y ESPERADA DE ESPECIES ÁRIDAS, ENDÉMICAS Y TROPICALES POR UNIDAD DE VEGETACIÓN

UNIDAD	ESPECIES			
	ÁRIDAS	TROPICALES	ENDÉMICAS	TOTAL
	OBS ESP	OBS ESP	OBS ESP	
AEV	178 (184)	146 (164)	177 (152)	501
SC	206 (278)	226 (248)	323 (229)	755
SA	326 (254)	246 (226)	117 (209)	689
SAM	345 (339)	323 (302)	253 (280)	921
<b>TOTAL</b>	<b>1055</b>	<b>941</b>	<b>870</b>	<b>2866</b>

$\chi^2 = 132.35$   
 $\chi^2_{(.005)(6)} = 18.548$

AEV= áreas de escasa vegetación, SC= selva cerrada, SA= selva abierta, SAM= selva amatorialada.

CUADRO 4.12b. RESIDUOS ESTANDARIZADOS PARA LA ABUNDANCIA DE ESPECIES ÁRIDAS, ENDÉMICAS Y TROPICALES POR UNIDAD DE VEGETACIÓN

UNIDAD	ESPECIES		
	ÁRIDAS	TROPICALES	ENDÉMICAS
AEV	-0.65	-1.94	2.67
SC	-6.32	-1.95	8.65
SA	6.56	1.84	-8.76
SAM	0.50	1.76	-2.31

AEV= áreas de escasa vegetación, SC= selva cerrada, SA= selva abierta, SAM= selva amatorialada.

#### 4.3.7.4. Análisis de Componentes Principales

En el cuadro 4.13 se muestran los resultados de la matriz de correlación entre las variables seleccionadas.

CUADRO 4.13. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE VARIABLES BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES PARA LOS 53 SITIOS ANALIZADOS

Variable	Latitud	Altitud	Rocosisdad	Riqueza Específica	Abundancia	Pendiente	Índice Aridez	Ganado	Cobertura
Latitud*	1	<b>0.5381</b> <i>p= .000</i>	-0.105 <i>p= .454</i>	-0.0192 <i>p= .892</i>	0.1266 <i>p= .366</i>	-0.0309 <i>p= .826</i>	<b>0.6784</b> <i>p= .000</i>	<b>0.69</b> <i>p= .000</i>	-0.1769 <i>p= .205</i>
Altitud*		1	<b>0.2866</b> <i>p= .037</i>	<b>0.3775</b> <i>p= .005</i>	0.2244 <i>p= .106</i>	<b>0.2926</b> <i>p= .033</i>	-0.081 <i>p= .564</i>	<b>0.4987</b> <i>p= .000</i>	0.2047 <i>p= .141</i>
Rocosisdad*			1	0.2525 <i>p= .068</i>	0.1295 <i>p= .356</i>	<b>0.507</b> <i>p= .000</i>	0.258 <i>p= .062</i>	-0.0315 <i>p= .823</i>	0.105 <i>p= .454</i>
Riqueza Específica*				1	<b>0.6226</b> <i>p= .000</i>	<b>0.5084</b> <i>p= .000</i>	0.2681 <i>p= .052</i>	0.2553 <i>p= .065</i>	<b>0.4005</b> <i>p= .003</i>
Abundancia*					1	<b>0.2789</b> <i>p= .043</i>	-0.0583 <i>p= .679</i>	<b>0.3693</b> <i>p= .006</i>	0.262 <i>p= .058</i>
Pendiente+						1	0.2123 <i>p= .127</i>	0.0551 <i>p= .695</i>	<b>0.3354</b> <i>p= .014</i>
Índice de Aridez+							1	<b>-0.3781</b> <i>p= .005</i>	<b>0.3234</b> <i>p= .018</i>
Ganado+								1	-0.0601 <i>p= .669</i>
Cobertura+									1

\* Variables normalizadas con logaritmos naturales, + Variables normalizadas con arcoseno

Para el análisis de componentes principales se seleccionaron cuatro componentes que en conjunto explican 80% de la varianza (cuadro 4.14). En el cuadro 4.15 se muestran los valores de correlación entre las variables y los componentes principales.

CUADRO 4.14. VARIANZA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL

FACTOR	EIGENVALOR	VARIANZA (%)	EIGENVALOR ACUMULADO	VARIANZA ACUMULADA (%)
1	2.85	31.69	2.85	31.69
2	2.51	27.92	5.36	59.61
3	1.09	12.07	6.45	71.68
4	0.79	8.76	7.24	80.44

CUADRO 4.15. VALORES DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES Y LOS COMPONENTES PRINCIPALES.

Variable	Componentes			
	1	2	3	4
Latitud	-0.01116	<b>0.940516</b>	-0.05983031	-0.12972
Altitud	0.028209	<b>0.712633</b>	0.39969899	0.4071
Rocosisdad	0.028358	-0.05392	<b>0.91679941</b>	-0.04042
Riqueza específica	<b>0.747337</b>	0.056552	0.32168633	0.376916
Abundancia	<b>0.923246</b>	0.152161	0.06006924	0.041861
Pendiente	0.311029	0.007368	<b>0.72514285</b>	0.227636
Índice de Aridez	0.005983	<b>-0.63837</b>	0.29990125	0.469399
Ganado	0.332658	<b>0.796575</b>	-0.01719827	-0.03323
Cobertura Total	0.213936	-0.08809	0.0392819	<b>0.878653</b>

De acuerdo con estos resultados, el primer componente se relaciona directamente con la riqueza específica y la abundancia, el segundo componente se relaciona significativamente con la latitud, la altitud, el número de cabezas de ganado bovino y con el índice de aridez; el tercer componente con atributos físicos como la rocosidad y la pendiente, en tanto que el cuarto se asocia exclusivamente a la cobertura total. Con base en estos resultados y la matriz de correlación entre variables se puede concluir que en el norte del área de estudio se concentra un mayor número de cabezas de ganado y se encuentran los sitios más áridos, así como los sitios que alcanzan las mayores altitudes de nuestro muestreo.

Asimismo, existe una relación directa entre riqueza específica, abundancia, porcentaje de pendiente y cobertura total, siendo la pendiente un factor ambiental importante para la riqueza específica y la cobertura.

#### **4.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La clasificación de la imagen satelital, así como la sobreposición de las capas derivadas del Modelo Digital de Terreno, el Mapa del cociente TM5/TM4 y un intenso reconocimiento en campo, permitió identificar distintas unidades de vegetación en la selva abaja caducifolia de la Sierra de la Laguna. Si bien ha sido planteada la dificultad para distinguir asociaciones dentro de la selva baja caducifolia mediante el uso de imágenes satelitales, dada la gran heterogeneidad de estas comunidades (Trejo y Hernández, 1996), en el presente trabajo la combinación de una subescena satelital con datos provenientes del SIG, un previo reconocimiento de fotografías aéreas y sobre todo un intenso trabajo de campo permitieron validar las diferentes unidades de selva con una precisión relativamente alta (83%). La diferenciación de unidades de vegetación en ambientes tan heterogéneos como los ecotonos entre la selva baja caducifolia y el bosque de encino de la Sierra de la Laguna también ha sido posible mediante el uso de imágenes satelitales e información derivada del MDT, como lo señalan Casalegno *et al.* (2000). En general, se puede advertir que el uso de información auxiliar, como los modelos digitales del terreno, brindan información valiosa para elevar la precisión de la clasificación de la cobertura de la tierra, particularmente para la discriminación en diferentes tipos de vegetación en los trópicos (Elumnoh y Shrestha, 2000; Trejo y Hernández, 1996; Mas y Ramírez, 1996). Si bien los resultados del presente trabajo permiten concluir sobre las potencialidades de la teledetección y de los SIG para la diferenciación de unidades dentro de la selva baja caducifolia, estas herramientas no substituyen el conocimiento y experiencia de campo, particularmente cuando se trata de ambientes tan heterogéneos como esta comunidad (Wyatt, 2000).

Del análisis de la imagen se diferenciaron cuatro patrones espectrales para la selva baja caducifolia. Estos patrones fueron asignados a unidades de vegetación

distintivas, derivadas del porcentaje de la cubierta vegetal, así como de las principales especies que contribuyen a la cobertura vegetal. Estas unidades forman un complejo mosaico de vegetación asociado a variaciones fisiográficas, topográficas, altitudinales y a las actividades antrópicas. Todas las unidades se encuentran dentro del área de distribución de la selva baja caducifolia en la región (INEGI, 2001; Morelos, 1998).

La mayoría de las especies que constituyen a la selva baja caducifolia del área de estudio forman parte también del matorral xerófilo que limita con la selva baja, e incluso algunas especies son tan abundantes en la selva como en el matorral xerófilo (León de la Luz *et al.*, 2000), por lo que la delimitación precisa entre estas dos comunidades es difícil con base exclusivamente en criterios florísticos. Entre las especies exclusivas a la selva baja caducifolia se encuentran *Lysiloma divaricatum* y *Plumeria rubra* var. *acutifolia*. (León de la Luz, *et al.*, 2000; Turner *et al.* 1995). El mauto (*L. divaricatum*) es la especie más persistente en las diferentes regiones en donde se distribuye la selva baja caducifolia en el país, es por ello que esta especie podría ser considerada la indicadora de este tipo de vegetación. *Plumeria rubra* es también una especie que caracteriza a este tipo de vegetación, aunque la variedad *acutifolia* es de distribución más restringida.

Dada la complejidad florística de la selva baja caducifolia, la caracterización y definición de ésta debe considerar tanto aspectos florísticos como estructurales. Para el caso de la Sierra de la Laguna, la selva baja caducifolia se caracteriza por presentar una cobertura vegetal densa, que en la mayoría de los casos excede al 100% del área de referencia, por una estructura vertical diferenciada al menos por dos estratos y por árboles emergentes. Aunque la abundancia de especies arbustivas es considerable, en la mayoría de los sitios el aporte principal a la cubierta vegetal proviene de especies arbóreas (Breceda, 1994). Tomando en consideración tanto el área de distribución de la selva baja caducifolia previamente definida por otros autores (INEGI, 2001; Morelos, 1988), como la composición florística y aspectos estructurales, se puede concluir que las cuatro unidades definidas en este estudio corresponden a diferentes características de la selva baja caducifolia. En todas las unidades la presencia de *L. divaricatum* permite mantenerlas como sitios

de selva con variaciones estructurales, y a pesar de que en la selva amatorralada las especies arbustivas son las dominantes, su composición florística y su densa cobertura permite mantenerla como una unidad de la selva. En el caso de las áreas de escasa vegetación la cobertura vegetal es muy abierta, similar a la del matorral sarcocaula, y a pesar de algunas especies típicas de la selva baja caducifolia como *Senna atomaria*, *Chloroleucon manguense* o *Pachycereus pecten-aboriginum* no se encuentran representadas en esta unidad, la presencia de otras especies típicas de la selva como *L. divaricatum* y *Tecoma stans* en esta unidad y su distribución dentro del gradiente altitudinal en el que se desarrolla la selva baja caducifolia en el área de estudio, permiten sostenerla como un unidad de selva, y como se analizará posteriormente, es probable que esta unidad corresponda con sitios fuertemente perturbados por actividades antrópicas.

Con base en los datos de abundancia por especie en cada unidad de selva se observan algunas tendencias. *Senna atomaria* se presenta primordialmente en la selva abierta y la selva amatorralada, pero no se encontró en ninguno de los sitios de escasa cobertura, posiblemente debido a la presión que se ejerce sobre esta especie por su valor maderable (Breceda *et al.*, 1997). Es importante y recomendable llevar a cabo acciones de reforestación de la especie, para lo cual se recomienda para la germinación de las semillas un proceso de escarificación por ácidos (Turner *et al.*, 1995). *Lysiloma divaricatum* es una de las especies más abundantes en todas las unidades de selva, con excepción de la selva amatorralada, siendo justamente esta característica lo que identifica a esta unidad de vegetación. Esta especie es dominante en sitios con suelos poco ácidos y muestra un claro patrón asociado a las exposiciones norte en los límites de su distribución altitudinal. El cardón barbón (*Pachycereus pecten-aboriginum*) es una especie típica de las selvas secas de México y su abundancia es característica de la selva amatorralada. *Albizia occidentalis* es una leguminosa arbórea que se distribuye en casi todas las unidades de vegetación, con excepción de la selva cerrada, en donde la cobertura del mauto (*L. divaricatum*) es dominante, por lo que es posible que esta última compita con esa especie. *Gouania rosei* es una especie cuya abundancia destaca en la selva cerrada y amatorralada en donde abundan árboles y arbustos altos; es por ello que en ellos

encontramos más abundancia de esta trepadora leñosa. El palo adán (*Fouquieria diguetii*) pertenece a un género y familia típicos de los desiertos y se encuentra principalmente en la selva abierta, y su abundancia es mayor para localidades de altitudes entre 300 y 500 m, particularmente de la vertiente del Golfo de California. *Stenocereus thurberi* es una especie típica de las comunidades del Desierto Sonorense y se distribuye geográficamente desde el suroeste de Arizona y la costa oeste de Sonora; en la Península su distribución comprende desde la región centro-norte hasta El Cabo. En el caso de la selva baja caducifolia esta especie es parte de la composición florística de la comunidad y se encuentra bien representada tanto en la vertiente del Golfo como la del Pacífico, particularmente en las unidades catalogadas como selva abierta y selva amatorralada.

Los resultados de este trabajo permiten concluir que, con base en un intenso trabajo de campo y con el uso de herramientas remotas, es posible distinguir, a escala regional ( $\approx 1:250,000$ ), un mosaico de vegetación dentro de la selva baja caducifolia del área de estudio, y que las diferencias entre las unidades se asocian principalmente a variaciones de la cobertura vegetal, las cuales muestran también una relación con la fisiografía y el impacto de las actividades humanas.

La complejidad del mosaico de esta selva se expresa también a escala local. El análisis florístico para el total de sitios analizados mostró una gran heterogeneidad de la comunidad, ya que el promedio del Índice de Similitud de Jaccard fue de 0.18 (Anexo 4.6), menor que el valor de 0.42 registrado para Chamela por Balvanera *et al.* (2002) y el de 0.25 para el gradiente altitudinal de Tehucán-Cuicatlán reportado por Montaña y Valiente (1998). La comparación florística entre las unidades de vegetación no mostró conjuntos taxonómicos exclusivos de cada unidad de selva, por lo que las diferencias espectrales entre las unidades de vegetación se deben a características espaciales y estructurales de la vegetación, principalmente a la cobertura y a la morfología foliar de las especies dominantes. Estos resultados apoyan la idea planteada por Franklin *et al.* (1997) sobre la jerarquización de información a diferentes escalas (paisaje y local), en donde concluyen que la información se encuentra espacialmente anidada, mas no taxonómicamente, por lo

que los inventarios florísticos requeridos para análisis de biodiversidad necesitan de muestreo en campo.

El análisis espacial sobre la distribución de las diferentes unidades en la zona de estudio mostró tendencias y patrones para cada unidad, según la predominancia de cada característica analizada para las unidades de vegetación, como se resume en el cuadro 4.16.

CUADRO 4.16. CARACTERÍSTICAS ESPACIALES Y BIOLÓGICAS DOMINANTES EN CADA UNIDAD DE VEGETACIÓN

<b>Características</b>	<b>Áreas de escasa vegetación</b>	<b>Selva Abierta</b>	<b>Selva Amatorralada</b>	<b>Selva Cerrada</b>
<b>Vertiente</b>	Pacífico	Golfo-Pacífico	Golfo	Golfo-Pacífico
<b>Exposición</b>	Oeste-Sur	Sur	Este	Norte
<b>Pendiente</b>	0°-10°	0°-10°	0°-10°	10°-20°
<b>Altitud</b>	400-600	400-600	600-800	800-1000
<b>Disturbio</b>	Fuerte	Fuerte		
<b>Índice de Aridez</b>	5-10	10-15	10-15	10-15
<b>Riqueza sp.</b>	54	63	61	84
<b>Densidad (Ind/100m<sup>2</sup>)</b>	55	57	61	65
<b>Especies T/A*</b>	.82	.75	.94	1.10

\* Proporción en abundancia de especies tropicales y áridas.

De las tendencias espaciales sobre la distribución de las unidades de vegetación destaca la predominancia de sitios de escasa cobertura vegetal y de selva abierta en áreas relacionadas con la presencia de ranchos, cabe señalar que la principal actividad productiva de las rancherías locales consiste en ganadería extensiva fundamentalmente de ganado vacuno, el cual se concentra cercano a los ranchos de donde obtienen agua y complemento alimenticio durante la época de secas. La forestería es otra actividad asociada a los ranchos; la extracción de postes, leña y material de construcción es común en la zona. Entre las especies más afectadas se encuentra *Senna atomaria* (Breceda *et al.*, 1997). Asimismo, los resultados de Ramírez (2001) muestran una influencia importante sobre la diversidad y abundancia de plantas y aves en un gradiente de distancia de un kilómetro

alrededor de las rancherías; encontrando que conforme se alejan del rancho aumenta la abundancia y diversidad de plantas y un comportamiento inverso para las aves. Los resultados del trabajo de Ramírez (2001), así como los encontrados para el presente estudio permiten concluir que la presencia de ranchos está relacionada con una menor abundancia de plantas y áreas de poca cobertura. Otra fuente de disturbio en estas zonas se refiere a las actividades mineras. Así, al sobreponer el mapa de vegetación con las áreas de denuncios mineros (Figura 4.13) se aprecia que 80% de la superficie de los denuncios mineros son áreas de escasa vegetación y selva abierta, lo que sugiere que las actividades mineras han afectado en la deforestación de la región. Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que las áreas de escasa vegetación y selva abierta son predominantes en áreas de pendientes suaves, lo que concuerda con lo encontrado por Trejo y Dirzo (2000) para las selvas bajas caducifolias del país, en donde las áreas más afectadas se relacionan con sitios de pendientes suaves y sugieren que los sitios de pendientes pronunciadas son refugios de áreas prístinas. En el caso del presente estudio las áreas que presentan mayor pendiente corresponden a la selva cerrada.

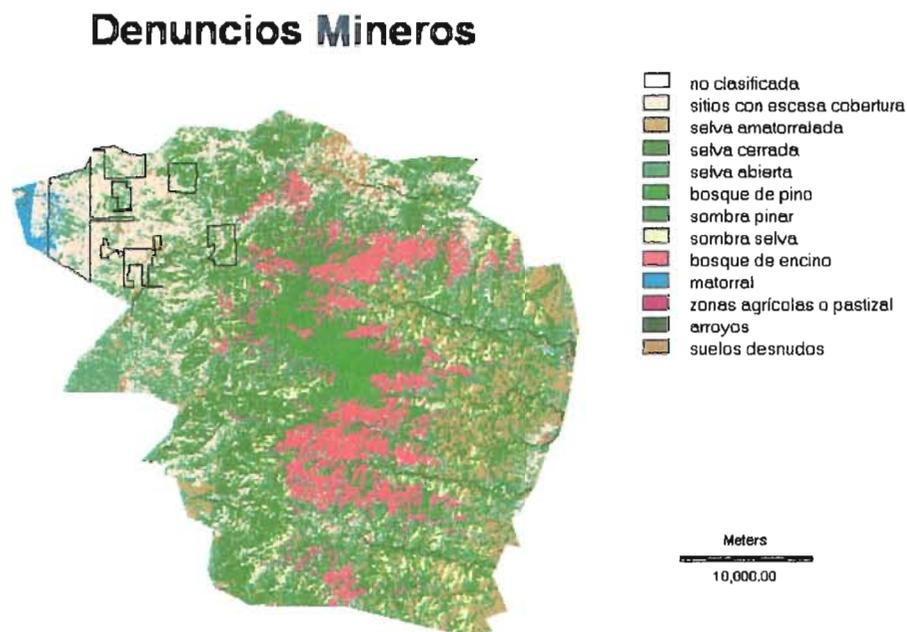


FIGURA 4.13. DENUNCIOS MINEROS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA "SIERRA LA LAGUNA"

De las características biológicas asociadas a cada unidad de vegetación (cuadro 4.14), destaca que la selva cerrada es la unidad con mayor riqueza específica, así como la única en donde predominan las especies de afinidad tropical. Si bien en general podemos afirmar que en esta comunidad prevalecen especies de afinidad árida, lo cual se explica por las condiciones relativamente áridas de la zona. En las áreas en donde se desarrolla la selva cerrada la abundancia de las especies tropicales es mayor que la de las especies de afinidad áridas, e incluso algunas especies características del trópico seco Mexicano, como *Plumeria rubra* var. *acutifolia* se encuentran principalmente en esos sitios, y que comparativamente con las otras unidades de vegetación, la selva cerrada se desarrolla preferentemente en sitios de mayor altitud, con pendientes más pronunciadas y en exposiciones al norte. Es también importante señalar que la ubicación de la selva cerrada preferentemente en laderas de exposiciones norte, crean condiciones microclimáticas más benignas que las otras unidades de vegetación. La importancia de las exposiciones al norte como sitios que reciben una menor insolación en otras selvas bajas caducifolias de México y su influencia en la diversidad beta ha sido puntualizado por Balvanera *et al.* (2002) y Galicia *et al.* (1999). Asimismo, para el gradiente altitudinal de Tehucán-Cuicatlán, Montaña y Valiente (1998) encontraron un patrón de riqueza específica inverso a la aridez, típico de otras zonas áridas y semiáridas del mundo (Whittaker y Niering, 1975; Tilman y El Haddi, 1992), para el caso de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, la mayor riqueza de especies se encontró en la selva cerrada, así como el valor promedio más alto de diversidad alfa (Shannon- Weaver) (AEV= 0.87, SA=0.88, SAM= 0.88, SC= 1.00). Esto permite concluir que las condiciones microclimáticas en las que se desarrolla la selva cerrada son determinantes para su desarrollo. Finalmente, de los resultados obtenidos sobre la relación de factores ambientales y biológicos a escalas locales se encontró una relación directa entre la pendiente, la cobertura y la riqueza específica, siendo justamente los sitios de la selva cerrada los que presentan mayor cobertura de especies tropicales y mayor pendiente.

Estos resultados apoyan las conclusiones de Coughenour y Ellis (1993) sobre la estructura de los ecosistemas tropicales secos, los cuales están jerárquicamente limitados por factores físicos: el clima afecta a escalas regionales a continentales, la topografía tiene efectos en la precipitación y la redistribución del agua a escalas de paisaje y los disturbios a escalas locales y de parches; por esta razón, ellos afirman que los ecosistemas tropicales secos son sensibles a cambios relativamente pequeños en los patrones espaciales y temporales de disponibilidad de agua a escalas regionales, paisaje y locales.

## V. APLICACIÓN DE LA PERCEPCIÓN REMOTA Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR ÁREAS CRÍTICAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO

### 5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta una aplicación de la información generada en las secciones anteriores. Específicamente, se utilizan los resultados de la cartografía digital, el mapa de vegetación y un modelo multicriterio para apoyar los trabajos de conservación y manejo en la Reserva de la Biosfera “*Sierra la Laguna*”. La motivación principal para desarrollar esta sección fue la de contar con un amplio conocimiento y bases de datos digitales de la reserva y el potencial que ofrece estas herramientas en el campo de la conservación (Davis *et al.*, 1990; Scott *et al.*, 1993, Bojórquez-Tapia *et al.*, 1995; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 1999; Turner *et al.*, 2001, entre otros). Asimismo, con este estudio de caso se pretende ejemplificar un método de análisis para optimizar los recursos financieros y humanos en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) del país.

México cuenta con 150 ANPs bajo administración federal, las cuales cubren aproximadamente 17.9 millones de hectáreas, que representan 9.1% del territorio nacional (CONANP, 2002; SEMARNAT, 2004). A pesar de que en las últimas décadas los gobiernos federales y estatales han hecho grandes esfuerzos para afrontar los problemas inherentes a estas áreas, muchos de éstos aún persisten. Entre los principales problemas que afrontan las áreas naturales protegidas se encuentran una pobre planeación, escaso personal, insuficiente equipamiento e infraestructura y sobretodo falta de recursos financieros para el manejo de éstas (CONABIO, 1998b; Ramos, 1988; Flores y Gerez, 1989; Breceda *et al.*, 1995).

La Reserva de la Biosfera “*Sierra la Laguna*” fue decretada como área natural protegida en 1994 dada la importancia de los ecosistemas naturales que contiene, así como el gran número de endemismos (Arriaga y Ortega, 1988). Esta reserva tiene una superficie de 112,437 ha y cuenta con tan solo cinco personas para su administración y con un presupuesto de operación promedio anual para los últimos siete años de \$65,400 dólares, lo que representa alrededor de \$0.60 dólares por hectárea. Si consideramos que el monto requerido para reforestar una

hectárea en esta reserva asciende alrededor de \$1,000 dólares; el monto total asignado para el manejo y administración de la reserva es por de más insuficiente. Esta problemática no es exclusiva de la Reserva de la Biosfera “Sierra la Laguna”, sino que es una situación generalizada para la mayoría de las áreas naturales protegidas del país.

Bajo estas consideraciones el manejo de las reservas en el país requiere de priorizar áreas para concentrar los esfuerzos de manejo y protección. Este objetivo no es simple dada la multiplicidad de criterios (biológicos, sociales y financieros) necesarios para identificar las prioridades. En este contexto, los modelos multicriterio son una excelente herramienta para la toma de decisiones ambientales, ya que son útiles para la identificación de alternativas, las cuales pueden ser áreas geográficas, preferencias de uso u otros elementos que se quieran comparar. Las alternativas son evaluadas bajo el espectro de múltiples criterios. La esencia de estos métodos consiste en al menos una matriz bidimensional, donde una dimensión expresa las alternativas o zonas y la otra los criterios biológicos, socio-económicos, financieros y administrativos mediante los cuales las alternativas son evaluadas (Voogd, 1983).

El objetivo de este capítulo es identificar áreas prioritarias para la conservación, la restauración y el manejo en la Reserva de la Biosfera “Sierra la Laguna”, mediante el uso de modelos multicriterio e información auxiliar de un SIG y de entrevistas con los habitantes locales, expertos y manejadores del área.

## **5.2. METODOLOGÍA**

### **5.2.1. Análisis Multicriterio**

Con el fin de obtener una jerarquización de las áreas prioritarias para concentrar las acciones de conservación y restauración ecológica, se eligieron cuencas (el área drenada por un sistema de arroyos y delimitada topográficamente) como unidades de análisis. Las cuencas hidrológicas no sólo tienen un gran valor en el manejo de recursos hidrológicos, sino que además representan unidades integrales de manejo de recursos vegetales y edáficos que

permiten la producción de bienes y servicios de una manera sostenida (Brooks *et al.*, 1991). Esta visión sobre el funcionamiento de las cuencas hidrológicas se deriva de la estrecha interrelación entre los diferentes procesos ecológicos que determinan su funcionamiento, y por ello son consideradas como unidades prácticas para el análisis, la planeación y el manejo de múltiples recursos.

En el caso de la Sierra de la Laguna, se optó por el análisis por cuencas ya que se trata de un sistema montañoso en donde las cuencas se delimitan claramente, además de que esta sierra es una de las principales regiones de captación de agua de la Península. La red hidrológica es de gran importancia para el mantenimiento de la región, y de hecho, el patrón de asentamientos de los ranchos responde a la localización de los arroyos principales; asimismo, las actividades ganaderas se encuentran limitadas por la topografía de la región.

Para identificar las microcuencas prioritarias para llevar a cabo acciones de conservación y restauración ecológica se realizó un análisis multicriterio, utilizando el método de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) (Saaty, 1977, 1980, 1982) con el programa Expert Choise 2000. Este método se basa en la jerarquización de los criterios de decisión y la aplicación de una escala para obtener vectores de los pesos normalizados o prioridades mediante la comparación por pares (Anselin *et al.*, 1989). Este método ha sido exitosamente aplicado en evaluaciones ambientales que involucran criterios múltiples y diversos (Anselin *et al.*, 1989; Banai-Kashani, 1989; Malczewski *et al.*, 1997; Lahdelman *et al.*, 2000). Otra característica de este método es su flexibilidad para manejar criterios cualitativos y cuantitativos y ofrece un marco metodológico para detectar y corregir la inconsistencia de los pesos o juicios sobre la importancia relativa de cada criterio y subcriterio.

### **5.2.2 Estructura del Modelo AHP**

La estructura del modelo incluye objetivo, criterios, atributos y 15 alternativas. Las cuencas fueron utilizadas como unidades de conservación y manejo. En la reserva se distinguen 15 cuencas orientadas de este a oeste, perpendiculares al eje

principal de la Sierra de la Laguna. Nueve están situadas en la vertiente del Golfo de California y seis en la vertiente del Pacífico, como se muestra en la figura 5.1.

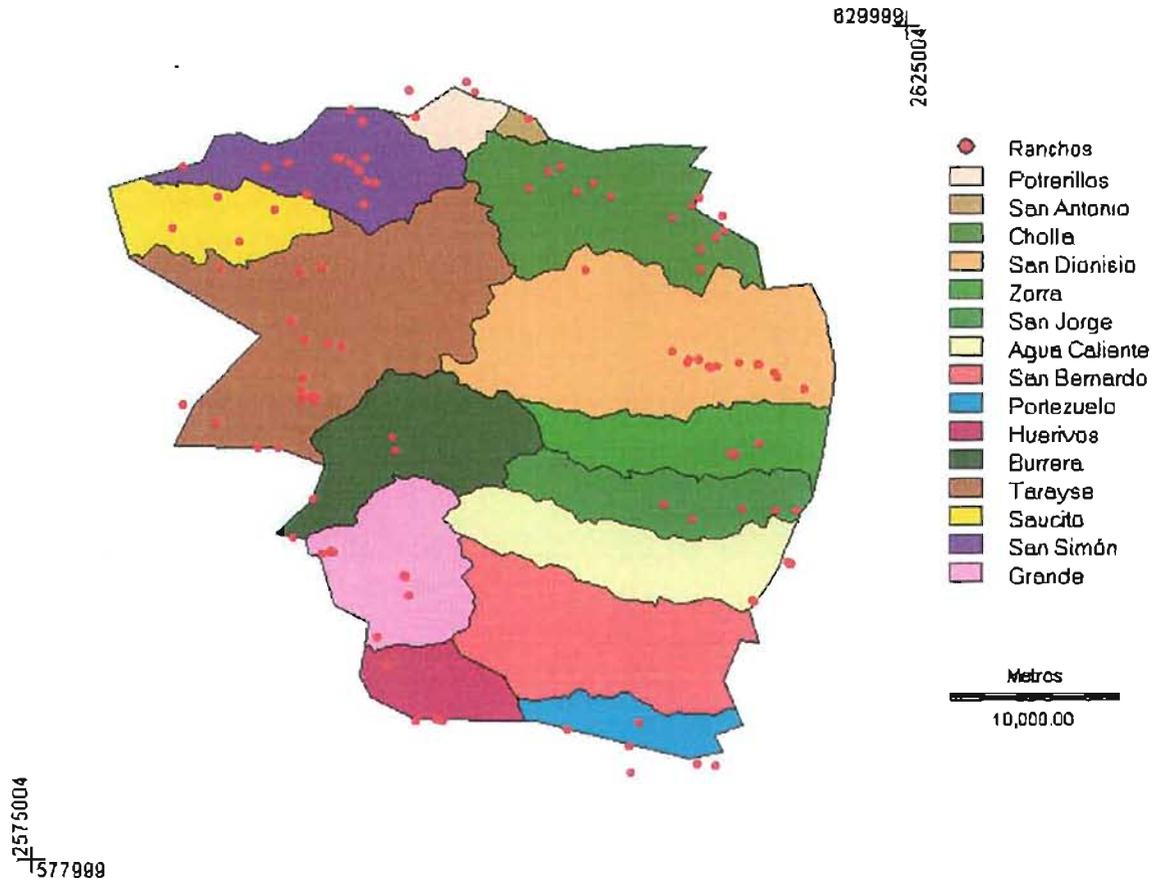


FIGURA 5.1. CUENCAS Y RANCHOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA "SIERRA LA LAGUNA"

Para comparar y priorizar las cuencas se usaron cuatro criterios: (1) capacidad de la cuenca para el suministro de agua, (2) riqueza biológica y diversidad, (3) amenazas, y (4) costo para instrumentar los programas de conservación. Cada criterio fue dividido en subcriterios que corresponden a atributos cuantitativos o cualitativos.

La mayoría de los criterios pudieron ser medidos por atributos cuantitativos, entre ellos longitud de los arroyos, superficies por arriba y abajo de la cota altitudinal

de 1000 m, riqueza biológica, especies endémicas, diversidad de hábitats, número de habitantes y ranchos, ganadería, extracción de madera, minería, áreas de escasa cobertura vegetal y suelo descubierto, caminos, emigración y costos por reforestación. Sin embargo, algunos criterios como turismo, incidencia de fuegos, antigüedad de los asentamientos, vigilancia y participación comunitaria, fueron evaluados cualitativamente dada la falta de información cuantitativa, por lo que se empleó una escala jerárquica.

Establecida la estructura del modelo, se procedió a evaluar los pesos o la importancia de cada criterio y subcriterio mediante comparaciones por pares, y con base en la experiencia de los administradores de la Reserva, así como de los años de investigación en el área.

Para priorizar entre las alternativas (cuencas) se usó una matriz de  $15 \times 23$ , en la que cada atributo se estandariza mediante una función de incremento, decremento o escala racional. Los valores para cada uno de los criterios y subcriterios se obtuvieron de la información generada a través del SIG y de la consulta a especialistas del área (para flora Dr. José Luis León de la Luz, para artrópodos Dra. María Luisa Jiménez, reptiles Dra. Patricia Galina, y aves Ricardo Rodríguez-Estrella), así como mediante una revisión bibliográfica especializada (Ariaga y Ortega 1988, Ariaga 1994, León de la Luz 1999, Ortega 1992, Breceda 1994, León de la Luz 1999).

### **5.2.3. SIG y Bases de Datos**

Para obtener los valores de los atributos por cuenca se utilizó un SIG que contiene información sobre los asentamientos humanos, la hidrología, la topografía, las pendientes, las orientaciones, la red de caminos y la vegetación por cuenca. La capacidad de retención de agua por cada cuenca se calculó considerando la superficie de cada una por arriba de los 1000 m de altitud, y la superficie por debajo de esa cota altitudinal de acuerdo con Guertin *et al.* (1988). También se consideró la longitud de los arroyos para cada una. La riqueza biológica de cada cuenca se calculó utilizando la información sobre el número de

especies de plantas, mamíferos, aves y reptiles por tipo de vegetación, reportados por Álvarez *et al.* (1988), Arriaga (1994), Breceda (1994), Galina *et al.* (1988), León de la Luz (1999) y Rodríguez Estrella (com. *per.*) Con base en esta información se calculó la densidad por taxon ( $d_i^h$ ) para cada tipo de vegetación en la reserva. Posteriormente se calculó la riqueza biológica para cada cuenca de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$d_i^h = n_i/A^h$$

$$R_j = \sum_{i=1}^4 \sum_{h=1}^3 (d_i^h * a_j^h)$$

Donde :  $d_i^h$  es la densidad por taxon en cada tipo de vegetación;  $n_i$  = número de especies por taxon,  $A^h$  = área de cada tipo de vegetación dentro de la reserva,  $a_j^h$  = área por tipo de vegetación en cada cuenca,  $i$  = taxon (plantas, mamíferos, aves y reptiles),  $j$  = cuencas,  $h$  = tipo de vegetación (selva baja caducifolia, bosque de encino y bosque de pino-encino),  $R_j$  = riqueza biológica por cuenca.

El mismo procedimiento se utilizó para las especies endémicas. La diversidad de hábitats también se utilizó para determinar las prioridades de conservación, y para ello se empleó la clasificación de hábitats propuesta por León de la Luz y Breceda (2002). La Reserva se dividió en siete hábitats de acuerdo con la pendiente, la altitud y el tipo de vegetación. La diversidad se calculó con el índice de Shannon-Wiener ( $H$ ), usando la proporción del área de cada hábitat en cada cuenca.

Para obtener la información sobre asentamientos humanos y actividades económicas, se levantaron dos censos (1999 y 2000) en todas las rancherías y caseríos incluidos dentro de los límites de la Reserva, y de las rancherías ubicadas en sus cercanías. Para la realización de estos censos se contó con la colaboración de la Dirección de la Reserva. El formato de las entrevistas incluyó cinco rubros: nombre y localización del rancho, datos poblacionales (número y sexo de habitantes), infraestructura urbana y servicios (caminos, agua, electricidad y características de la vivienda), uso de los recursos naturales (forestería, uso etnobotánico), y actividades económicas (ganadería, agricultura, fruticultura y otros). Además, se aplicaron 40 entrevistas más, con el fin de obtener información

detallada sobre prácticas ganaderas, movimientos del ganado y parajes afectados. Todas las rancherías fueron ubicadas geográficamente por medio de GPS y altímetro, información que fue corroborada en mapas (INEGI 1:50,000) y fotografías aéreas. De la información obtenida de los censos se derivaron las amenazas por cuenca. Las variables consideradas fueron número de habitantes y ranchos, número de vacas, chivos, puercos y borregos, monto de la extracción de madera para subsistencia y comercialización; antigüedad de los asentamientos y porcentaje de población emigrante. La superficie bajo exploración y concesión minera, así como el turismo por cuenca se obtuvo por medio de la Dirección de la Reserva. La red de caminos y accesibilidad se estimó por medio de las capas generadas en el SIG e información proporcionada por los habitantes. El riesgo por fuego se estimó considerando la superficie de bosque de pino-encino en cada cuenca y la intensidad del turismo.

Para medir el costo de los programas de conservación se usaron tres atributos el costo por vigilancia, el costo de reforestación y la participación comunitaria para la instrumentación de los programas.

*Vigilancia:* esta variable se relaciona con el área de la cuenca y con el acceso mediante la red de caminos y la distancia a la ciudad más cercana. Las cuencas menos accesibles y grandes requieren un costo de vigilancia mayor.

*Costo de reforestación:* de acuerdo con las evaluaciones de la Comisión Nacional Forestal, las necesidades de reforestación de la zona requieren de 1,600 plantas/ha. El costo para cercar las áreas a reforestar, transportación, plantación y manutención es alrededor de \$ 10,000.<sup>00</sup> por hectárea. Para evaluar el costo de reforestación se consideró el área deforestada en cada cuenca y el costo por hectárea.

*Participación de las comunidades locales:* la experiencia de los administradores de la reserva por más de seis años muestra que la disposición de los habitantes locales para participar en los programas de conservación y manejo es un factor fundamental para el éxito, y reduce considerablemente los costos para el manejo y la protección del área. Este criterio fue evaluado de manera cualitativa de acuerdo con la experiencia de los administradores de la reserva.

## 5.3. RESULTADOS

### 5.3.1. Evaluación de los Criterios.

El modelo utilizado en este análisis se muestra en la figura 5.2. Para evaluar la importancia de cada criterio y subcriterio se asignó el peso mediante la comparación por pares. En la figura 5.2 se muestra el peso local (L) y el global (G) para cada uno. En el modelo jerárquico (AHP) la prioridad de los criterios o nodos está representada por un valor numérico que sumados entre todos los criterios equivalen a uno. Para este trabajo el peso más grande (0.377) se dio a la capacidad de agua, ya que este factor ambiental es fundamental en las zonas áridas. Este factor también fue altamente valorado en otros análisis de aptitudes de uso del suelo para la región (Malczewski *et al.*, 1997). El segundo criterio en importancia fue la diversidad y la riqueza biológica (0.337), dado que es uno de los objetivos principales en la identificación de zonas prioritarias para la conservación (Margules y Usher, 1981; Poiani *et al.*, 2000). Las actividades humanas y el área de escasa vegetación-suelo descubierto fueron consideradas como amenazas y se valoró con 0.222 de importancia. Los costos para instrumentar los programas de conservación tuvieron los valores más bajos de prioridad (0.064).

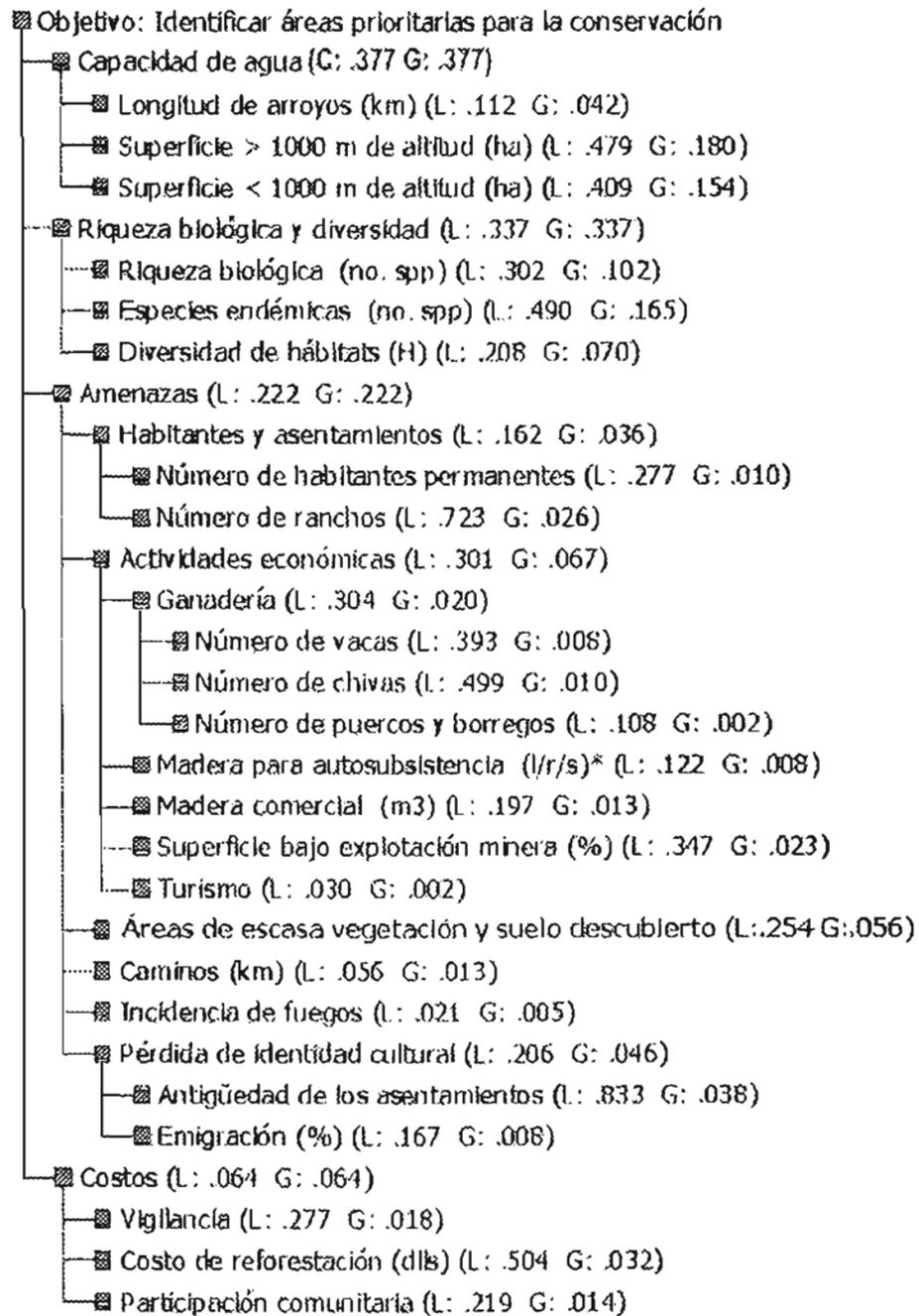


FIGURA 5.2. ESTRUCTURA DEL MODELO (LOS VALORES DE LA PRIORIDAD LOCAL Y GLOBAL SE OBTIENEN MEDIANTE COMPARCIÓN POR PARES)

L = Prioridad Local, representa la proporción de importancia de cada subcriterio dentro del criterio o nodo del que deriva; G = Prioridad Global, representa la importancia relativa de cada subcriterio con respecto al objetivo, y se obtiene multiplicando la prioridad local por la prioridad del criterio parental. \* = leños/rancho/semana

## **5.3.2. Cuantificación de Atributos y Evaluación de Cuencas.**

### **5.3.2.1. Escurrimientos superficiales**

La Sierra de la Laguna representa la principal fuente de agua, ya que proporciona este valioso elemento a 67% de la población estatal. A pesar de que no existe información sobre el volumen de escurrimiento, los grandes depósitos aluviales recientes en los arroyos indican un flujo hidrológico de gran volumen en el área. De acuerdo con el trabajo de Guertin *et al.* (1988), se estima que el volumen de escurrimiento superficial que proviene de las montañas es de 20 a 30 mm para elevaciones mayores a 1000 m, y de 10 mm para altitudes entre 400 y 1000 m. La comparación de la capacidad de agua entre las cuencas se calculó considerando las zonas altitudinales y la longitud de los arroyos. Las nueve cuencas de la vertiente del Golfo de California contienen 57% del área de la reserva, y las seis cuencas de la vertiente del Pacífico 43% (Cuadro 5.1). La longitud de la red de arroyos en la reserva es mayor a 2,000 km. Las cuencas Tarayse y San Dionisio son las más importantes para el manejo del agua de acuerdo con su superficie y la longitud de los arroyos.

Cuadro 5.1. Atributos y tipo de función para cada criterio en cada alternativa.

Criterio		Capacidad de Agua			Riqueza Biológica y Diversidad			Costos		
Función de Utilidad		INCR	INCR	INCR	INCR	INCR	INCR	RATINGS	DECR	RATINGS
Alternativa	Total	LA	SA 1000	SB 1000	RB	ES	DH	VI	CR	PC
Agua Caliente	0.068	141.3	4668.19	3097.19	94	9	0.76	muy costoso <sup>1</sup>	41068.82	mucha participación <sup>3</sup>
Burrera	0.072	149	3702.38	4306.75	92	11	0.71	poco costoso <sup>3</sup>	69266.31	moderada participación <sup>2</sup>
Cholla	0.088	189.9	3546.69	6902.06	82	8	0.64	muy poco costoso <sup>4</sup>	703942.1	mucha participación <sup>3</sup>
Grande	0.056	129.6	1279.94	5700.13	59	6	0.55	poco costoso <sup>3</sup>	20302.2	moderada participación <sup>2</sup>
Huerivo	0.033	79.24	831.94	2475.50	31	3	0.63	poco costoso <sup>3</sup>	43921.74	moderada participación <sup>2</sup>
Portezuelo	0.031	51.13	1224.69	1636.00	27	2	0.77	costoso <sup>4</sup>	4179.86	moderada participación <sup>2</sup>
Potrerillo	0.02	32	27.86	1536.88	12	1	0.26	sin costo <sup>5</sup>	65086.45	mucha participación <sup>3</sup>
San Antonio	0.01	7.87	0	420.94	1	0	0.19	sin costo <sup>5</sup>	206671	mucha participación <sup>3</sup>
San Bernardo	0.082	190.3	6195.50	5170.31	118	11	0.77	muy costoso <sup>1</sup>	157574.2	moderada participación <sup>2</sup>
San Dionisio	0.145	268.5	9282.31	7732.19	220	25	0.78	costoso <sup>2</sup>	107813.9	mucha participación <sup>3</sup>
San Simón	0.085	139	323.19	6665.25	40	4	0.33	sin costo <sup>5</sup>	47438.14	mucha participación <sup>3</sup>
San Jorge	0.06	105.5	2703.13	3106.94	68	7	0.72	costoso <sup>2</sup>	60840.24	poca participación <sup>1</sup>
Saucito	0.046	95.46	0	4875.06	12	1	0.22	muy poco costoso <sup>4</sup>	75635.63	poca participación <sup>1</sup>
Tarayse	0.149	373.2	5026.19	13690.69	168	20	0.6	poco costoso <sup>3</sup>	423625.9	moderada participación <sup>2</sup>
Zorra	0.055	74.42	2684.75	3587.69	78	9	0.72	costoso <sup>4</sup>	62764.3	moderada participación <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>2026.42</b>	<b>41496.75</b>	<b>70903.56</b>	<b>1102</b>	<b>117</b>	<b>8.65</b>		<b>2090131</b>	

LA= Longitud de arroyos (km), SA 1000= Superficie > 1000 m de altitud (ha), SB 1000= Superficie < 1000 m de altitud (ha), RB=Riqueza biológica (no. spp), ES= Especies endémicas (no. spp), DH= Diversidad de hábitats (H), VI=Vigilancia, CR=Costo por reforestación (dls), PC=Participación comunitaria. Funciones de Utilidad: INCR = función lineal de incremento, DECR= función lineal decremento, ratings (1-5)  
<sup>1-5</sup> = Prioridad (1= bajo →5= alto).

Cuadro 5.1. Continuación.

Criterio	Amenazas													
	Habitantes y Asentamientos		Actividades Económica							Erosión	Camino	Fuegos	Pérdida de Identidad Cultural	
Función de Utilidad	INCR	INCR	INCR	INCR	INCR	INCR	INCR	INCR	RATINGS	INCR	INCR	RATINGS	RATINGS	INCR
Alternativa	NH	NR	NV	NC	NPB	MA	MC	SEM	TU	EVSD	CA	IF	AA	EM
Agua Caliente	35	8	278	0	7	250	0	0	visitado <sup>4</sup>	553.06	18.95	sin riesgo <sup>1</sup>	muy viejo <sup>1</sup>	103
Burrera	23	4	472	45	42	1000	409.95	0	muy visitado <sup>5</sup>	914.25	18.83	alto riesgo <sup>4</sup>	muy viejo <sup>1</sup>	0
Cholla	95	15	952	493	144	5500	800	0	muy poco visitado <sup>1</sup>	3062.13	46	bajo riesgo <sup>2</sup>	muy viejo <sup>1</sup>	156
Grande	42	12	326	76	39	2000	0	0	muy poco visitado <sup>1</sup>	1275.19	25.8	sin riesgo <sup>1</sup>	moderado <sup>3</sup>	9.5
Huerivo	22	5	140	65	220	1750	0	0	muy poco visitado <sup>1</sup>	345.06	32.2	sin riesgo <sup>1</sup>	muy viejo <sup>1</sup>	41
Portezuelo	17	7	330	0	32	2500	0	0	muy poco visitado <sup>1</sup>	75.06	9.65	sin riesgo <sup>1</sup>	viejo <sup>2</sup>	59
Potrillo	27	4	570	0	74	1500	0	0	muy poco visitado <sup>1</sup>	282.25	29.6	sin riesgo <sup>1</sup>	viejo <sup>2</sup>	307
San Antonio	6	1	100	0	0	250	0	0	moderada visitada <sup>3</sup>	328.69	34.1	sin riesgo <sup>1</sup>	viejo <sup>2</sup>	0
San Bernardo	0	0	0	0	0	0	0	0	muy poco visitado <sup>1</sup>	847.81	0	sin riesgo <sup>1</sup>	muy viejo <sup>1</sup>	0
San Dionisio	60	14	758	249	166	5000	0	0	muy visitado <sup>5</sup>	687.31	17.6	muy alto riesgo <sup>5</sup>	muy viejo <sup>1</sup>	123
San Simón	101	18	689	135	87	4250	3540.98	50	moderada visitada <sup>3</sup>	3016.19	47.8	sin riesgo <sup>1</sup>	reciente <sup>4</sup>	45.5
San Jorge	107	30	797	30	45	7625	0	0	moderada visitada <sup>3</sup>	316.25	9.1	bajo riesgo <sup>4</sup>	viejo <sup>2</sup>	73
Saucito	12	4	705	30	0	1125	0	80	muy poco visitado <sup>1</sup>	2949.88	44.1	sin riesgo <sup>1</sup>	viejo <sup>2</sup>	42
Tarayse	84	20	906	128	62	4750	0	25	muy poco visitado <sup>1</sup>	5677.38	22.62	moderado riesgo <sup>3</sup>	moderado <sup>3</sup>	444
Zorra	10	4	220	3	0	750	0	0	poco visitado <sup>2</sup>	185.25	0	bajo riesgo <sup>2</sup>	muy viejo <sup>1</sup>	120
<b>Total</b>	<b>641</b>	<b>146</b>	<b>7243</b>	<b>1254</b>	<b>918</b>	<b>38250</b>	<b>4750.93</b>	<b>155</b>		<b>20515.8</b>	<b>356.35</b>			<b>1523</b>

NH=Número de habitantes, NR=Número de ranchos, NV=Número de vacas, NC=Número de chivas, NPB=Número de puercos y borregos, MA=Madera para autosubsistencia (leños/semana), MC= Madera comercial (m<sup>3</sup>), SEM=Superficie bajo explotación minera (%), TU=Turismo, EVSD=Escasa vegetación y suelos descubiertos (ha), CA=Caminos (km), IF=Incidencia de fuegos, AA= Antigüedad de asentamientos, EM=Emigración (%). Funciones de Utilidad: INCR = función lineal de incremento, DECR= función lineal decremento, ratings (1-5)

<sup>1-5</sup> = Prioridad (1= bajo →5= alto).

### 5.3.2.2. Riqueza biológica

Uno de los principales motivos para la creación de esta reserva fue su importancia biológica y el número de especies endémicas. Esta región es considerada como una isla ecológica debido al largo aislamiento de comunidades similares (Arriaga y Ortega, 1988). Esta serranía contiene a la única selva baja caducifolia en la península y uno de los dos bosques de pino-encino presentes en ella (el más cercano se localiza a más de mil kilómetros de distancia). Actualmente se conoce la riqueza específica en plantas, mamíferos, aves y reptiles por tipos de vegetación (Cuadro 5.2).

CUADRO 5.2. RIQUEZA ESPECÍFICA Y ENDEMISMOS POR TIPO DE VEGETACIÓN.

Tipo de Vegetación	Área (ha)	Número de especies				Endemismos*	
		Plantas	Mamíferos	Aves	Reptiles	Plantas	Aves
Bosque de Pino-Encino	11,290	241	24	41	14	44	12
Bosque de Encino	13,881	148	24	41	17	6	12
Selva Baja Caducifolia	63,908	454	29	45	24	41	5

\* Endemismos a nivel de especies y subespecies.

Fuentes: Álvarez *et al.* (1988), Arriaga (1994), Breceda (1994), Galina *et al.* (1988), León de la Luz (1999) y Rodríguez Estrella (com. *per.*)

La selva baja caducifolia es la comunidad con mayor número de especies; sin embargo, el bosque de pino-encino es la comunidad más rica biológicamente considerando el número de especies por unidad de área. San Dionisio es la cuenca que presentó la mayor riqueza biológica, no sólo por su gran extensión sino también porque contiene la mayor proporción del bosque de encino y pino-encino (Cuadro 5.1). La diversidad de hábitats es más grande para la mayoría de las cuencas localizadas en la vertiente del Golfo de California que las de la vertiente del Pacífico. Esto se debe a que la mayoría de la superficie (más del 70%) del bosque de pino-encino y del bosque de encino se localiza en la vertiente del Golfo.

### **5.3.2.3. Amenazas**

Se consideró como amenazas a las actividades humanas y la infraestructura existente dentro de la Reserva, incluyendo el número de habitantes, las actividades económicas y los caminos. Para evaluar las amenazas también se consideraron factores como las áreas de escasa vegetación y de suelo descubierto, el fuego y la pérdida de identidad tradicional de las familias.

- **Habitantes y asentamientos.**

Existen en total 146 rancherías y un caserío dentro del área de la reserva. Excepto por la cuenca de San Jorge, donde se asienta el caserío que lleva el mismo nombre, la mayoría de la población se distribuye de manera uniforme en el resto de las cuencas, principalmente entre 300 y 600 m de altitud. El número total de habitantes permanentes dentro de los límites de la reserva es de 641 personas, con una densidad de 0.006 hab/ha. La estructura de la población local muestra que la mayoría de los habitantes (54%) son hombres y 46% son mujeres. El promedio de edad de los dueños es de 55 años y una moda de 43 años. La mayoría de los rancheros tienen más de tres generaciones viviendo en la zona, con casi el mismo estilo de vida, aunque existe emigración de jóvenes hacia las ciudades más cercanas. Las cuencas que presentan mayor número de habitantes y ranchos son San Jorge, Tarayse, San Simón y Cholla (Cuadro 5.1).

- **Actividades económicas**

La mayoría de los rancheros se dedican a la ganadería extensiva, principalmente de ganado bovino, y en menor medida a la crianza de chivas, mulas, puercos y borregos. De los censos levantados, se registró 7,243 cabezas de ganado vacuno y se estimó una carga animal promedio para el área de amortiguamiento de la reserva de 19 ha/Unidad Animal/año (Castorena y Breceda 2002). Estos resultados muestran un sobrepastoreo de la región, ya que la recomendación de COTECOCA (1996) para áreas similares es de 20 a 28 ha/Unidad Animal/año.

También se registraron 1,254 cabras, 538 puercos y 380 borregos, lo que ejerce una mayor presión sobre los recursos forrajeros.

La forestería comercial no es extensiva; sin embargo, algunos rancheros cuentan con permiso para la explotación de especies tropicales, que se utilizan para la producción de postes, vigas y varas. Actualmente existen concesiones para la corta de 4,751 m<sup>3</sup> de madera en el área de amortiguamiento de la reserva. Otra actividad forestal es la producción de leña de autoconsumo, artesanías, muebles y material para la construcción de viviendas rústicas. Con base en la información obtenida en las entrevistas con la población local, se estimó un consumo de leña de 262 leños/rancho/semana (cada leño mide aproximadamente 50 cm de largo y un diámetro de 10 cm). La agricultura en la reserva es prácticamente inexistente, ya que sólo se registraron pequeñas huertas de autoconsumo y algunos de sus productos frutales se destinan a la producción de dulces regionales típicos. Finalmente existen pocas personas que ejercen otras actividades como la talabartería, el comercio o como jornaleros. La minería fue una actividad muy importante en la región; actualmente no existen minas activas dentro del área de la reserva; sin embargo, hay un área importante con permiso para exploración y explotación minera. De la evaluación de todos estos aspectos resultó que San Simón y Saucito son las cuencas con mayor actividad económica destacando la extracción de madera y la superficie bajo exploración minera (Cuadro 5.1).

- **Vegetación y suelo descubierto**

De acuerdo con los resultados de la clasificación supervisada de la imagen de satélite y considerando todas las unidades de la selva (ver capítulo 4), 57% del área de la reserva esta cubierta por selva baja caducifolia, 22% por bosque de encino y bosque de pino-encino y 18% por áreas de escasa vegetación y suelos descubiertos. Se consideró como amenaza las 20,515 hectáreas de suelo descubierto debido a su alta probabilidad de erosión, siendo la cuenca Tarayse la que presentó mayor superficie con áreas desprovistas de vegetación.

- **Caminos e infraestructura.**

Los resultados de la encuesta muestran que ningún rancho tiene acceso a carretera pavimentada, 87% tienen caminos de terracería y 13% no tienen acceso a vehículos motorizados, sino que el acceso es por medio de brechas y sólo se puede transitar a pie o en bestia. Los servicios de energía eléctrica son muy escasos en el área, ya que solamente el caserío de San Jorge y el rancho Las Vinoramas tienen acceso al servicio de Comisión Federal de Electricidad, en tanto que 56% de las rancherías obtienen electricidad mediante energía solar, y 44% no goza de ninguno de estos servicios. Con respecto a los servicios de agua potable, se encontró que la mayoría de las rancherías (78%) se abastecen de los arroyos por medio de mangueras, 13% se abastece directamente de pozo y 5.5% de ranchos presentan las dos opciones anteriores para suministro de agua; sólo 1% de los ranchos posee noria, mientras que otro 1% consigue el agua por medio de pipa. La mayoría de las viviendas están hechas con materiales forestales locales como palo zomillo (*Senna atomaria*), mauto (*Lysiloma divaricatum*), palma (*Washingtonia robusta*), palo de arco (*Tecoma stans*), palo amarillo (*Esenbeckia flava*), palo escopeta (*Albizia occidentalis*) y palo eva (*Chloroleucon manguense*). Con respecto a las cuencas con mayor amenazas derivadas de la accesibilidad son San Simón, Cholla y Saucito.

- **Fuego**

De acuerdo con los datos proporcionados por la Dirección de la Reserva y por Díaz y Arriaga (1992) sobre la incidencia de fuegos en el área, durante los últimos cuarenta años se registraron siete eventos que en promedio han afectado 3,700 ha cada uno. Los fuegos están restringidos a los bosques de encino y pino-encino, dada la alta acumulación de materia seca. A pesar de que los incendios forestales son un fenómeno natural de este tipo de comunidades beneficiando los procesos de regeneración (Wright y Bailey, 1982), en la Sierra de la Laguna la incidencia de fuegos ha aumentado en las últimas dos décadas como consecuencia del incremento de turistas, ya que es común que los visitantes acampen en las partes altas de la sierra y en muchas ocasiones dejan restos de

fogatas e incluso se han presentado actos vandálicos. Las cuencas que presentan mayor riesgo de fuego son San Dionisio y Burrera.

- **Pérdida de identidad cultural**

En este trabajo se consideró a la pérdida de identidad cultural de la población nativa como una amenaza a la conservación, en la medida en que este proceso implica la pérdida de conocimiento tradicional en el manejo de sus recursos naturales y en la identidad geográfica y apego a la tierra. La experiencia de los administradores de la reserva es que el conocimiento sobre los recursos naturales y su manejo es más amplio y profundo en la población nativa que en los nuevos residentes, y que estos últimos son más susceptibles a la especulación de la tierra que los antiguos residentes. Aunado a este proceso, se presenta una creciente emigración de la población joven a las ciudades más cercanas en busca de mejores salarios y de una relativa mejoría económica. La mayoría de los emigrantes jóvenes no retornan a la vida de rancho y con ello se da una pérdida del conocimiento tradicional en el manejo de los recursos naturales. Los rancheros de la Sierra de la Laguna son considerados representantes de una cultura en peligro de extinción. Ellos son los descendientes de colonizadores provenientes de regiones pobres de España, soldados asignados a las misiones, hombres sin tierra, que se alojaron en un espacio que había sido abandonado por los indígenas extintos (Castorena y Breceda, 2002). La pérdida de identidad cultural se evaluó mediante la comparación de la antigüedad histórica de los habitantes de cada cuenca, así como el porcentaje de emigrantes, resultando San Simón y Tarayse como las cuencas de mayor pérdida de identidad cultural.

#### **5.3.2.4. Costos**

De la evaluación de los costos por vigilancia y reforestación, así como la disminución de costos por participación comunitaria, resultó que San Simón, Potrerillos y San Antonio son las cuencas con el menor costo para la instrumentación de los programas de conservación y manejo, toda vez que estas

áreas presentan, relativamente, una mayor accesibilidad y facilidad de vigilancia, así como una gran aceptación de los habitantes locales para aplicar los programas de la Dirección de la Reserva y un costo intermedio de reforestación (Cuadro 5.1).

### 5.3.3. Síntesis

Después de correr el modelo se obtuvieron cuatro categorías de cuencas de acuerdo con su prioridad para la conservación y restauración (Figura 5.3). Las cuencas con la más alta prioridad (Tarayse y San Dionisio) presentan las áreas más grandes de escurrimiento de agua y de potencial de recarga de mantos acuíferos, así como los valores más altos de diversidad y riqueza biológica (Figura 5.3). San Dionisio, en la parte más elevada, contiene al valle de La Laguna que es uno de los sitios más importantes por la concentración de endemismos (León de la Luz y Breceda, 2002). El Tarayse, también bajo fuerte presión de amenaza, sostienen más de 12% de todo el ganado y un área deforestada de 30% de la cuenca. Sin embargo, el costo de conservación de esta cuenca es menor que otras áreas. De acuerdo con estos resultados, se recomienda atención y prioridad a estas dos cuencas.

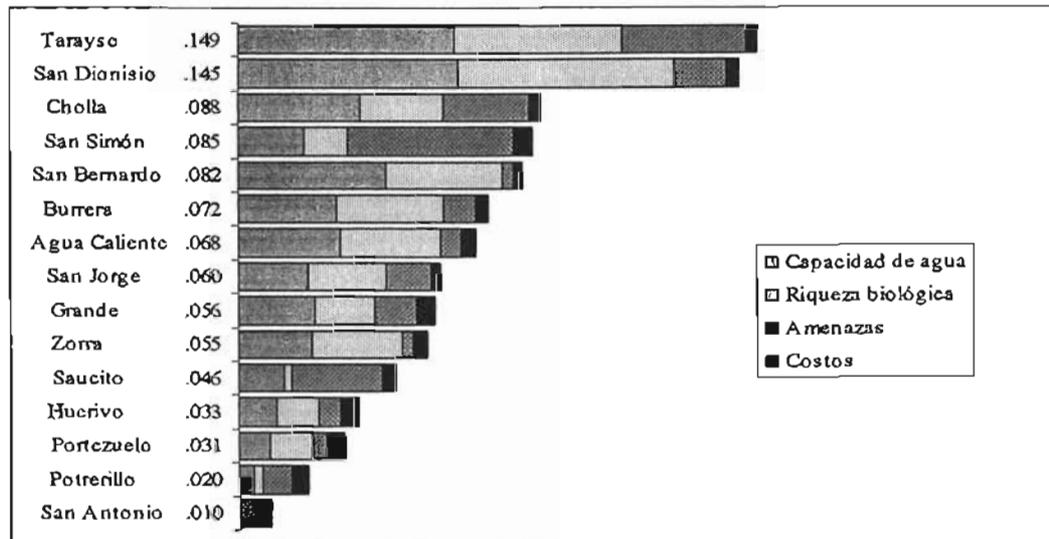


FIGURA 5.3. SÍNTESIS DEL MODELO: PRIORIDADES DE LOS CRITERIOS POR CUENCA

En una segunda posición de prioridad están Cholla, San Simón y San Bernardo. Las dos primeras y particularmente San Simón se encuentra bajo fuertes amenazas (Figura 5.3) derivadas de la extracción comercial de madera, el gran número de habitantes, el peligro potencial de la minería y una extensa superficie con escasa vegetación y erosión. A pesar de que el costo de manejo de esta cuenca es relativamente alto, es necesario aplicar programas de restauración y protección para ella, dado las amenazas en el área. Cholla se encuentra entre las cuatro cuencas de mayor relevancia para la recarga de agua y también sostiene a un gran número de vacas y chivas, así como de área deforestada, por lo que los costos de reforestación son muy altos; sin embargo, es una zona con una alta participación comunitaria y presenta fácil acceso para la vigilancia. San Bernardo está en la tercera posición con respecto a la importancia de recarga de agua y de riqueza biológica y diversidad, y además no presenta fuertes amenazas ya que no existen rancherías establecidas en la zona.

Un tercer grupo de cuencas con una prioridad entre 0.072 y 0.046 comprende a Burrera, Agua Caliente, San Jorge, Grande, Zorra y Saucito. Estas cuencas tienen valores intermedios de importancia para los criterios de agua y riqueza biológica. Finalmente, las cuencas con los valores de prioridad más bajos son Huerivo, Portezuelo, Potrerillo y San Antonio, las cuales contribuyen comparativamente muy poco a los escurrimientos de agua y a la riqueza biológica y presentan altos costos para su conservación y manejo.

#### **5.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.**

La identificación de áreas prioritarias para la conservación es una de las grandes preocupaciones de los biólogos de la conservación. Sus esfuerzos se han enfocado a la protección de áreas de alta biodiversidad, especies endémicas, raras, especies sombrilla o nodrizas, especies amenazadas o de gran valor estético (Margules y Usher, 1981, 1984; Sisk *et al.*, 1994; Ceballos *et al.*, 1998; Mittermeier *et al.*, 1998; Myers *et al.*, 2000). Más recientemente el punto de vista

de los biólogos de la conservación se ha ampliado, incluyendo ecosistemas, paisajes y ecoregiones (Franklin, 1993; Olson y Dinerstein, 1998; Poiana *et al.*, 2000).

La mayoría de las investigaciones se enfocan a grandes regiones geográficas para la protección de la biodiversidad a escalas globales. Sin embargo, el proceso de conservación biológica, en el que las áreas naturales protegidas son uno de los mecanismos principales para alcanzar los objetivos de la conservación, necesita ser analizado no sólo a una escala global o regional, sino también a escalas locales, con información específica de cada sitio, la cual no puede ser obtenida a escalas de análisis global. Sierra *et al.* (2002) han enfatizado la importancia de analizar los problemas de la conservación y el diseño de reservas a escala local, y afirman que la escala más efectiva para planear medidas de conservación en países en desarrollo es aquella que es apropiada para realizar evaluaciones en el ámbito nacional y para reconocer en cada país la variabilidad de los ecosistemas, ya que los esfuerzos conservacionistas internacionales dependen del acuerdo y concurso de instancias de conservación de cada país. Si bien la propuesta de estos autores es innovadora y de gran importancia para la planeación de redes de reservas nacionales, muchos de los problemas que impiden una conservación efectiva se generan en escalas más finas, en esferas que corresponden a los administradores de las reservas y a los tomadores locales de decisión, quienes frecuentemente están limitados por los escasos recursos financieros y humanos, así como a la aceptación social de los habitantes locales para aplicar los programas de conservación. Además, estos programas generalmente están enmarcados en conflictos sociales derivados de problemas de tenencia de la tierra y falta de organización comunitaria.

En este contexto, se puede considerar que la conservación de áreas naturales es un proceso jerárquico (global-regional-nacional-local-sitios prioritarios específicos) con atributos a cada escala de análisis. A escalas globales, los factores biológicos como el número de especies y endemismos, así como las amenazas, han sido consideradas como los criterios más importantes, con menor atención a la situación política o social (Mittermeier *et al.*, 1998; Myers *et al.*, 2000).

Sin embargo, a escalas más finas, como la de las reservas, la situación social y económica de los habitantes locales es fundamental, así como los elementos biológicos y administrativos. No es posible alcanzar los objetivos de conservación sin la participación de los habitantes locales en este procesos, así como optimizar los pocos recursos humanos y financieros (Wells y Brandon, 1993). Esto es particularmente importante en países en desarrollo, donde existen grandes restricciones financieras y las áreas naturales protegidas están asociadas a poblaciones locales que demandan el continuo uso de recursos naturales (Castellanos *et al.*, 2002).

La selección de áreas para la conservación requiere de una amplia gama de criterios: biológicos, sociales, financieros y administrativos. En este contexto, los modelos multicriterio son una excelente herramienta para las evaluaciones ecológicas, pues ayudan a los manejadores a tomar decisiones ambientales con un marco para coleccionar y procesar información relevante. Esto hace al proceso de decisión congruente y transparente (Anselin *et al.*, 1989; Malczewski *et al.*, 1997 y Lahdelma *et al.*, 2000). Existen varias técnicas multi-criterio en evaluaciones ambientales y el AHP es uno de los más flexibles y fáciles de instrumentar. Este tipo de análisis es una alternativa valiosa para ayudar a los manejadores de las reservas en la priorización de sitios para instrumentar programas de conservación y optimizar los recursos humanos y financieros. Finalmente, es necesario enfatizar que una de las contribuciones de este estudio consiste en conjuntar información obtenida por investigaciones biológicas y ecológicas en el área con las necesidades de manejo identificadas por los administradores de la reserva, ya que con ello se ha pretendido reducir la distancia entre estas dos esferas de la conservación. Esta conjunción es de gran importancia para el avance efectivo de los problemas que enfrenta la conservación, los cuales han sido ampliamente discutidos por Prendergast *et al.* (1999).

## VI. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

Diversos estudios sobre el patrón de vegetación en el trópico seco muestran que éste corresponde a un mosaico de vegetación, en el que los diferentes parches o unidades que lo conforman no presentan límites discretos, pero son identificables y distintivos, siendo los factores físicos, principalmente aquellos que influyen sobre la disponibilidad de agua, los que determinan este patrón de parches a escalas regionales y de paisaje. A pesar de que existe un acuerdo sobre la determinación de factores físicos como los causantes de la heterogeneidad biológica de estos ecosistemas, se presenta una estructura jerárquicamente limitada a diferentes escalas. Así, a escalas regionales el clima parece ser el factor determinante en la cobertura de especies leñosas y en la composición florística (Coughenour y Ellis, 1993; León de la Luz *et al.*, 2000), mientras que las variaciones topográficas como las exposiciones, la altitud, la pendiente y las características del suelo operan en escalas de paisaje, determinando una redistribución en la disponibilidad del agua e influyendo sobre aspectos estructurales de la vegetación como la altura de los árboles, el porcentaje de cobertura y la densidad, así como en riqueza específica y diversidad  $\beta$  (Balvanera *et al.*, 2002; Coughenour y Ellis, 1993; Galicia *et al.*, 1999; Jha y Singh, 1990; Montaña y Valiente, 1998; Patten y Ellis, 1995; Pérez-García, *et al.*, 2001).

Los disturbios derivados de las actividades humanas como prácticas agrícolas y pastoriles son también elementos de heterogeneidad ambiental y contribuyen a la formación del mosaico de vegetación en el trópico seco. Para el bosque tropical seco de Kenia, Coughenour y Ellis (1993) encontraron que estos disturbios afectaban a escala local y que eran una fuerza débil sobre la cobertura de especies leñosas y la composición de especies. Asimismo, los disturbios por tala, quema o sobrepastoreo presentan efectos locales sobre las estrategias de regeneración, favoreciendo la regeneración vegetativa y se presentan efectos diferenciales sobre la densidad y la composición del banco de semillas y de los juveniles (Kennard *et al.*, 2002; Ramírez-Apud, 1998; Ortiz-Ávila, 1999).

A escalas locales existen otros factores que influyen en la heterogeneidad ambiental; por ejemplo, se presenta una agregación de individuos perennes que forman grupos bajo la sombra de árboles o arbustos de gran tamaño que proporcionan protección contra la radiación solar (Arriaga *et al.*, 1993). La heterogeneidad ambiental local generada por la microtopografía también es un factor que contribuye a la formación del mosaico típico de este tipo de vegetación, la acumulación de nutrientes en pequeñas depresiones del suelo permite el desarrollo de una mayor actividad biológica y productividad primaria que en sitios planos de suelo poco desarrollado (Roy y Singh, 1994).

En el caso de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, existe también un mosaico de vegetación en donde operan diversos factores a distintas escalas. En escalas regionales, los factores históricos y climáticos parecen determinar la composición y distribución de especies, es así que el ensamble florístico de la selva está compuesto por especies de afinidad “árida”, cuyo patrón de distribución actual responde a los límites del Desierto Sonorense, así como especies “tropicales “ con un patrón de distribución que corresponde a las zonas del trópico seco mexicano, resultados que concuerdan con lo encontrado por Breceda *et al.* (1994) sobre las relaciones fitogeográficas de la selva baja de la Sierra de la Laguna con otras regiones tropicales y áridas de México. La importancia de los aspectos históricos y fitogeográficos como causas de heterogeneidad en las comunidades del trópico seco han sido también registrados para la región del Istmo de Tehuantepec, en donde la coexisten especies xerófilas y tropicales en la selva baja caducifolia de esa región responde a fenómenos históricos (Pérez-García *et al.*, 2001).

La composición árido-tropical de la selva baja caducifolia en la Sierra de la Laguna es resultado de largos procesos geohistóricos y climáticos dinámicos, en donde la acentuación de la aridez en la historia geológica regional ha determinado la expansión del Desierto Sonorense y el refugio de la vegetación tropical hacia el sur, principalmente en las laderas de la Sierra de la Laguna. Los registros paleontológicos regionales del Oligoceno-Mioceno muestran la existencia de paleoambientes tropicales (Cevallos-Ferriz y Barajas-Morales, 1994), y registros

paleontológicos más recientes indican la acentuación de la aridez en esta región (Van Devender, 1987; Sankey *et al.*, 2001), lo que ocasionó la concentración de la vegetación tropical hacia el sur, en sitios climáticamente más húmedos. Los registros de especies tropicales como *Lysiloma divaricatum* y *Jatropha vemicosa* para localidades de la Sierra de la Giganta, aproximadamente a 26° de latitud norte y 111° longitud oeste, y más o menos a 270 km al norte de la Región del Cabo, son un reflejo de este proceso, constituyéndose en poblaciones relicto de una vegetación que en el pasado inmediato presentaba una distribución más amplia que la actual. Esta hipótesis es también sustentada por las observaciones de Cody *et al.* (2002) para las islas del Golfo de California, en donde se observa una distribución disyunta de elementos tropicales en islas localizadas al norte de La Paz y en la Región del Cabo. Esta conclusión nos permite dimensionar la relevancia de la Sierra de la Laguna como un área refugio de una vegetación que antaño presentaba una distribución geográfica más amplia. Asimismo, el aislamiento geográfico y ecológico de las comunidades naturales que se desarrollan en esta serranía han permitido la evolución de un gran número de especies y subespecies endémicas, dando un carácter único a las comunidades que ahí se encuentran.

A escalas de paisaje, del orden de los 1,000 km<sup>2</sup>, los resultados de la respuesta espectral de la vegetación mostraron un mosaico de vegetación en función del porcentaje de la cubierta vegetal y de la participación de ciertas especies en ésta. Este mosaico está relacionado con la exposición y la pendiente. La selva baja caducifolia cerrada presenta densas coberturas vegetales (> 180%), en donde *Lysiloma divaricatum* (mauto) es la especie predominante. A pesar que la mayoría de la superficie de esta unidad presenta condiciones de aridez similares a las otras unidades, en escalas regionales, la distribución de este tipo de selva se localiza principalmente en sitios de exposición norte y pendientes pronunciadas, en condiciones microclimáticas más húmedas. Esta unidad de la selva baja caducifolia es la única que tiene una mayor proporción en la abundancia de especies tropicales con respecto a la de las especies de afinidad árida, y da refugio a *Plumeria rubra* var. *acutifolia*, especie francamente tropical;

asimismo, es en esta unidad en donde *Jatropha vernicosa*, especie catalogada como tropical, muestra su mayor cobertura. Además la selva cerrada es la unidad que mostró mayor riqueza específica y representa una condición típicamente tropical. La selva amatorralada densa de *Jatropha cinerea-Tecoma stans* es también una unidad de cobertura muy densa (> 180%), pero en donde el mauto está pobremente representado; esta unidad de vegetación se asocia principalmente a la vertiente del Golfo de California en laderas de exposición este y de pendientes suaves; es probable que esta exposición sea la causa de que, a pesar de que se desarrolla en sitios con un índice de aridez similar a la de la selva cerrada, en la selva amatorralada haya mayor abundancia de elementos áridos que tropicales. La selva abierta y las áreas de escasa vegetación muestran una pobre cobertura vegetal y están asociadas a los sitios microclimáticamente de menor humedad, ya que ocupan preferentemente áreas de exposición sur y oeste; asimismo se presentan en las áreas de menor altitud y de mayor frecuencia de ranchos.

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con planteamientos de otros autores, quienes consideran a los efectos topográficos como una fuerza dominante en la constitución del mosaico de vegetación del trópico seco a escalas del paisaje (Balvanera *et al.*, 2002; Coughenour y Ellis, 1993; Galicia *et al.*, 1999; Jha y Singh, 1990; Patten y Ellis, 1995) En el caso de la vegetación de Nizanda en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca se presenta un complejo mosaico de vegetación conformado por la coexistencia de diferentes tipos de vegetación relacionados a factores litológicos, fisiográficos, edáficos y de disturbio por actividades humanas; y dentro de la selva baja caducifolia de esa región se identificaron variaciones fisonómicas y de composición florística relacionadas a con el tipo de material parental. Los resultados del presente estudio, así como las observaciones de otros autores, sugieren que para los ecosistemas del trópico seco y particularmente para las selvas bajas variaciones espaciales relativamente pequeñas tienen efectos importantes en el patrón del mosaico de vegetación.

A escalas locales se encontró que también existe una relación directa entre la pendiente y factores biológicos tales como la riqueza específica y la cobertura

vegetal; en este nivel jerárquico las variaciones topográficas, particularmente las derivadas de la pendiente, también influyen en la conformación del mosaico de vegetación. Las variaciones latitudinales se asociaron inversamente con el índice de aridez de Martonne y directamente con la presencia de ganado; es decir, en latitudes norteñas encontramos mayor aridez y ganado que en el sur de la Reserva, siendo la zona noroeste de la reserva (cuencas San Simón, Tarayse y Saucito) una región con fuertes amenazas, ya que las áreas de escasa vegetación ocupan una gran porción de la superficie de esa zona de la reserva y es donde se concentra tanto las actividades mineras, el ganado y una mayor aridez. A escala local, Arriaga *et al.* (1993) encontraron como un factor de heterogeneidad ambiental en esta comunidad a la distribución de la vegetación en cúmulos, que si bien no existe el fenómeno de reemplazamiento típico de nodrizaje entre leguminosas y cactáceas característico de matorrales xerófilos, sí se presentan cúmulos en donde algunas especies crecen a la sombra y protección de algunos individuos de mayor tamaño y cobertura, en cuya sombra se registraron diferencias de temperatura del suelo de hasta 20° C menos que en áreas abiertas.

Los disturbios por actividades humanas en ecosistemas del trópico seco han sido estudiados por diversos autores (Breceda *et al.*, 2005; Coughenour y Ellis, 1993; Kennard *et al.*, 2002; Ortíz-Ávila, 1999 y Ramírez-Apud, 1998). Coughenour y Ellis (1993) consideran que los efectos de las actividades humanas en los ecosistemas del trópico seco en Kenia actúan en escalas locales. En el caso de la Sierra de la Laguna, es importante analizar las actividades humanas a lo largo de la historia de uso y aprovechamiento de los recursos vegetales, con el fin de evaluar su impacto dentro de la vegetación.

Para esta región, los disturbios derivados de actividades humanas datan de una larga historia de manejo. Ya desde antes de la colonización española, esta zona dio refugio y abasto a grupos indígenas que habitaban la región, principalmente pericúes. La información más documentada sobre estas poblaciones proviene de fuentes misionales, entre los que destacan Juan Jacobo Baegert (1942), Miguel Del Barco (1973) y Francisco Javier Clavijero (1963). Asimismo, investigaciones arqueológicas recientes han permitido reconstruir

algunas prácticas de los indios pericúes en la región. Por ejemplo en el trabajo de Reygadas y Velázquez (1982) se señala el descubrimiento de silos en la Sierra de la Laguna, en donde los pericúes conservaban sus alimentos. Se sabe que los californios fueron grupos nómadas dedicados esencialmente a la recolección y la caza, estableciendo recorridos fijos donde los puntos de referencia eran los aguajes y las cuevas (Cariño, 1992). Uno de los principales recursos naturales consumidos por los indios pericúes eran los frutos de pitahaya dulce y agria (*Stenocereus thurberi* y *S. gummosus*, respectivamente). La pitahaya dulce se distribuye en las partes bajas y medias de la Sierra de la Laguna, en tanto que la pitahaya agria es más común en las zonas de baja altitud. Otros recursos vegetales que formaban parte de la dieta de las poblaciones indias eran el ciruelo (*Cyrtocarpa edulis*), el salate (*Ficus palmeri*), el garambullo (*Lophocereus schottii*), el palo blanco (*Lysiloma candida*), el cardón (*Pachycereus pringlei*), las biznagas (*Ferocactus* spp.), entre otras (Altable, 1995). Todas estas especies forman parte del ensamble florístico de la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, principalmente en zonas de baja altitud. No existen investigaciones que muestren el impacto de las prácticas de consumo de los californios sobre la vegetación, pero es probable que la baja densidad poblacional de estos grupos humanos, así como sus prácticas de manejo, tuviesen un impacto muy localizado y que no haya trascendido hasta la actualidad.

Los disturbios derivados de actividades humanas más extendidos e importantes en la región inician con el régimen misional, particularmente durante el período de las misiones jesuitas (1697-1768), cuando se da inicio al proceso de colonización de este territorio. En la Sierra de la Laguna es a mediados del siglo XVIII cuando aparecen los primeros ranchos ganaderos, que constituyen la base del moderno poblamiento de la Sierra de la Laguna. Desde el inicio de su establecimiento hasta la actualidad, la principal actividad de esta población es la ganadería extensiva, fundamentalmente de ganado vacuno. Según Arriaga y Cancino (1992), en la Sierra de la Laguna el ganado consume 102 especies nativas, siendo las familias Leguminosae, Poaceae y Asteraceae las que presentan mayor número de especies forrajeadas; entre las especies más

importantes para la ganadería se encuentran *Amaranthus* spp., *Cenchrus* spp., *Bidens* spp., *Celosia floribunda*, *Turnera diffusa*, *Loeselia ciliata*, *Mentzelia aspera* y *Pectis multiseta* var. *ambigua* (Arriaga y Breceda, 1999). La presencia de ranchos está asociada a la explotación forestal; actualmente los principales usos para este recurso son la producción de postes para viviendas y cercos ganaderos, techos de palma y leña para combustible. Las especies más utilizadas son palo zorrillo (*Senna atomaria*), mauto (*Lysiloma divaricatum*), palma (*Washingtonia robusta*), palo de arco (*Tecoma stans*), palo amarillo (*Esenbeckia flava*), palo escopeta (*Albizia occidentalis*) y palo eva (*Chloroleucon mangense*) (Breceda et al., 1997). También se registró un importante consumo de leña, calculado en el orden de 250 leños/rancho/semana (un leño mide aproximadamente 50 cm de largo y 10 cm de diámetro 10 cm).

El impacto de las actividades humanas en el área muestra un claro efecto sobre la vegetación, ya que 18% del área presenta escasa vegetación o suelo descubierto, superficie que se concentra en las cuencas del Tarayse, Cholla, Saucito y San Simón, con más de 70% del área afectada. Cabe señalar que además de las actividades forestales tradicionales, en estas cuencas ha habido actividades relacionadas con la minería, tanto en el presente como históricamente. En el caso de las cuencas Cholla y San Antonio, es probable que las explotaciones mineras de El Triunfo y San Antonio, que iniciaron en 1751 y 1756 (Amao, 1981) se hayan abastecido de postes de esta región. En el caso de las cuencas Tarayse, San Simón y El Saucito las actividades mineras recientes han afectado seriamente el área. Actualmente los recursos forestales se utilizan principalmente para la producción de postes, que se emplean en la construcción de cercos y viviendas. La especie más utilizada es el palo zorrillo (*Senna atomaria*), especie que muestra una severa extracción, particularmente en individuos con un diámetro basal  $\geq 20$  cm (Breceda et al., 1997).

El efecto de los asentamientos humanos sobre la abundancia y diversidad de plantas y las aves en la Sierra de la Laguna ha sido estudiado por Ramírez (2001), en ese trabajo se encontró que en un radio de un kilómetro de distancia a los ranchos, la abundancia y diversidad de plantas es menor alrededor de los

ranchos que en las zonas más alejadas, en tanto que la abundancia y diversidad de aves aumenta en las cercanías a los ranchos. Las especies vegetales más afectadas alrededor de los ranchos fueron las de importancia forestal y comestibles, particularmente pitahayas (*Stenocereus thurberi* y *S. gummosus*).

Uno de los aspectos más estudiados sobre el impacto de las actividades antrópicas en el área ha sido el efecto de la ganadería sobre la cubierta vegetal de la selva baja caducifolia. En el trabajo de Ramírez-Apud (1998) se analizó el efecto de la ganadería sobre el banco de semillas, y se encontró que la ganadería se relaciona con una mayor presencia de especies anuales como *Muhlenbergia microsperma* y *Borehavia erecta*, en tanto que en parcelas excluidas de este efecto presentan una mayor densidad de hierbas perennes, particularmente especies como *Carlowrightia arizonica* y *Evolvulus alsinoides*. Estos resultados se deben a que estas especies son intensamente consumidas por el ganado, por lo que las densidades en el banco de semillas en parcelas expuestas se ve fuertemente disminuido. Asimismo, Ortiz-Ávila (1999) concluye que la actividad ganadera en la reserva afecta el desarrollo y establecimiento de plántulas y juveniles de hierbas perennes, favoreciendo la abundancia de arbustos, por lo que un indicador de ganadería en ecosistemas del trópico seco es la abundancia de arbustos. Otro estudio relacionado con el efecto del ramoneo por ganado vacuno fue desarrollado por Breceda *et al.* (2005), quienes estudiaron cambios en la alometría del mauto (*Lysiloma divaricatum*) por efecto del ramoneo vacuno, es decir, cambios entre variables morfológicas como el tamaño y la forma de los individuos. El mauto es una de las especies dominantes de la selva baja caducifolia; además de presentar una de las coberturas vegetales más densas, su papel en la comunidad es de gran importancia, ya que bajo el dosel de este árbol se establecen numerosas especies arbustivas y cactáceas, protegiéndolas así de las altas temperaturas y de la sequía extrema. Además de este importante papel ecológico, las hojas y las vainas de esta leguminosa arbórea suelen ser consumida por el ganado. Los resultados de dicho estudio muestran que existe un efecto del ramoneo por ganado vacuno en las relaciones alométricas de altura-diámetro basal y cobertura-diámetro basal, observándose el efecto *bonsái* en los

individuos ramoneados, ya que comparativamente con individuos no ramoneados, los bonsáis de mauto presentan alturas y coberturas vegetales muy pequeñas y los diámetros basales son gruesos.

Con respecto a los disturbios derivados de la actividad humana en el área, se puede concluir que existen efectos importantes sobre la selva baja caducifolia de la región, que si bien la actividad productiva más generalizada es la ganadería extensiva de ganado vacuno, ésta se ha venido desarrollando dentro del área desde hace más de 200 años, básicamente de la misma manera y con un número de cabezas que no ha variado de manera sustancial - según Amao (1981), en 1775 uno de los primeros fundadores de los ranchos del sur de la Península, Don Manuel de Ocio, concentraba un hato ganadero de aproximadamente 5,000 cabezas en el área de la Sierra de la Laguna -, en tanto que los resultados del censo a las rancherías del área arrojaron un total de 7,243 cabezas de ganado vacuno. Esta permanencia relativa en el número de cabezas del área se debe a que la forma de explotación ganadera es extensiva y rudimentaria, lo que condiciona a que el hato ganadero esté expuesto a las condiciones climáticas imperantes, lo que obliga a los rancheros a vender su ganado en periodos previos a la sequía o de lo contrario están destinados a perder buen número de su ganado. Esta regulación climática de la ganadería ha permitido mantener ciertas condiciones de la cubierta vegetal, y los impactos más notorios se relacionan con la abundancia de arbustos, en otras palabras, al *amatorralamiento* de la selva y a la introducción y dispersión de ciertas especies anuales.

En este contexto de manejo y uso de la vegetación por las poblaciones humanas en la región, es posible concluir que el efecto de los disturbios derivados de las actividades humanas en el área excede la escala geográfica local, si bien existen diferencias en la intensidad y el tipo de disturbio, siendo las áreas más cercanas a los ranchos, a los arroyos y a los cuerpos de agua las zonas en donde se ejerce mayor presión sobre la vegetación. El efecto de las actividades mineras, ganaderas y forestales se extiende sobre gran parte de la selva baja caducifolia de la región, y más que tener un efecto local, se presenta como un régimen histórico

extensivo de disturbio que ha contribuido a la formación de esta vegetación como un mosaico y con una gran heterogeneidad florística.

Finalmente los resultados de los estudios presentados en esta tesis permiten identificar un mosaico de vegetación en la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, un mosaico que está formado por distintas unidades que se diferencian por la cobertura vegetal y por las especies que contribuyen a ésta. En la configuración de este mosaico de vegetación operan diversos elementos exógenos que actúan a distintas escalas. Los factores históricos tienen una expresión regional que influyen en la composición florística y sobre los patrones de distribución de especies áridas y tropicales. Los factores climáticos también operan a escala regional; sin embargo, la conjunción con variaciones fisiográficas crean condiciones locales que influyen en la conformación del mosaico. Los factores espaciales derivados de la topografía tienen una gran influencia en la composición del mosaico de vegetación, siendo las exposiciones y las pendientes factores locales determinantes en esta comunidad. La influencia de las actividades humanas en el área tienen efectos regionales debido a la larga historia de manejo del área y a la forma extensiva con la que se practican. Todos estos elementos imprimen una gran heterogeneidad en esta selva baja caducifolia conformada como un complejo mosaico de vegetación.

## VII. LITERATURA CITADA

- Altable, F. 1995. Aportaciones a la etnología y la ecología sudcalifornianas en las obras de Miguel del Barco y Juan Jacobo Baegert. Pp. 81-128. *In*. M. Carriño (Ed.). Ecohistoria de los Californios. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S.
- Álvarez, S., P. Galina, A. González y A. Ortega. 1988. Herpetofauna. Pp. 167-184. *In*. L. Arriaga y A. Ortega (Eds.). La Sierra de La Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Amao, J.L. 1981. El establecimiento de la comunidad minera en la California Jesuítica. Colección Cabildo, Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz, B.C.S.
- Anselin, A., P.M. Meire y L. Anselin. 1989. Multicriteria techniques in ecological evaluation: An example using the Analytical Hierachy Process. *Biological Conservation*, 49:215-229.
- Arriaga, L. y A. Ortega. 1988. La Sierra de La Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Arriaga, L. y J. L. León de la Luz. 1989. The Mexican tropical deciduous forest of Baja California Sur: A floristic and structural approach. *Vegetatio*, 84: 45-52
- Arriaga, L. y J. Cancino. 1992. Prácticas pecuarias y caracterización de especies forrajeras en la selva baja caducifolia. Pp. 155-184. *In*. A. Ortega (Ed.). Uso y Manejo de los Recursos Naturales Terrestres de la Sierra de la Laguna, B.C.S. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Arriaga, L., Y. Maya, D. Díaz y J. Cancino. 1993. Association between cacti and nurse perennials in a heterogeneous tropical dry forest in northwestern Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 4:349-356.
- Arriaga, L. 1994. Estrategia de Conservación de la Reserva de la Biosfera de la Sierra de La Laguna. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S.
- Arriaga, L. y A. Breceda. 1999. The tropical dry forest of the Cape Region: An ecological approach for its conservation. Pp. 121-152. *In*. P. Ffolliott y A. Ortega (Eds.). *Ecology and Management of Forest, Woodlands and Shrublands in the Dryland Regions of the United States and Mexico: Perspectives for the 21 Century*. University of Arizona, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, USDA Forest Service. La Paz, B.C.S.

- Axelrod, D.I. 1950. Further studies of the Mount Eden Flora, southern California. Carnegie Institution of Washington Publication 590: 73-117.
- Axelrod, D.I. 1979. Age and origin of Sonoran Desert vegetation. Occasional Papers of the California Academy of Sciences, 132: 1-74.
- Baegert, J. J. 1772. Noticias de la Península Americana de California. (1ª ed. en español, 1942). Antigua Librería Robredo. México, D.F.
- Balvanera, P., E. Lott, G. Segura, C. Siebe y A. Islas. 2002. Patterns of  $\beta$ -diversity in a Mexican tropical dry forest. Journal of Vegetation Science, 13: 145-158.
- Banai-Kashani, A. R. 1989. A new method for site suitability analysis: The Analytic Hierarchy Process. Environmental Management 13: 685-693.
- Bojórquez-Tapia, L., I. Azuara y E. Escurra. 1995. Identifying conservation priorities in México through geographic information systems and modeling. Ecological Applications, 5: 215-231.
- Brandegee, T. S. 1891. Flora of the Cape Region of Baja California. Proc. Calif. Acad. Sci. ser. II, 3: 218-27.
- Brandegee, T.S. 1892a. The distribution of the flora of the Cape Region of Baja California. Zoe, 3: 223-31.
- Brandegee, T. S. 1892b. Additions to the flora of the Cape Region of Baja California. Proceedings of the California Academy of Sciences. Ser II. 3: 218-27.
- Breceda, A. 1994. La selva baja caducifolia y la vegetación de fondo de cañada en la Sierra de la Laguna, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Breceda, A., J.L. León de la Luz y L. Arriaga. 1994. Phytogeographic relationships of the tropical dry forest of Baja California Sur with the Sonoran Desert and the nearest tropical vegetation of mainland Mexico. Biogeographica IV:45-52.
- Breceda, A., A. Castellanos, L. Arriaga y A. Ortega. 1995. Nature conservation at Baja California Sur: Status of protected areas. Natural Areas Journal, 15: 267-272.
- Breceda, A., L. Arriaga y Y. Maya. 1997. Forest resources of the tropical dry forest and riparian communities of Sierra de la Laguna Biosphere Reserve, B.C.S., México. Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science, 30:1-16.

- Breceda, A., V. Ortiz y R. Scrosati. 2005. Mauto (*Lysiloma divaricatum*, Fabaceae) morphology as an indicator of cattle grazing pressure in a tropical dry forest in northwestern Mexico. *Rangeland Ecology and Management*, 58: 21-24.
- Breedlove, D. 1986. Listados Florísticos de México IV. Flora de Chiapas. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 246 pp.
- Brooks, K., P.F. Ffolliott, H.M. Gregersen y L.F. DeBano. 1991. Hydrology and the management of the watersheds. 2ª. Ed. St. U. Press. Iowa.
- Bullock, S.H. 1995. Plant reproduction in Neotropical dry forest. Pp. 277-303. *In*. S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (Eds.). *Seasonally dry forests*. Cambridge University. Press. Cambridge.
- Bullock, S. 2003. Seasonality, spatial coherence and history of precipitation in a desert region of the Baja California peninsula. *Journal of Arid Environments*, 53: 169-182.
- Cariño, M. M. 1992. Los hombres y el aprovechamiento de los recursos naturales del ambiente en la época colonial de sudcalifornia (s. XVI-XVIII). Pp. 21-44. *In*. A. Ortega (Ed.). *Uso y Manejo de los Recursos Naturales en la Sierra de La Laguna*, B.C.S. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Carter, A. 1979. La vegetación de la Sierra de la Giganta, Baja California Sur: Su importancia como potencial científico y económico. Memoria, III Simposio Binacional sobre el Medio Ambiente del Golfo de California. Publicación Especial. No. 14, Enero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Ensenada. B.C.
- Casalegno, S. 1997. L'écotone entre la forêt tropicale caducifoliée et la forêt de chênes en Basse Californie: Analyse structurale et apport de l'imagerie SPOT. Tesis de Maestría (DEA) en Ecología. Universidad de París VI. París.
- Casalegno, S., L. Ariaga, C. M. Girard y M.F. Passini. 2000. Utilisation de donés de teledetection pour la caracterisation d'un ecotone en region tropicale de montagne: Exemple dans la Sierra de la Laguna, Basse Californie Sud, Mexique. *Bulletin Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 160: 1-12.
- Castellanos, A., L. Ariaga y C. López. 2002. El Vizcaino Biosphere Reserve: A case study of conservation and development in Mexico. *Natural Areas Journal*, 22: 331-339.
- Castillo, P. E. P., P. Lehtonen, V. Sosa y R. Escobar. 1989. Proyecciones de los principales indicadores forestales de México a largo plazo (1988-2012). Reporte

Interno. Subsecretaría Forestal. Cooperation Project México-Finland. SARH, México, D.F.

- Castorena, L. y A. Breceda 2002. Diagnóstico Social y Diseño de Estrategia Operativa para la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONANP). La Paz, B.C.S.
- Ceballos, G., P. Rodríguez y R. A. Medellín. 1998. Assesing conservation priorities in Megadiverse Mexico: Mammalian diversity, endemicity and endangementment. *Ecological Applications* 8:8-17.
- Cevallos-Feriz, S. y J. Barajas –Morales. 1994. Fossil woods from the Cien formation in Baja California Sur.: Leguminosae. *IAWA Journal*, 15: 229-245.
- Clark Labs. 2003. Software IDRISI version 14.0 (Kilimanjaro). Clark University, Massachussets.
- Clavijero, F.J. 1963. Historia de la Antigua Baja California. Ed. Porrúa S.A. México, D.F.
- Cloudsley-Thompson, J.L. 1996. Biotic Interactions in Arid Lands: Adaptations of Desert Organisms. Springer-Verlag, Nueva York.
- Cody, M., R. Moran, J. Rebman y H. Thompson. 2002. Plants. Pp. 63-111. *In*. Case, J. T., M. Cody y E. Ezcurra. A New Island Biogeography of the Sea of Cortés. Oxford University Press, Nueva York,.
- Cohen, W.B. 1991. Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57:195-202.
- CONABIO.1998a. Clasificación Climática - República Mexicana, México, D.F. Formato digital.
- CONABIO. 1998b. La Diversidad Biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- CONANP. 2002. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, II Aniversario: Perspectivas y Logros. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- Connor, E.F. y D. Simberloff. 1979. The assembly of species communities: Chance or competition?. *Ecology* 60:1132-1140.

- Coria, R. 1988. Climatología. Pp. 45-52. *In.* L. Arriaga y A. Ortega (Eds.). La Sierra de la Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Cornell, H. V., y R.H. Karlson. 1997. Local and regional processes as control of species richness. Pp. 250-269. *In.* Tilman, D. y P. Kareiva (Eds.). Spatial Ecology: The role of space in population dynamics and interspecific interactions. Princeton University Press. Princeton.
- COTECOCA. 1996. Coeficiente de Agostadero del Municipio de Los Cabos, Baja California Sur. Informe Técnico. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Delegación Estatal en BCS, Comisión Técnico Consultiva de Coeficiente de Agostadero. La Paz, B.C.S.
- Coughenour, M.B. y J. E. Ellis. 1993. Landscape and climatic control of woody vegetation in a dry tropical ecosystem: Turkana District, Kenya. *Journal of Biogeography*, 20:383-398.
- Chesson, P. 2000. Mechanisms of Maintenance of Species Diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31:343-66.
- Chesson, P.L. y T.J. Case. 1986. Overview: Nonequilibrium community theories, chance, variability, history and coexistence. Pp. 229-239. *In.* J. Diamond y T.J. Case (Eds.). *Community Ecology*. Harper & Row, Nueva York.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial 3ª ed. revisada. RIALP, Madrid.
- Daniel, T.F. 1997. The Acanthaceae of California and the Peninsula of Baja California. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 49:309-403
- Davis, M.B. 1986. Climatic instability, time lags and community disequilibrium. Pp. 267-284. *In.* J. Diamond y T.J. Case (Eds.). *Community Ecology*. Harper & Row, Nueva York,.
- Davis, F.W., D.M. Stoms, J.E. Estes y J. Scepan. 1990. An information system approach to the preservation of biological diversity. *International Journal Geographical Information Systems*, 4: 55-78.
- Del Barco, M. 1973. Historia Natural y Crónica de la Antigua California. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. Tomo CDLXXXIX, No. 4, 6 de Junio de 1994. Secretaría de Gobernación. México, D.F. .

- Díaz, S. y L. Arriaga. 1992. Estudio de poblaciones sobre *Pinus lagunae* M.F. Passini y su Posible aprovechamiento. Pp. 185-204. *In*. A. Ortega (Ed.). Uso y Manejo de los Recursos Naturales en la Sierra de La Laguna, B.C.S. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Díaz, S., C. Salinas-Zavala y L. Arriaga. 1994. An interannual climatological aridity series for the Sierra de la Laguna, B.C.S., Mexico. *Mountain Research and Development* 14: 137-146.
- Díaz, S. 2002. Paleoclimatología del Noroeste Mexicano. Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S.
- Dickinson, M.B., D.F. Whigham y S.M. Hermann. 2000. Tree regeneration in felling and natural treefall disturbances in a semideciduous tropical forest in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 134:137-151.
- Durham, J. W. y E. C. Allison. 1960. The geologic history of Baja California and its marine fauna. *Systematic Zoology*, 9:47-91.
- Elumnoh, A. y R.P. Shrestha. 2000. Application of DEM data to Landsat Image Classification: Evaluation in a tropical wet-dry landscape of Thailand. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66:(297-304.
- Expert Choice Inc. 2000. Software Expert Choice 2000. Washington D.C.
- Flores, M.G., X. Jiménez, F. Madrigal, F. Moncayo y F. Takaki. 1971. Memorias del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- Flores-Villela, O. Y P. Gerez.1989. Mexico's Living Endowment: An Overview of Biological Diversity. Conservation International-Instituto Nacional de Investigaciones de los Recursos Bióticos, México, D.F.
- Foody, G.M. y P.J. Curran. 1994. Estimation of tropical forest extent and regenerative stage using remotely sensed data. *Journal Biogeography*, 21:223-244.
- Forman, R. T.T. 1997. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. Cambridge.
- Forman, R.T.T. y M. Gordon. 1986. Landscape Ecology. John Wiley and Sons. Nueva York.
- Franklin, F. J. 1993. Preserving biodiversity: Species, ecosystems or landscapes?. *Ecological Applications*, 3: 202-205.

- Franklin, J. y E.C. Woodcorck. 1997. Multiscale vegetation data for the mountains of southern California: Spatial and categorical resolution. Pp. 141-171. *In*. D.A. Quattrochi y M. F. Goodchild (Eds). Scale in remote Sensing and Gis. Lewis Publishers, Nueva York.
- Galicia, L., J. López-Blanco, A.E. Zarco-Arista, V. Filips y F. García-Oliva. 1999. The relationships between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico. *Catena*, 36: 153-164.
- Galina, P., A. González, G. Amaud, S. Gallina y S. Alvarez. Pp. 209-228. 1988. Mastofauna. *In*. A. Ortega (Ed.). Uso y Manejo de los Recursos Naturales Terrestres de la Sierra de la Laguna, B.C.S. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Gallardo-Cruz, J., J. Meave y E. Pérez-García. 2005. Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 76:19-35.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2a ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México D:F.
- García, E. y P. Mosiño. 1968. Los climas de Baja California. Pp. 29-56. *In*. R. del Arenal (Ed.). Comité Nacional mexicano para el decenio hidrológico internacional. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Memoria 1966-1967. México, D.F.
- Garcillán, P.P., E. Ezcurra y H. Riemann. 2003. Distribution and species richness of woody dryland legumes in Baja California, México. *Journal of Vegetation Science*, 14:457-486.
- Garcillán, P.P. y E. Ezcurra. 2003. Biogeographic regions and  $\beta$ -diversity of woody dryland legumes in the Baja California peninsula. *Journal of Vegetation Science*, 14:859-868.
- Gentry, S. H. 1942a. Rio Mayo Plants. A Study of the Flora and Vegetation of the Valley of the Rio Mayo, Sonora. Carnegie Institution of Washington Publication 527, Washington, D.C.
- Gentry, S. H. 1942b. Sinaloan Deciduous Forest. Pp. 73-77. *In*. D. E. Brown (Ed.). 1982. Desert Plants (14). Special Issue: Biotic Communities of the American Southwest-United States and Mexico. University of Arizona, Tucson.
- Gentry, A. H. 1982. Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology*, 15: 1-84.

- Gentry, A. H. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. Pp. 146-1994. *In*. S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (Eds.). Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press. Cambridge.
- Gillespie, W.T. 2005. Predicting woody-plant species richness in tropical dry forest: A case study from south Florida, USA. *Ecological Applications*, (15): 27-37.
- Golden Software Inc. 2000. Software Surfer (Win32) version 6.01., Golden, Colorado.
- Gómez-Pompa, A. (Ed.). 1978-2003. Flora de Veracruz. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz.
- Graham, A. y D. Dilcher. 1995. The Cenozoic record of tropical dry forest in northern Latin America and the southern United States. Pp. 124-142. *In*. S. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (Eds.). Seasonally Dry Tropical Forest. Cambridge University Press. Cambridge.
- Guertin, P. D., P. Ffolliot y M. Fogel. 1988. Características fisiográficas e hidrológicas. Pp. 37-44 *In*. L. Arriaga. y A. Ortega (Eds.). La Sierra de la Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Hammond, E. H. 1954. A geomorphic study of the Cape Region of Baja California. University of California Publications, 10: 45-112.
- Hanski, I. 1994. Spatial scale, patchiness and population dynamics on land. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*. Londres, 343: 19-25.
- Hanski, I. 1999. *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press. Londres.
- Hastings, J.R. (Ed.). 1964. Climatological data for Baja California. Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions. No 14. Institute of Atmospheric Physics, University of Arizona, Tucson.
- Hastings, J.R. y R. M. Turner. 1965. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. *Geografiska Annaler*, 47A: 204-223.
- Hasting, J.R., R.M. Turner y D.K. Warren. 1972. An atlas of some plant distributions in the Sonoran Desert. The University of Arizona. Institute of Atmospheric Physics, UA-IAP-TR-72-21, Tucson, Arizona.
- Holt, D.R. 1993. Ecology at the Mesoscale: The influence of regional processes on local communities. Pp. 77-88. *In*. R. Ricklefs y D. Schluter (Eds.). *Species*

Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives. The University of Chicago Press. Chicago.

- Hubbel, S.H. y R. Foster. 1986. Biology, chance and history, and the structure of tropical rain forest communities. Pp. 314-329. *In.* J. Diamond y T.J. Case (Eds.) Community Ecology. Harper & Row, Nueva York.
- Hubbell, S. H. 2001. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press, Princeton y Oxford.
- Hunt, E.R. Jr. y B.N. Rock .1989. Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectance. Remote Sensing of Environment, 30:43-54.
- Hutchinson, G.E. 1959. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals?. The American Naturalist, 93: 145-159.
- Imbrie, J. y K. P. Imbrie. 1979. Ice Ages: Solving the mystery. Enslow, Hillside, New Jersey.
- INEGI. Cartas Topográficas 1:50,000: F12-B23 Rosario, F12-B24 Las Cuevas, F12-B33 Todos Santos, F12-B34 Santiago.
- INEGI. 1993. Cubrimiento fotográfico 1:75,000 de la Hoja Los Cabos, clave F12-2-3-5-6. Sistema de Información Nacional de Fotografía Aérea, México.
- INEGI. 2001. Conjunto de datos vectoriales de la carta uso del suelo y vegetación 1:250,000. SERIE II. Capas F1202u2v, F1203u2v, F1205u2v y F1206u2v.
- Janzen, D. 1988. Tropical dry forest. The most endangered major tropical ecosystem. Pp 130-137. *In.* E.O. Wilson (Ed.). Biodiversity. National Academic Press. Washington, D.C.
- Jaramillo-Villalobos, V. 1994. Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas tropicales de México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Ganadería. COTECOCA, México, D.F.
- Jha, C.S. y J.S Singh. 1990. Composition and dynamics of dry forest in relation to soil texture. Journal of Vegetation Science, 1:609-614.
- Kearney, H.T., H. Robert; H. Peebles y colaboradores. 1960. Arizona Flora. 2ª ed. con suplemento por J.T. Howell, E. McCintock y colaboradores. University of California Press, Berkeley.

- Kennard, D.K. 2002. Secondary forest succession in a tropical dry forest: Patterns of development across a 50-years chronosequence in lowland Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 18:53-66.
- Kennard, D.K., K. Gould, F.E. Putz, T.S. Fredericksen y F. Morales. 2002. Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 162:197-208.
- Krebs, C.J. 2001. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 5ª ed. Benjamin Cumming. San Francisco.
- Lahdelma, R. P. Salminen y J. Hokkanen. 2000. Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environmental Management*, 26: 595-605.
- Leibold, M.A., M. Holyoak, N. Mouquet, P. Amarasekare, J.M. Chase, M. F. Hoopes, R.D. Holt, J.B. Shurin, R. Law, D. Tilman, M. Loreau y A. Gonzalez. 2004. The metacommunity concept: A framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*, 7: 601-613.
- León de la Luz, J. L., R. Domínguez y R. Coria. 1988. Aspectos florísticos. Pp. 83-114. *In*. Ariaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de la Laguna de Baja California Sur*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- León de la Luz, J. L. y R. Domínguez. 1989. Flora of the Sierra de la Laguna, Baja California Sur, México. *Madroño*, 36: 61-83
- León de La Luz, J.L. 1999. Flora y Vegetación de la Región del Cabo, B.C.S., México. Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S.
- León de la Luz, J.L., J.J. Pérez Navarro, M. Domínguez y R. Domínguez. 1999. Listados Florísticos de México XVIII: Flora de la Región del Cabo de Baja California Sur. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- León de la Luz, J.L., J.J. Pérez Navarro y A. Breceda. 2000. A transitional xerophytic tropical plant community of the Cape Region, Baja California. *Journal of Vegetation Science*, 11: 555-564.
- León de la Luz, J.L. y A. Breceda. 2002. Un criterio florístico para identificar hábitats prioritarias en la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna, BCS, México. Resúmenes de la 3ª Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Vallarta, México.
- Leopold, A.S. 1950. Vegetation zones of Mexico. *Ecology*, 31:507-518.

- Levin, S.A. 1989. Challenges in the development of a theory of community and ecosystem structure and function. Pp. 242-255. *In*. J. Roughgarden, R. M. May y S.A. Levin (Eds.). *Perspectives in Ecological Theory*. Princeton University Press, Princeton.
- López-Blanco, J. 1994. Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS). Tesis Doctoral. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lott, E., S. Bullock y A. Solís-Magallanes. 1987. Floristic diversity and structure of upland and arroyo forests of coastal Jalisco. *Biotropica*, 19: 228-237.
- Lott, E. 1993. Annotated checklist of the vascular flora of the Chamela Bay Region, Jalisco, Mexico. *Occasional Papers of the California Academy of Sciences*, 148:1-60.
- Lluch-Cota, D.B. 2001. La variabilidad climática oceánica en el noroeste de México: Respuestas regionales físicas y biológicas ante El Niño-Oscilación del Sur y la Oscilación Decadal del Pacífico. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S.
- Malczewski, J., R. Moreno-Sánchez, L. A. Bojórquez-Tapia y E. Ongay. 1997. Multicriteria Group Decision-making for Environmental Conflict Analysis in the Cape Region, Mexico. *Journal of Environmental Planning and Management*, 40:349-374.
- MapInfo Corporation. 1998. Software MapInfo Professional version 5.0.1. New York.
- Margules, C.R. y M.B. Usher. 1981. Criteria Used in Assessing Wildlife Conservation Potential: A Review. *Biological Conservation*, 21:71-109.
- Margules, C.R. y M.B. Usher. 1984. Conservation Evaluation in Practice. I. Sites of Different Habitats in north-east Yorkshire, Great Britain. *Journal of Environmental Management*, 18: 153-168.
- Martonne, de E. 1926. Regions of Interior-Basin Drainage. *The Geographical Review*, 17:397-414.
- Mas, J.F. e I. Ramírez. 1996. Mejoramiento de las clasificaciones espectrales de cubiertas de suelo por medio de un sistema de información geográfica. *Investigaciones Geográficas Boletín, Número Especial*, 4: 11-121.

- Masera, O., M. J. Ordóñez y R. Dirzo. 1992. Carbon emissions from deforestation in Mexico: Current situation and long-term scenarios *In*. W. Makundi y J. Sathaye (Eds.). Carbon Emissions and sequestration in forests: Case studies from seven developing countries. Vol. IV. Mexico. Report No.LBL-32759, Energy and Environmental Division, Lawrence Berkeley Laboratory-US. Environmental Protection Agency, Berkeley, California.
- Maya, Y. 1991. Caracterización edafológica de la Sierra de la Laguna en Baja California Sur, México. Revista de la Investigación Científica, Serie Ciencias Agropecuarias 2: 13-24.
- McLaughlin, J.F. y J. Roughgarden. 1993. Species interactions in space. Pp. 89-98. *In*. R.E. Picklefs y D. Schluter (Eds.). Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives. The University of Chicago Press, Chicago & London.
- Mina, F. 1956. Bosquejo geológico de la parte sur de la Península de Baja California. Pp. 11-80. *In*. M. Maldonado Koerdell (Ed.). Congreso Geológico Internacional A-7. vigésima sesión. México, D.F.
- Miranda, F. y E. Hernández, X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 28: 29-179.
- Mittermeier, R., N. Myers, J.B. Thomsen, G. A. B. da Fonseca y S. Olivieri. 1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: Approaches to settings conservation priorities. Conservation Biology, 12: 516-520.
- Montaña, C. y A. Valiente-Banuet. 1998. Floristic and life-form diversity along an altitudinal gradient in an intertropical semiarid mexican region. The Southwestern Naturalist, 43: 25-39.
- Mooney, A. H., S. H. Bullock y E. Medina. 1995. Introduction. Pp. 1-8. *In*. S. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (Eds.). Seasonally Dry Tropical Forest. Cambridge University Press. Cambridge.
- Morelos, S. 1988. La vegetación: Una aproximación a través de la fotointerpretación. 1988. Pp. 69-82. *In*. L. Arriaga y A. Ortega (Eds.). La Sierra de la Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Murphy, P.G. y A. E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. Annual Review of Ecology and Systematics, 17: 67-88.
- Murphy, P.G. y A. Lugo. 1995. Dry forest of Central America and the Caribbean. Pp. 29-34. *In*. S. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (Eds.). Seasonally Dry Tropical Forest. Cambridge University Press. Cambridge.

- Murphy, R. W. 1983. Paleobiogeography and genetic differentiation of the Baja California herpetofauna. *Occasional papers of the California Academy of Sciences*, 137: 1-48 p.
- Munz, P. y D. D. Keck. 1973. *A California Flora*. University of California Press, Berkeley.
- Myers, N., R. Mittermeier, C. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2004. [www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/threats/briefs/brief01.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/threats/briefs/brief01.html)
- Olivares, E. y E. Medina. 1992. Water and nutrient relations of woody perennials from tropical dry forests. *Journal of Vegetation Science*, 3: 383-392.
- Olson, D.M. y E. Dinerstein. 1998. The Global 200: A representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology*, 12:502-515.
- Ortega, A. 1992. *Uso y Manejo de los Recursos Naturales en la Sierra de La Laguna, B.C.S.* Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B.C.S.
- Ortiz-Ávila, V. 1999. Efecto del pastoreo sobre el establecimiento de juveniles en la selva baja caducifolia de la reserva de la Biosfera Sierra de la Laguna, B.C.S. México". Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Puebla, Puebla.
- Patten, R.S. y J.E. Ellis. 1995. Patterns of species and community distribution related to environmental gradients in an arid tropical ecosystem. *Vegetatio*, 117:69-79.
- Peinado, M., F. Alcaraz, J. Delgadillo e I. Aguado. 1994. Fitogeografía de la Península de Baja California, México. *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 51: 255-277
- Pennington, T. y J. Sarukhán. 1968. *Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales-Organización de Naciones Unidas. México, D.F.
- Pérez-García, E., J. Meave y C. Gallardo. 2001. Vegetación y flora de la región de Nizanda, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Acta Botanica Mexicana*, 56:19-88.

- Pickett, S.T.A. y P.S. White (Eds.). The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Poiana, K. A., B.D. Richter, M. G. Anderson y H. E. Richter. 2000. Biodiversity conservation at multiple scales: Functional sites, landscape and networks. *BioScience*, 50:133-146.
- Prendergast, J.R., R. M. Quinn y J.H. Lawton. 1999. The gaps between theory and practice in selecting nature reserves. *Conservation Biology*, 13:484-492.
- Ramírez-Apud, Z. 1998. Estudio Comparativo del banco de semillas en zonas expuestas y excluidas al pastoreo en la selva baja caducifolia de la Sierra de la Laguna, B.C.S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Puebla, Puebla.
- Ramírez, J. A. 2001. Identificación de áreas críticas para la protección de la biodiversidad en la Reserva de Biosfera Sierra la Laguna. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S.
- Ramos. M.A. 1988. The conservation of biodiversity in Latin America: A perspective. Pp. 428-436. *In* E. O. Wilson (Ed.). *Biodiversity*. National Academy Press, Washington D.C.
- Rey-Benayas, J.M. y K. O. Pope. 1995. Landscape ecology and diversity patterns in the seasonal tropics from Landsat TM imagery. *Ecological Applications*, 5:386-394.
- Reyes-Coca, S. y P. Rojo Salazar. 1985. Variabilidad de la precipitación en la península de Baja California. *Revista Geofísica*, 22/23.
- Reyes- García, A. y M. Sousa. 1997. Listados Florísticos de México XVII: Flora de la depresión central de Chiapas, la selva baja caducifolia. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Reygadas, F. y G. Velázquez. 1982. El medio natural de los antiguos Californios: El caso Pericú. Pp. 7-18. *In* Dirección de Cultura (Ed.). Segunda Semana de Información Histórica de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.
- Reygadas, F. y G. Velázquez. 1983. Identificación y conteo arbóreo de la Sierra de la Laguna, Baja California. Centro de Investigaciones de Baja California. Publicaciones sobre la Sierra de la Laguna. Informe Técnico. La Paz, B.C.S.
- Ricklefs, R.E. y D. Schluter. 1993. Species diversity in ecological communities: Historical and geographical perspectives. The University of Chicago Press, Chicago.

- Richman, M.B. 1986. Rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, 6:293-335.
- Riemann, H. 2001. Flora vascular endémica de la Península de Baja California, patrones de distribución y escenarios de conservación. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Ripple, W.J. 1986. Spectral reflectance relationships to leaf water stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52:1669-1675.
- Roughgarden, J. 1986. A comparison of food-limited and space-limited animal competition communities. Pp. 492-516. *In*. J. Diamond y T.J. Case (Eds.) *Community Ecology*. Harper & Row, Nueva York.
- Roy, S. y J.S. Singh. 1994. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest. *Journal of Ecology*, 82:503-509.
- Rzedowski, J. 1962. Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México, 1. Algunas consideraciones acerca del elemento endémico en la flora mexicana. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 27:52-65.
- Rzedowski, J. 1973. Geographical relationships of the flora of Mexican dry regions. Pp. 61-72. *In*. A. Graham (Ed.). *Vegetatio and vegetational history of northern Latin America*. Elsevier Scientific Company. Amsterdam.
- Rzedowski, J. 1979. Los bosques secos y semihúmedos de México con afinidades neotropicales. Pp.37-46. *In*. J. Rabinovich y G. Halffter (Eds.). *Tópicos de Ecología Contemporánea*. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Rzedowski, J. 1983. *La Vegetación de México (segunda reimpression)*. Limusa, México, D.F.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial. Atlas Nacional de México. Sección Naturaleza. Hoja IV 8.2. Vol. II. Mapa escala 1:4,000,000. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*, 14:3-21.
- Rzedowski, J. y G. Calderón (Eds.). 1992-2003. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán.

- Saaty, T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15:234-281.
- Saaty, T.L. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, Nueva York.
- Saaty, T.L. 1982. *Decision-making for leaders*. Lifetime Learning, San Francisco.
- Salinas-Zavala, C., D. Lluch-Belda, S. Hernández-Vázquez y D.B. Lluch-Cota. 1998. La aridez en el noroeste de México: Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. *Atmósfera*, 11: 29-44.
- Sabogal, C. 1992. Regeneration of tropical dry forests in Central America, with examples from Nicaragua. *Journal of Vegetation Science*, 3: 407-416.
- Sampaio, E. 1995. Overview of the Brazilian caatinga. Pp. 35-58. *In*. S. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (Eds.). *Seasonally Dry Tropical Forest*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Sánchez-Azofeifa, G.A., C. Quesada-Mateo, P. González Quesada, S. Dayanandan y K. S. Bawa. 1999. Protected areas and conservation of biodiversity in the tropics. *Conservation Biology*, 13: 407-411.
- Sankey, J.T., T. Van Devender y W. H. Clark. 2001. Late Holocene plants, Cataviña, Baja California. *The Southwestern Naturalist*, 46: 1-7.
- Savage, J. M. 1960. Evolution of a peninsular herpetofauna. *Systematic Zoology*, 9: 184-212.
- Scott, J.M., F. Davis, B. Csuti, R. Noss, B. Butterfield, C. groves, H. Anderson; S. Caicco; F. D'Erchia; T.S. Edwards, Jr; J. Ullinam y R.G. Wright. 1993. GAP analysis: A geographic approach to protection of biological diversity. *The Wildlife Society, Inc.*, 123:1-41.
- Schluter, D. y R.E. Ricklefs. 1993. Species diversity: An introduction to the problem. Pp. 1-10. *In*. R. Ricklefs y D. Schluter (Eds.). *Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives*. The University of Chicago Press. Chicago y Londres.
- SEMARNAT 2004. Avanzó la Semarnat en el 2003 en la Protección a Áreas Naturales Protegidas. Boletín. Comunicado de Prensa No. 005/04. [http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/cmd/cs/ce/155/s/4696/\\_s.155/4691](http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/cmd/cs/ce/155/s/4696/_s.155/4691)
- Shmida, A. 1985. Biogeography of the desert flora. Pp.23-78. *In*. M. Evenari, I. Noy-Meir y D. Goodall (Eds.) *Hot deserts and arid shrublands*. *Ecosystems of the World*. 12A. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.

- Shreve, F. 1937. The vegetation of the Cape Region of Baja California. *Madroño*, 4: 105-136.
- Shreve, F. 1942. The desert vegetation of North America. *Botanical Review*, 8:195-246.
- Shreve, F. y I. Wiggins. 1964. *Vegetation and flora of the Sonoran Desert*. 2 Vols. Stanford University Press.
- Sierra, R. F. Campos y J. Chamberlin. 2002. Assessing biodiversity conservation priorities: Ecosystem risk and representativeness in continental Ecuador. *Landscape and Urban Planning*, 59:95-110.
- Sisk, T.D., A.E. Launer, K. R. Switky y P.R. Ehrlich. 1994. Identifying extinction threats. Global analyses of the distribution of biodiversity and the expansion of the human enterprise. *BioScience*, 44:592-604.
- Snyder, E. R. y P. Chesson. 2004. How the spatial scales of dispersal, competition and environmental heterogeneity interact to affect coexistence. *The American Naturalist*, 164:633-650.
- Sovan, R. y J.S. Singh. 1994. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest. *Journal of Ecology*, 82:503-509.
- Stadler, S.J. 1987. Aridity indexes. Pp. 769-773. *In*. J.E. Oliver y R.W. Fairbridge (Eds.). *The Encyclopedia of Climatology*. Vol. XI. Nueva York.
- Standley, P. 1924. *Trees and shrubs of Mexico*, Contributions from the United States National Herbarium. Smithsonian Institution United States National Museum. Washington. D.C.
- Tallis, J. H. 1991. *Plant community history: Long-term changes in plant distribution and diversity*. Chapman and Hall. Londres.
- Téllez Valdés, O., G. Flores, A. Martínez, R.E. González, G. Segura, R. Ramírez, A. Domínguez e I. Calzada. 1995. *Listados Florísticos de México XII: Flora de la Reserva Ecológica Sierra de San Juan, Nayarit, México*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. D.F.
- Tilman, D. y A. El Haddi. 1992. Drought and biodiversity in grasslands. *Oecologia*, 89:257-264.
- Tilman, D. Y P. Kareiva. 1997. *Spatial Ecology: The role of space in population dynamics and interspecific interactions*. Princeton University Press. Princeton.

- Torres Colín, R., L. Torres, P. Dávila y J. L. Villaseñor. 1997 Listados Florísticos de México XVI: Flora del Distrito de Tehuantepec, Oaxaca. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Trejo, I. 1998. Distribución y diversidad de selvas bajas de México: Relaciones con el clima y el suelo. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México. México, D.F.
- Trejo, I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. Investigaciones Geográficas, Boletín, 39: 40-52.
- Trejo, I.; y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 94:133-142.
- Trejo, I. y J. Hernández. 1996. Identificación de la selva baja caducifolia en el Estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. Investigaciones Geográficas Boletín, número especial 5: 11-18.
- Turner, R.M., J.E. Bowers y T.L. Burgess. 1995. Sonoran Desert plants, an ecological atlas. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona.
- Turner, W., E.J. Sterling y A.C. Janetos. 2001. Contributions of remote sensing to biodiversity conservation: A NASA Approach. *Conservation Biology*, 15:832-834.
- Van der Maarel. 1996. Pattern and process in the plant community: Fifty years after A.S. Watt. *Journal of Vegetation Science*, 7: 19-28.
- Van Devender, T.R. 1987. Paleoclimatic implications for the monsoonal Sonoran Desert of a packrat midden vegetation séquense from the Puerto Blanco Mountains, southwestern Arizona. *Quaternary Research*, 27:51-72.
- Van Devender, T. R. 1999. Evolution of the Sonoran Desert. Memorias: Simposium internacional sobre la utilización y aprovechamiento de la flora silvestre de zonas áridas. Universidad de Sonora, Hermosillo.
- Veillon, J. P. 1963. Relación de ciertas características de la masa forestal de unos bosques de las zonas bajas de Venezuela con el factor climático: Humedad pluvial. *Acta Científica Venezolana*, 14: 30-41.
- Villa- Salas, A. 1968. La vegetación forestal en el extremo meridional de Baja California. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Publicación 10. México, D.F.

- Villers-Ruiz, L., I. Trejo-Vázquez y J. López-Blanco. 2003. Dry vegetation in relation to the physical environment in the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 14:517-524.
- Voogd, H. 1983. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, Londres.
- Walsh, S.J. y F.W. Davis. 1994. Application of remote sensing and geographic information system in vegetation science: Introduction. *Journal of Vegetation Science*, 5: 610-614.
- Watt, S. A. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*, 35:1-22 .
- Wells, M.P. y K.E. Brandon. 1993. The principles and practice of buffer zones and local participation in biodiversity conservation. *Ambio*, 22:157-162.
- White, P.S. y S.T.A. Pickett. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: An introduction. Pp.1-16. *In*. S.T.A. Pickett y P.S. White (Eds.) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, Inc. San Diego, California,
- Whittaker, R.H. y W.A. Niering. 1975. Vegetation of the Santa Catalina mountains, Arizona. V. Biomass, production and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, 56:771-790.
- Wiggins, I. L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press. Standford.
- Willis, C.J. 1973. *A dictionary of the flowering plants and ferns*. Cambridge University Press. 8<sup>a</sup> ed. Cambridge.
- Wright, H. A. y A. W. Bailey. 1982. *Fire Ecology. United States and Southern Canada*. John Wiley and Sons. Nueva York.
- Wyatt, B.K. 2000. Vegetation mapping from ground, air and space-competitive or complementary techniques?. Pp.3-18. *In*. R. Alexander y A.C. Millington (Eds.). *Vegetation Mapping*. WILEY. Chichester.

## VIII. BASE DE DATOS SNIB-CONABIO

### Lista de responsables y claves de proyectos que proveyeron información.

- Aragón Axomulco, L. 2001. *Etapa final de la captura y catalogación del Herbario del Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío* Instituto de Ecología, AC. División de Vegetación y Flora Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO Q17. México, D.F.
- Barajas Morales, J. 2001. *Base de datos para la xiloteca del Instituto de Biología de la UNAM*. Departamento de Botánica. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto T 4. México, D.F.
- Bárcenas Pazos, G. 2000. *Banco de información sobre características tecnológicas de maderas mexicanas*. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques. División de Vegetación y Flora. Instituto de Ecología AC. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto K 15. México, D.F.
- Bravo Marentes, C. 1999. *Inventario nacional de especies vegetales y animales de uso artesanal*. Asociación Mexicana de Arte y Cultura Popular AC. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto J 2. México, D.F.
- Búrquez Montijo, J.A. 1999. *Diversidad vegetal en un gradiente en la Sierra Madre Occidental: flora y vegetación de la Región de San Javier y Yécora, Sonora*. Departamento de Ecología Funcional. Estación Regional Noroeste. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto H 122. México, D.F.
- Castillo Campos, G. 2000. *Diversidad y riqueza vegetal de los substratos rocosos del centro del estado de Veracruz*. Departamento de Ecología Vegetal. División de Vegetación y Flora. Instituto de Ecología AC. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto L 228. México, D.F.
- Dávila Aranda, P. 2001 *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: III fase* Unidad de Biotecnología y Prototipos Facultad de Estudios Superiores-Iztacañal. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO Q 14. México, D.F.
- Delgadillo Rodríguez, J. 2000. *Base de datos de la familia cactaceae de la Península de Baja California, México*. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO J20 México, D.F.
- Diego Pérez, N. 1997. *Lista florística de la Costa Grande del estado de Guerrero*. Laboratorio de Plantas Vasculares. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de

datos SNIB-CONABIO proyecto B-123. México, D.F.

- Dorado Ramírez, O. R. 1997. *Inventario florístico de la Sierra de Huautla, Morelos*. Centro de Educación Ambiental e Investigación Sierra de Huautla. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **B 54**. México, D.F.
- Durán García, R. 1998 *Base de datos del Herbario del Centro de Investigación Científica de Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán AC. Unidad de Recursos Naturales. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO P 143 México, D.F.
- Espejo Sema, M.A. 1998. *Las monocotiledóneas mexicanas, una sinopsis florística*. Departamento de Biología. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **P 15**. México, D.F.
- Ezcurra Real de Azúa, E. 1998. *Patrones biogeográficos de las cactáceas columnares de México*. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO G 3. México, D.F.
- Fernández Nava, R. 1997. *Estudio monográfico de la familia Rhamnaceae en México*. Laboratorio de Botánica Fanerogámica. Departamento de Botánica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **B-59**. México, D.F.
- Fernández Nava, R. 2002. *Computarización del Herbario ENCB. Fase II. Base de datos de los ejemplares de la familia Burseraceae y Nyctaginaceae y base de datos digitalizada de los ejemplares tipo de plantas vasculares del Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN*. Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **T 2**. México, D.F.
- Flores Guido, J.S. 1998. *Incremento de los bancos florístico y etnobotánico de la Península de Yucatán*. Departamento de Botánica. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **P 112**. México, D.F.
- Flores Guido, J.S. 1999. *Actualización del banco de datos florístico de la Península de Yucatán (BAFLOPY)* Departamento de Botánica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO H 146. México, D.F.
- González Elizondo, M. S. 1998. *Base de datos sobre la flora de Durango*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Durango

Instituto Politécnico Nacional. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **P 5**. México, D.F.

- González Espinosa, M. 1998. *Árboles de Chiapas: registro georreferenciado de los ejemplares depositados en el herbario de la Academia de Ciencias de California*. (CAS Departamento de Ecología y Sistemática Terrestre División de Conservación de la Biodiversidad. El Colegio de la Frontera Sur. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO F 19. México, D.F.
- González Medrano, F. 1998. *Lista florística preliminar de Tamaulipas*. Departamento de Botánica. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **P 92**. México, D.F.
- Gutiérrez Garduño, M. V. 1999. *Catálogos florísticos de México por entidad federativa e información etnobotánica de la Colección del Herbario Nacional Biól. Luciano Vela Gálvez (INIF)*. Herbario Nacional Forestal "Biól Luciano Vela Gálvez". Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **J 10**. México, D.F.
- Gutiérrez Garduño, M.V. 1999. *Sistematización del Herbario Nacional Forestal Biól Luciano Vela Gálvez* Herbario Nacional Forestal "Biól Luciano Vela Gálvez" Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO P 140. México, D.F.
- Hernández Sandoval, L.G. 1998. *Diversidad florística y endemismo en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas, México*. Instituto de Ecología y Alimentos. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **P 23**. México, D.F.
- Jiménez Ramírez, J. 1997. *Base de datos de la flora del municipio de Eduardo Neri, Guerrero*. Herbario FCME. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **E 4**. México, D.F.
- León de la Luz, J.L. 1998. *Inventario florístico en Baja California Sur: Región del Cabo e Islas adyacentes*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO P 127. México, D.F.
- León de la Luz, J.L. 1999. *Inventarios florísticos en Baja California Sur (II): Vegetación costera*. División de Biología Terrestre. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **H 181**.

México, D.F.

- Lorea Hernández, F. 2000. *Actualización de las bases de datos del Herbario del Instituto de Ecología, A.C. (XAL)*. Herbario XAL, Instituto de Ecología AC. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO K 4. México, D.F.
- Martínez Hernández, E. 1999. *Propuesta para sistematizar la colección palinológica de polen reciente y fósil del IGLUNAM*. Departamento de Paleontología. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto J-1. México, D.F.
- Martínez y Díaz Salas, M. 2000. *Flora y vegetación de la Sierra de San Carlos en el municipio de San Nicolás, Tamaulipas*. Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto L 29. México, D.F.
- Meave del Castillo, J.A. 1998. *Estudio ecológico-florístico de los enclaves de vegetación xerofítica inmersos en una selva baja caducifolia en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca*. Laboratorio de Ecología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto G 18. México, D.F.
- Meave del Castillo, J.A. 2000. *Estudio de la diversidad florística de la región de Nizanda en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca*. Laboratorio de Ecología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto L 85. México, D.F.
- Peñalba Garmendia, M.C. 1999. *Flora polínica de las llanuras de Sonora, al sur de Hermosillo*. Departamento de Ecología Funcional. Estación Regional Noroeste. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto H 189. México, D.F.
- Reygadas Prado Diego David. 1999. *Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la reforestación rural en México*. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto J 63. México, D.F.
- Riemann González, H. 1999. *Riqueza y distribución de especies vegetales en la Península de Baja California* El Colegio de la Frontera Norte, AC. Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO H16. México, D.F.
- Sánchez Escalante, J. 1997 *Modernización del Herbario de la Universidad de*

Sonora Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.  
Universidad de Sonora. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO B 47. México, D.F.

- Santana Michel, F. 1998. *Flora de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, México*. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Centro Universitario de la Costa Sur Universidad de Guadalajara. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto A 7. México, D.F.
- Soto Esparza, M. 1999. *Preservación e interpretación de las notas de campo del Dr Faustino Miranda*. Departamento de Investigación y Diagnóstico Regional. División de Vegetación y Flora. Instituto de Ecología AC. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto P 110. México, D.F
- Téllez Valdés, O. 2000 *Base de datos de la flora de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México* Herbario Nacional MEXU. Departamento de Botánica. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO L 289. México, D.F.
- Téllez Valdés, O. 1998. *Inventario florístico y base de datos de la Reserva Ecológica Sierra de San Juan, Nayarit, México*. Herbario Nacional MEXU. Departamento de Botánica. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto P 83. México, D.F
- Terrazas Salgado, T. 2000. *Filogenia de las cactáceas columnares (Pachycereae) con base en caracteres anatómico-morfológicos* Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO L 74. México, D.F.
- Vázquez Yañes, C. 1999. *Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Laboratorio de Ecología Fisiológica. Departamento de Ecología Funcional y Aplicada. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto J 84. México, D.F.
- Vega Aviña, R. 1997. *Flora del municipio de Culiacán, Sinaloa*. Universidad Autónoma de Sinaloa Facultad de Agronomía. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO B 22. México, D.F.
- Villaseñor Ríos, J.L. 1998. *Flora del Distrito de Tehuantepec, Oaxaca* Departamento de Botánica. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México . Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO P 89. México, D.F.

- Villaseñor Ríos, J.L. 2000 *Los árboles de la Península de Yucatán: su representatividad en el Herbario Nacional del Instituto de Biología*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto CONABIO M 56. México, D.F.
- Vovides Papalouka, A.P. 1997. *Actualización de las bases de datos de colecciones, especies en peligro de extinción, colecta y propagación de germoplasma*. Departamento de Sistemática Vegetal. División de Vegetación y Flora. Instituto de Ecología AC. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto **B 140**. México, D.F.

# **ANEXOS**

**ANEXO 2.1. Distribución de las especies de importancia estructural de la selva baja caducifolia en las regiones Peninsulares.**

ESPECIES	REGIONES PENINSULARES			
	R1	R2	R3	R4
<i>Ambrosia ambrosioides</i> (Cav.) Payne	1			
<i>Bursera microphylla</i> A. Gray	1			
<i>Cardiospermum corindum</i> L.	1			
<i>Cnidoscolus angustidens</i> Torrey	1			
<i>Jatropha cinerea</i> (Ortega) Muell. Arg.	1			
<i>Mammillaria dioica</i> M. Brandegee	1			
<i>Pedilanthus macrocarpus</i> Benth.	1			
<i>Senna covesii</i> (A. Gray) Irwin & Barneby	1			
<i>Solanum hindsiianum</i> Benth.	1			
<i>Stenocereus gummosus</i> (Engelm.) A. C. Gibson & K. E. Horak	1			
<i>Yucca valida</i> Brandegee	1			
<i>Antigonon leptopus</i> Hook. & Arn.		1		
<i>Bursera odorata</i> Brandegee		1		
<i>Carlwrightia californica</i> Brandegee		1		
<i>Colubrina viridis</i> M. E. Jones		1		
<i>Cordia brevispicata</i> Mart. & Gal.		1		
<i>Ficus palmeri</i> S. Watson		1		
<i>Fouquieria diguetii</i> (Van Tieghem) I. M. Johnst.		1		
<i>Janusia californica</i> Benth.		1		
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schultes) Zucc.		1		
<i>Matelea cordifolia</i> (A. Gray) Woodson		1		
<i>Opuntia cholla</i> Weber		1		
<i>Phragmites communis</i> Trin.		1		
<i>Schaefferia cuneifolia</i> A. Gray		1		
<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelm.) Buxbaum var. <i>thurberi</i>		1		
<i>Tournefortia hartwegiana</i> Steudel		1		
<i>Adelia virgata</i> Brandegee			1	
<i>Bourreria sonorae</i> S. Watson			1	
<i>Cissus trifoliata</i> (L.) L.			1	
<i>Erythrina flabelliformis</i> Kearney			1	
<i>Evolvulus alsinoides</i> L.			1	
<i>Iresine calea</i> (Ibañez) Standley			1	
<i>Manihot chlorosticta</i> Standley & Goldman			1	
<i>Melochia tomentosa</i> L.			1	
<i>Merremia aurea</i> (Kell.) O'Donnell			1	
<i>Pereskiaopsis porterii</i> (Weber) Britton & Rose			1	
<i>Ruellia peninsularis</i> (Rose) I. M. Johnst.			1	
<i>Sida xantii</i> A. Gray			1	
<i>Solanum nigrum</i> L.			1	
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss.			1	
<i>Albizzia occidentalis</i> Brandegee				1
<i>Ayenia glabra</i> S. Watson				1
<i>Bignonia unguis-cati</i> L.				1
<i>Carlwrightia pectinata</i> Brandegee				1
<i>Colubrina triflora</i> Brongn.				1
<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roemer & Schultes				1

Cont Anexo 2.1. ESPECIES	REGIONES PENINSULARES			
	R1	R2	R3	R4
<i>Exogonium bracteatum</i> (Cav.) Choisy				1
<i>Gouania rosei</i> Wiggins				1
<i>Haematoxylon brasiletto</i> Karst.				1
<i>Ipomea nilif</i> (L.) Roth.				1
<i>Lasiacis ruscifolia</i> (Kunth) Hitchc.				1
<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J. F. Macbr.				1
<i>Mimosa xantii</i> A. Gray				1
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> (Engelm.) Britton & Rose				1
<i>Pithecellobium undulatum</i> (Britton & Rose) Gentry				1
<i>Plumeria acutifolia</i> Poir.				1
<i>Senna atomaria</i> (L.) Irwin & Barneby				1
<i>Senna villosa</i> (Miller) Irwin & Barneby				1
<i>Turnera diffusa</i> Willd.				1
<i>Zanthoxylum aborescens</i> Rose				1

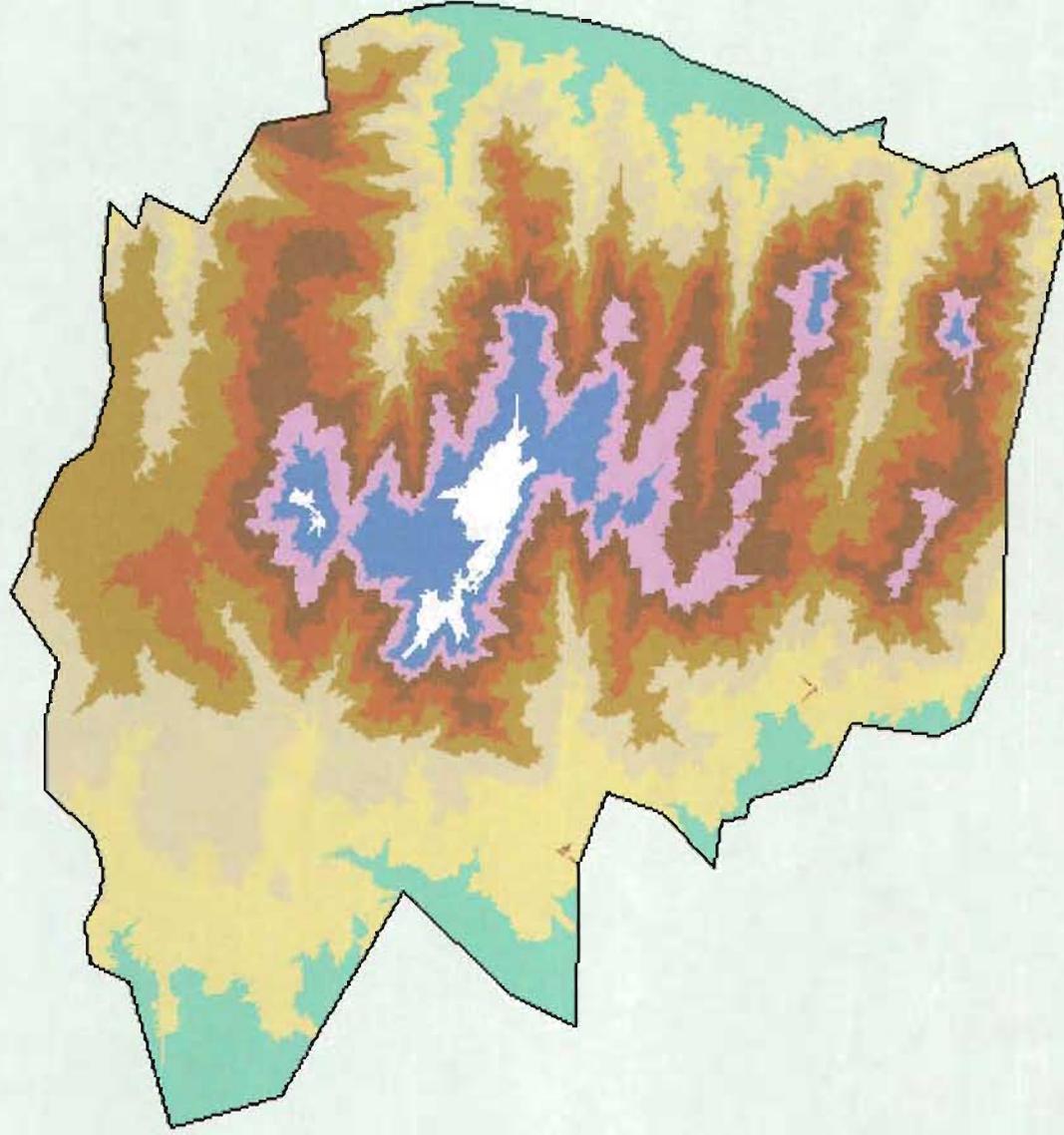
ESPECIES ENDÉMICAS DE LA PENÍNSULA	REGIONES PENINSULARES			
	R1	R2	R3	R4
<i>Bursera hindsiana</i> (Benth.) Engler	1			
<i>Calliandra californica</i> Benth.	1			
<i>Euphorbia xantii</i> Engelm.	1			
<i>Acalypha comonduana</i> Millsp.		1		
<i>Celosia floribunda</i> A. Gray		1		
<i>Cercidium peninsulare</i> Rose		1		
<i>Euphorbia californica</i> Benth. var. <i>hindsiana</i> (Benth.) Wiggins		1		
<i>Ferocactus peninsulae</i> (Engelm. ex Weber) Britton & Rose var. <i>peninsulae</i>		1		
<i>Ibervillea sonorae</i> (S. Watson) Greene var. <i>peninsularis</i> (I. M. Johnst.) Wiggins		1		
<i>Lysiloma candidum</i> Brandegee		1		
<i>Pithecellobium confine</i> Standley		1		
<i>Schoepfia californica</i> Brandegee		1		
<i>Bursera epinnata</i> (Rose) Engler			1	
<i>Caesalpinia pannosa</i> Brandegee			1	
<i>Hyptis laniflora</i> Benth.			1	
<i>Ipomoea jicama</i> Brandegee			1	
<i>Malpighia diversifolia</i> Brandegee			1	
<i>Pisonia flavescens</i> Standley			1	
<i>Randia megacarpa</i> Brandegee			1	
<i>Ruellia leucantha</i> subespcie <i>leucantha</i>			1	
<i>Viguiera tomentosa</i> A. Gray			1	
<i>Aeschynomene vigil</i> Brandegee				1
<i>Justicia purpusii</i> (Brandegee) D. N. Gibson				1
<i>Bernardia lagunensis</i> (M. E. Jones) L.C. Wheeler				1
<i>Brickellia peninsularis</i> Brandegee				1
<i>Bumelia peninsularis</i> Brandegee				1
<i>Calliandra peninsularis</i> Rose				1
<i>Croton boregensis</i> M. E. Jones				1
<i>Cyrtocarpa edulis</i> (Brandegee) Standley				1
<i>Diospyros californica</i> (Brandegee) I. M. Johnst.				1

Cont. Anexo 2.1.	ESPECIES ENDÉMICAS DE LA PENÍNSULA	REGIONES PENINSULARES			
		R1	R2	R3	R4
	<i>Esenbeckia flava</i> Brandegee				1
	<i>Gochnatia arborescens</i> Brandegee				1
	<i>Hyptis collina</i> Brandegee				1
	<i>Indigofera fruticosa</i> Rose				1
	<i>Jatropha vernicosa</i> Brandegee				1
	<i>Porophyllum ochroleucum</i> Rydb.				1
	<i>Verbesina erosa</i> Brandegee				1

## **ANEXO 4.1 CARTOGRAFÍA**

# Altimetría

629999  
2625004



- 0 - 200
- 201 - 400
- 401 - 600
- 601 - 800
- 801 - 1000
- 1001 - 1200
- 1201 - 1400
- 1401 - 1600
- 1601 - 1800
- 1801 - 2000

Meters



10,000.00

2575000  
577999

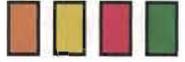
# Exposición de Laderas

629999

2625004



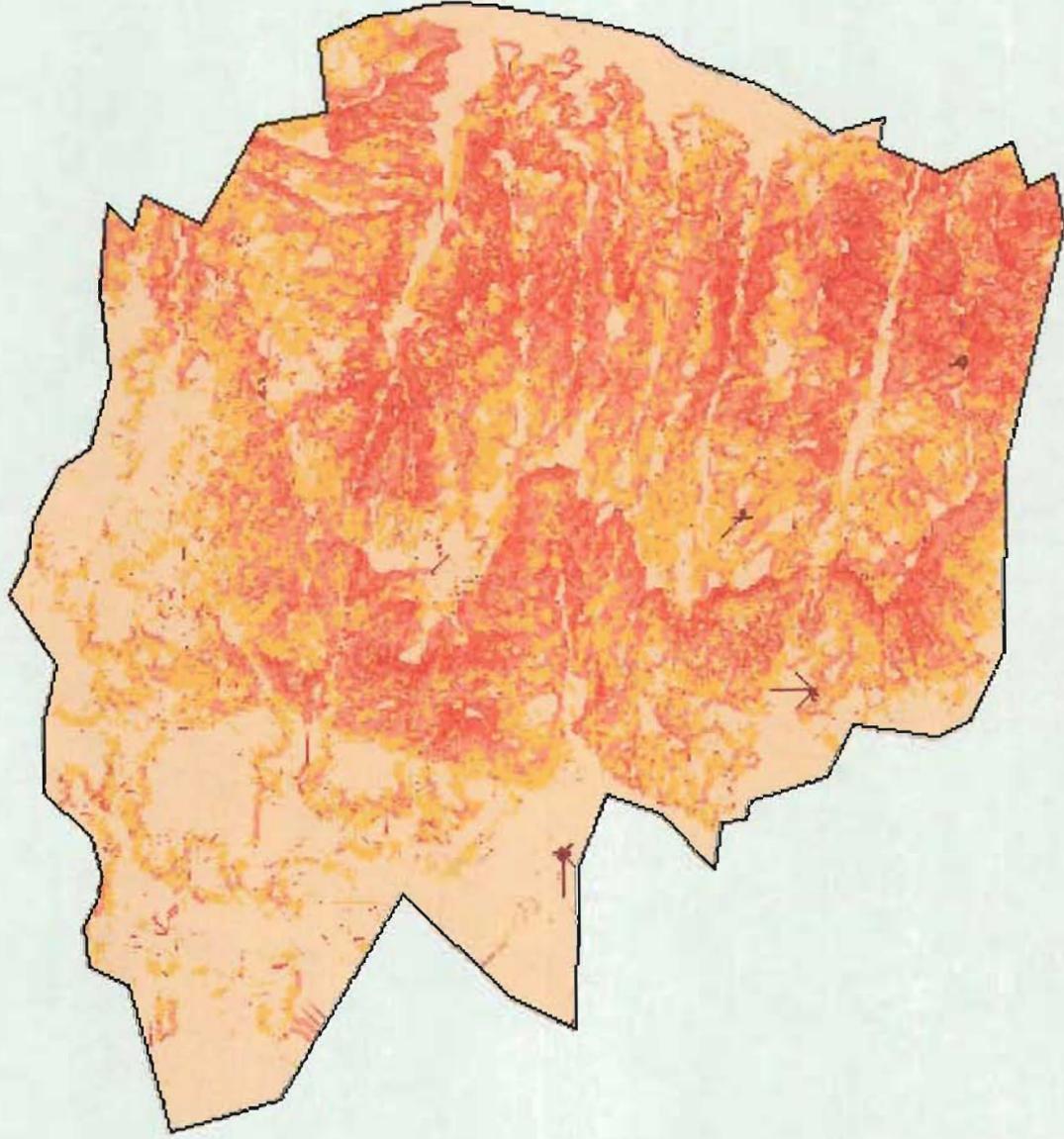
- Este
- Sur
- Oeste
- Norte



6662251  
2575004

# Pendientes

629999  
2625004



Meters

10,000.00

2575004

629999

# Arroyos, Cuencas y Ranchos

629999  
2625004



Arroyos



Ranchos



Potrerosillos



San Antonio



Choya



San Dionisio



Zorra



San Jorge



Agua Caliente



San Bernardo



Portezuelo



Huerivos



Burrera



Tarayse



Saucito



San Simón



Grande

Meters



10,000.00

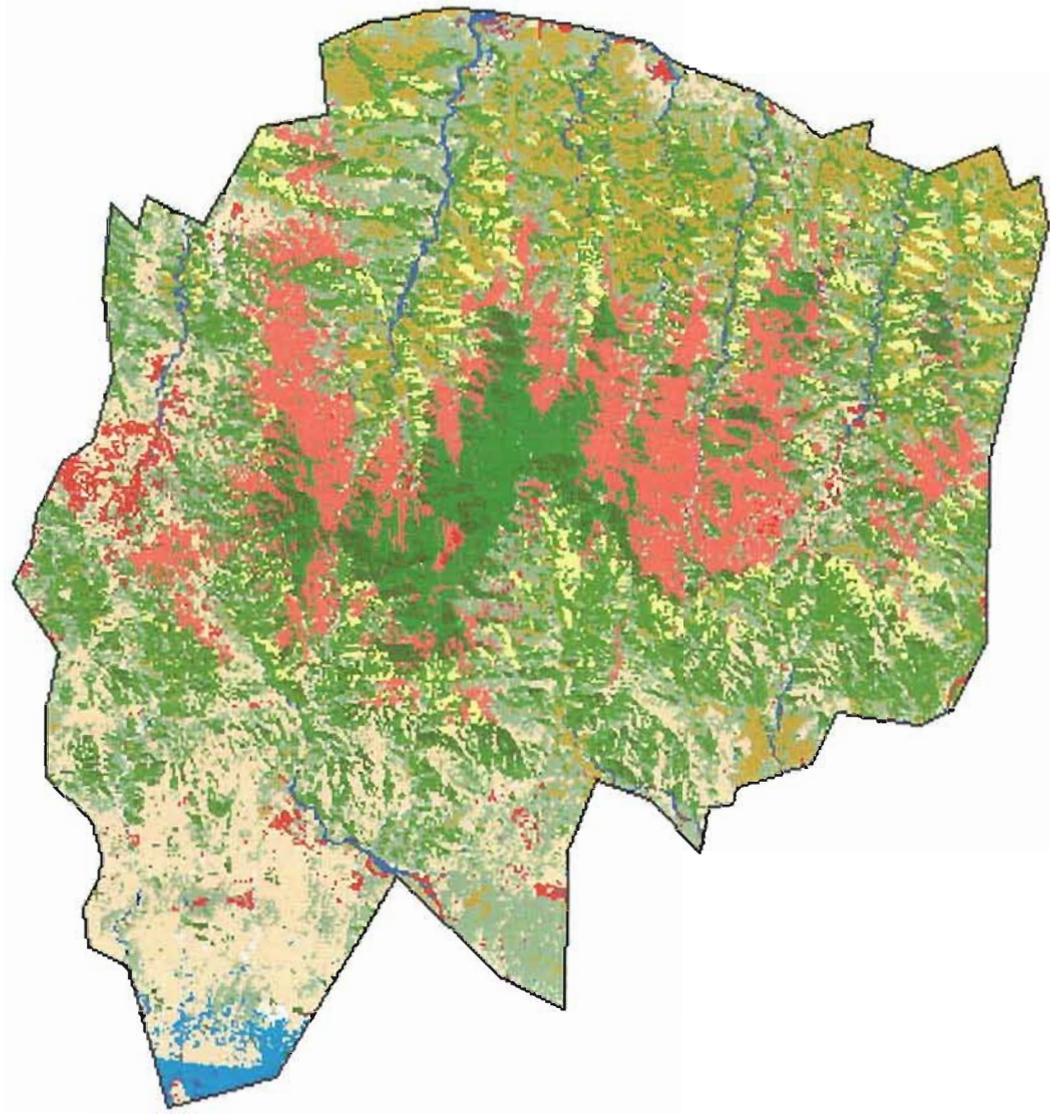
2675000

1577999

# Vegetación de la Reserva de la Biosfera "Sierra la Laguna"

629999

2625004



2625004

629999

**Anexo 4.2. Características estructurales de los sitios de entrenamiento  
(cuadros 30 × 30 m).**

DENS. = densidad (número de individuos/900 m<sup>2</sup>)

COB. = cobertura (m<sup>2</sup>)

DENS. (%) = Proporción de cada especie con respecto a la densidad total de cada sitio

COB. (%) = Proporción de cada especie en la cobertura total

COB/900m<sup>2</sup>(%) = Proporción de cada especie con respecto al tamaño del cuadro muestreado.

**Vertiente Sur del Cañón de la Burrera**

Sitio: Arroyo  
Altitud: 450 m.  
Disturbio: bajo

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Tecoma stans</i>	47	757.38	16.55	31.14	84.15
<i>Albizia occidentalis</i>	54	453.11	19.01	18.63	50.35
<i>Jatropha cinerea</i>	54	342.07	19.01	14.06	38.01
<i>Cyrtocarpa edulis</i>	9	322.25	3.17	13.25	35.81
<i>Chloroleucon mangense</i>	11	147.53	3.87	6.07	16.39
<b>TOTAL</b>	<b>284</b>	<b>2432.1</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>270.23</b>

Sitio: Camino  
Altitud: 470 m.  
Disturbio: medio

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Chloroleucon mangense</i>	6	225.58	1.44	13.19	25.06
<i>Bursera microphylla</i>	29	218.13	6.94	12.76	24.24
<i>Antigonon leptopus</i>	25	131.89	5.98	7.71	14.65
<i>Erythrina flabelliformis</i>	19	115.60	4.55	6.76	12.84
<i>Ayenia unibracteata</i>	64	110.57	15.31	6.47	12.29
<b>Total</b>	<b>418</b>	<b>1710.12</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>190.01</b>

#### Anexo 4.2. Cont.

Sitio: Cerro Pelón

Altitud: 500 m

Disturbio: alto

ESPECIE	ABU	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Colubrina glabra</i>	19	70.35	7.12	15.41	7.82
<i>Lysiloma divaricatum</i>	23	60.04	8.61	13.15	6.67
<i>Mimosa xantii</i>	30	46.19	11.24	10.12	5.13
<i>Jatropha vernicosa</i>	19	43.64	7.12	9.56	4.85
<i>Albizia occidentalis</i>	12	34.98	4.49	7.66	3.89
Total	267	456.62	100	100	50.74

Sitio: Plumeria

Altitud: 840 m

Disturbio: bajo

ESPECIE	ABU	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	23	777.64	7.21	43.10	86.40
<i>Senna atomaria</i>	26	209.30	8.15	11.60	23.26
<i>Bursera microphylla</i>	24	196.21	7.52	10.87	21.80
<i>Plumeria acutifolia</i>	2	113.41	0.63	6.29	12.60
<i>Antigonon leptopus</i>	14	77.77	4.39	4.31	8.64
Total	319	1804.31	100	100	200.48

Sitio: El Palmillar-Cerro

Altitud: 870 m

Disturbio: medio

ESPECIE	ABU	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	6	133.12	1.70	12.57	14.79
<i>Bursera microphylla</i>	13	95.20	3.68	8.99	10.58
<i>Jatropha vernicosa</i>	21	83.94	5.95	7.93	9.33
<i>Acacia mcmurphyi</i>	18	82.52	5.10	7.79	9.17
<i>Indigosfera fruticosa</i>	66	78.80	18.70	7.44	8.76
Total	353	1059	100	100	117.66

## Anexo 4.2. Cont.

Sitio: Calambrina- encinar  
Altitud: 1340 m  
Disturbio: bajo

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Viguiera deltoidea</i>	75	253.30	17.28	26.98	28.14
<i>Acacia mcmurphyi</i>	50	178.13	11.52	18.97	19.79
Desconocida 5	35	80.51	8.06	8.58	8.95
<i>Indigofera fructicosa</i>	56	72.08	12.90	7.68	8.01
<i>Bursera microphylla</i>	4	59.86	0.92	6.38	6.65
Total	434	939	100	100	104.31

### Vertiente Norte del Cañón de la Burrera

Sitio Las Piedritas  
Altitud: 400 m  
Disturbio: alto

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Jatropa cinerea</i>	71	265.43	16.63	22.07	29.49
<i>Tecoma stans</i>	51	142.58	11.94	11.85	15.84
<i>Chloroleucon mangense</i>	12	123.94	2.81	10.30	13.77
<i>Adelia virgata</i>	13	99.24	3.04	8.25	11.03
<i>Stenocereus thurberi</i>	59	68.57	13.82	5.70	7.62
Total	427	1203	100	100	133.64

Sitio: Ecotono con matorral  
Altitud: 450 m  
Disturbio: medio

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Jatropa cinerea</i>	100	232.82	20.08	22.24	25.87
<i>Viguiera tomentosa</i>	101	196.86	20.28	18.80	21.87
<i>Senna atomaria</i>	20	141.90	4.02	13.55	15.77
<i>Lysiloma divaricatum</i>	43	85.55	8.63	8.17	9.51
<i>Euphorbia xantii</i>	93	80.27	18.67	7.67	8.92
Total	498	1047.1	100	100	116.34

Sitio: Rancho  
 Altitud: 480 m  
 Disturbio: alto

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	26	208.07	9.56	24.68	23.12
<i>Jatropha vernicosa</i>	49	104.23	18.01	12.36	11.58
<i>Colubrina glabra</i>	17	101.73	6.25	12.07	11.30
<i>Mimosa xantii</i>	39	70.57	14.34	8.37	7.84
<i>Viguiera tomentosa</i>	21	56.34	7.72	6.68	6.26
<b>Total</b>	<b>272</b>	<b>843.1</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>93.67</b>

Sitio: Incognita  
 Altitud: 530 m  
 Disturbio: bajo

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	11	571.00	2.90	26.97	63.44
<i>Jatropha vernicosa</i>	35	189.35	9.23	8.94	21.04
<i>Schaefferia cuneifolia</i>	30	153.48	7.92	7.25	17.05
<i>Bernardia mexicana</i>	23	145.81	6.07	6.89	16.20
<b>Total</b>	<b>379</b>	<b>2117.2</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>235.24</b>

Sitio: Toro  
 Altitud: 560 m  
 Disturbio: alto

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	7	262.02	2.04	16.25	29.11
<i>Tecoma stans</i>	46	157.02	13.41	9.74	17.45
<i>Antigonon leptopus</i>	19	139.56	5.54	8.65	15.51
<i>Bursera odorata</i>	34	138.34	9.91	8.58	15.37
<i>Colubrina glabra</i>	11	136.48	3.21	8.46	15.16
<b>Total</b>	<b>343</b>	<b>1612.6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>179.18</b>

## Anexo 4.2. Cont.

Sitio: Atrás del Rancho

Altitud: 570 m

Disturbio: bajo

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	10	377.85	1.70	21.24	41.98
<i>Jatropha cinerea</i>	58	197.22	9.86	11.09	21.91
<i>Jatropha vernicosa</i>	58	174.14	9.86	9.79	19.35
<i>Croton caboensis</i>	120	141.97	20.41	7.98	15.77
<i>Gochnatia arborea</i>	18	109.06	3.06	6.13	12.12
<i>Total</i>	588	1779	100	100	197.66

### Vertiente Sur del Cañón de la Zorra

Sitio: Ecotono con matorral

Altitud: 270 m

Disturbio: alto

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Tecoma stans</i>	117	464.5	33.24	30.38	51.61
<i>Jatropha cinerea</i>	78	440.21	22.16	28.78	48.91
<i>Fouquieria diguetii</i>	25	160.00	7.10	10.46	17.78
<i>Viguera tomentosa</i>	33	68.75	9.38	4.50	7.64
<i>Lysiloma candida</i>	15	74.90	4.26	4.90	8.32
<i>Total</i>	352	1529.33	100	100	169.93

Sitio: Las Palmas

Altitud: 460 m

Disturbio: medio

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	9	356.02	2.56	18.22	39.56
<i>Coursetia glandulosa</i>	23	211.61	6.53	10.83	23.51
<i>Acacia spp.</i>	153	210.17	43.47	10.76	23.35
<i>Cyrtocarpa edulis</i>	5	147.16	1.42	7.53	16.35
<i>Senna atomaria</i>	12	124.93	3.41	6.39	13.88
<i>Total</i>	352	1954	100	100	217.11

## Anexo 4.2. Cont.

Sitio: Rancho del Humo

Altitud: 510 m

Disturbio: alto

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Jatropha vernicosa</i>	129	396.60	23.37	20.11	44.07
<i>Jatropha cinerea</i>	105	301.18	19.02	15.27	33.46
<i>Bursera microphylla</i>	9	187.28	1.63	9.50	20.81
<i>Stenocereus thurberi</i>	125	148.68	22.64	7.54	16.52
<i>Antigonon leptopus</i>	31	135.87	5.62	6.89	15.10
<i>Total</i>	552	1972	100	100	219.10

Sitio: Guayabo

Altitud: 640 m

Disturbio: alto

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Jatropha cinerea</i>	55	328.04	15.45	19.23	36.45
<i>Lysiloma divaricatum</i>	8	162.99	2.25	9.55	18.11
<i>Antigonon leptopus</i>	28	162.08	7.87	9.50	18.01
<i>Jatropha vernicosa</i>	32	119.85	8.99	7.03	13.32
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	7	119.58	1.97	7.01	13.29
<i>Total</i>	356	1706	100	100	189.53

Sitio: Tulito

Altitud: 760 m

Disturbio: medio

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	41	1112.21	7.61	59.37	123.58
<i>Bursera microphylla</i>	14	127.86	2.60	6.82	14.21
<i>Exogonium bracteatum</i>	8	117.66	1.48	6.28	13.07
<i>Ruellia leucantha</i>	220	115.22	40.82	6.15	12.80
<i>Carlwrightia arizonica</i>	134	63.23	24.86	3.38	7.03
<i>Total</i>	539	1873	100	100	208.15

## Anexo 4.2. Cont.

Sitio: Encinar de Talamantes

Altitud: 840 m

Disturbio: bajo

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Lysiloma divaricatum</i>	20	469.99	4.47	27.41	52.22
<i>Quercus reticulata</i>	10	344.32	2.24	20.08	38.26
<i>Acacia</i> spp.	111	195.10	24.83	11.38	21.68
<i>Manihot chlorosticta</i>	11	87.44	2.46	5.10	9.72
<i>Diospyros californica</i>	11	63.76	2.46	3.72	7.08
<b>Total</b>	<b>447</b>	<b>1714.6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>190.51</b>

### Vertiente Norte del Cañón de la Zorra

Sitio: El Tapeite

Altitud: 400 m

Disturbio: bajo

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Tecoma stans</i>	45	376.81	15.85	23.53	44.09
<i>Gouania rosei</i>	30	360.20	10.56	22.50	40.91
<i>Coursetia glandulosa</i>	32	257.34	11.27	16.07	28.59
<i>Acalypha comonduana</i>	54	128.03	19.01	8.00	14.23
<i>Chloroleucon mangense</i>	2	79.72	0.70	4.98	8.86
<b>Total</b>	<b>284</b>	<b>1601.1</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>181.01</b>

Sitio: Piedra Lisa

Altitud: 520 m

Disturbio: medio

ESPECIE	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Chloroleucon mangense</i>	24	501.65	6.05	21.89	55.74
<i>Jatropha vernicosa</i>	61	443.00	15.37	19.33	49.22
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	32	364.89	8.06	15.93	40.54
<i>Jatropha cinerea</i>	52	232.78	13.10	10.16	25.86
<i>Lysiloma divaricatum</i>	11	164.46	2.77	7.18	18.27
<b>Total</b>	<b>397</b>	<b>2291.22</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>254.58</b>

## Anexo 4.2. Cont.

Sitio: El Capricho

Altitud: 540 m

Disturbio: alto

<b>ESPECIE</b>	<b>DENS.</b>	<b>COB.</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>DENS.</b> <b>(%)</b>	<b>COB.</b> <b>(%)</b>	<b>COB/900m<sup>2</sup></b> <b>(%)</b>
<i>Tecoma stans</i>	127	355.21	32.07	19.17	39.47
<i>Jatropha cinerea</i>	66	331.86	16.67	17.91	36.87
<i>Bursera microphylla</i>	10	259.26	2.53	13.99	28.81
<i>Antigonon leptopus</i>	36	234.62	9.09	12.66	26.07
<i>Senna atomaria</i>	22	173.76	5.56	9.38	19.31
<b>Total</b>	<b>396</b>	<b>1853.2</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>205.91</b>

Sitio: Encinos del Hija

Altitud: 600 m

Disturbio: medio

<b>ESPECIE</b>	<b>DENS.</b>	<b>COB.</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>DENS.</b> <b>(%)</b>	<b>COB.</b> <b>(%)</b>	<b>COB/900m<sup>2</sup></b> <b>(%)</b>
<i>Jatropha vernicosa</i>	127	273.57	22.24	20.54	30.40
<i>Lysiloma divaricatum</i>	29	243.21	5.08	18.26	27.02
<i>Quercus reticulata</i>	5	193.02	0.88	14.50	21.45
<i>Mimosa xantii</i>	55	109.18	9.63	8.20	12.13
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	18	104.33	3.15	7.83	11.59
<b>Total</b>	<b>571</b>	<b>1331.63</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>147.96</b>

Sitio: Puerta de San Miguel

Altitud: 720 m

Disturbio: bajo

<b>ESPECIE</b>	<b>DENS.</b>	<b>COB.</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>DENS.</b> <b>(%)</b>	<b>COB.</b> <b>(%)</b>	<b>COB/900m<sup>2</sup></b> <b>(%)</b>
<i>Lysiloma divaricatum</i>	6	453.40	1.94	19.94	50.38
<i>Ayenia unicbracteata</i>	70	312.47	22.58	13.74	34.72
<i>Antigonon leptopus</i>	12	173.37	3.87	7.62	19.26
<i>Tecoma stans</i>	13	154.43	4.19	6.79	17.16
<i>Gouania rosei</i>	7	127.23	2.26	5.59	14.14
<b>Total</b>	<b>310</b>	<b>2274</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>252.67</b>

## Anexo 4.2. Cont.

Sitio: Encinar

Altitud: 850 m

Disturbio: bajo

<i>ESPECIE</i>	DENS.	COB. (m <sup>2</sup> )	DENS. (%)	COB. (%)	COB/900m <sup>2</sup> (%)
<i>Quercus reticulata</i>	5	206.32	0.87	16.87	22.92
<i>Dodonaea viscosa</i>	47	204.42	8.17	16.72	22.71
<i>Croton boregensis</i>	106	110.11	18.43	9.01	12.23
<i>Indigofera fruticosa</i>	86	101.65	14.96	8.31	11.29
<i>Mimosa xantii</i>	64	93.68	11.13	7.66	10.41
<i>Total</i>	575	1222.7	100	100	135.85

### Anexo 4.3 Prueba de separabilidad de las firmas espectrales

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.89	5.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	6.38	2.75	8.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20.77	18.42	25.42	16.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	9.89	8.83	11.95	8.29	14.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	14.12	11.46	16.76	9.44	4.82	7.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13.78	10.87	16.69	10.45	9.71	6.10	3.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15.59	12.95	18.50	10.92	2.74	9.31	1.96	4.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	7.74	4.19	9.37	5.03	14.20	2.75	7.21	6.57	9.64	0	0	0	0	0	0	0	0
11	51.12	53.20	59.03	49.16	68.89	49.19	45.60	62.30	48.48	50.50	0	0	0	0	0	0	0
12	43.95	49.12	49.33	51.36	76.03	51.52	54.04	63.79	56.13	50.13	52.23	0	0	0	0	0	0
13	13.87	14.67	14.40	15.78	19.60	16.06	16.93	17.00	16.87	15.72	20.26	6.88	0	0	0	0	0
14	19.91	17.87	24.25	15.05	8.58	17.87	10.26	15.53	8.79	17.35	31.11	53.17	15.94	0	0	0	0
15	20.42	16.27	25.02	15.55	9.45	18.70	10.87	16.63	9.41	17.92	29.82	54.47	16.33	0.61	0	0	0
16	21.28	19.01	25.50	16.23	11.20	19.44	12.24	17.85	10.74	18.68	33.41	51.50	15.23	1.54	1.71	0	0
17	18.12	15.78	22.05	13.32	7.18	16.14	8.85	13.38	7.32	15.89	33.07	51.67	16.01	1.97	2.18	2.98	0
18	13.18	9.98	16.35	7.89	6.61	10.40	3.54	7.14	3.45	10.09	44.23	55.51	16.42	8.41	8.06	8.75	6.60
19	11.45	8.18	14.41	6.57	11.16	8.03	5.04	4.31	5.98	8.10	51.89	57.46	15.96	12.66	13.62	14.07	10.46
20	7.54	4.53	9.08	5.33	12.08	4.46	6.89	5.00	7.70	4.01	49.16	49.35	14.74	13.33	14.02	15.23	11.38
21	13.18	9.97	16.38	7.72	6.80	10.47	3.83	7.76	3.95	10.06	43.22	55.88	16.69	8.35	9.01	9.60	6.51
22	20.77	16.36	25.07	15.56	10.56	18.95	11.52	17.40	9.97	17.74	35.04	54.30	15.95	3.53	4.01	3.19	5.32
23	21.29	18.91	25.74	16.08	10.88	19.46	11.88	17.87	10.33	18.27	35.85	55.35	16.06	3.53	4.03	3.22	5.35
24	19.61	16.76	22.97	15.02	18.65	15.45	13.41	14.58	13.34	16.81	40.23	42.57	11.26	11.20	11.91	10.05	11.36
25	16.02	15.03	18.22	17.35	28.03	15.50	18.18	18.64	19.19	16.25	50.55	41.20	9.76	18.91	20.05	17.38	18.49
26	13.71	13.13	15.72	15.34	25.47	13.72	16.81	16.99	17.46	14.63	55.65	43.68	10.47	17.78	18.12	16.69	17.34
28	30.92	29.76	36.96	26.87	25.50	30.23	22.40	31.37	21.55	28.80	27.45	53.65	15.76	11.22	10.89	10.67	12.82
29	26.28	24.95	31.78	22.33	19.33	25.58	17.72	24.95	16.67	24.77	25.07	53.15	16.60	7.78	7.28	6.66	9.01
30	23.57	21.81	27.63	19.37	15.68	21.88	15.51	20.99	14.41	21.27	20.43	42.38	14.09	6.09	5.65	5.49	7.49
31	28.94	27.84	34.77	25.07	23.78	28.30	20.55	28.65	19.68	27.94	33.78	54.94	16.53	8.78	8.18	7.50	10.28
32	2.93	5.67	3.48	7.65	22.37	11.72	15.75	15.48	17.18	9.68	48.85	43.07	14.24	20.71	21.14	21.79	18.94
33	11.49	14.20	11.70	15.46	20.01	14.97	16.54	17.02	17.79	13.56	37.10	21.41	9.63	22.25	22.52	23.41	21.25
34	11.43	17.92	12.09	21.07	42.07	22.99	27.73	29.86	30.49	18.96	91.93	55.72	12.29	41.56	43.00	43.45	38.49
35	9.52	15.05	9.68	17.79	34.56	16.73	22.74	24.83	25.93	14.81	67.15	46.70	12.85	35.23	36.31	36.44	32.95

Firmas más cercanas

Anexo 4.3. ContL

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	6.11	3.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0.55	3.78	6.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	9.22	13.62	15.02	9.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	9.62	14.15	15.44	9.42	0.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	12.20	11.69	12.82	12.40	10.97	11.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	17.26	15.81	14.27	17.69	18.59	19.02	7.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	15.42	13.73	12.22	15.59	16.40	16.80	10.31	3.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	21.06	26.78	25.60	20.78	11.33	11.38	16.84	26.59	28.19	0	0	0	0	0	0	0	0
29	16.36	21.49	20.14	16.33	7.46	7.58	16.04	25.28	24.70	4.91	0	0	0	0	0	0	0
30	13.80	17.81	18.08	13.69	6.55	6.59	10.70	17.79	19.32	3.02	2.40	0	0	0	0	0	0
31	18.55	24.09	22.59	18.40	8.74	8.92	16.98	26.22	25.70	5.22	0.89	2.56	0	0	0	0	0
32	14.47	13.12	8.17	14.28	21.31	21.82	20.01	17.33	15.12	30.98	26.77	24.04	29.10	0	0	0	0
33	19.04	18.40	15.57	19.07	23.23	23.48	22.89	20.95	19.51	28.27	25.45	24.53	26.82	10.57	0	0	0
34	32.18	31.11	21.80	32.36	43.19	44.28	41.29	36.73	33.05	58.41	51.16	43.62	56.28	12.11	6.92	0	0
35	27.39	26.15	18.80	27.43	36.06	36.90	33.20	28.34	25.71	48.45	43.28	37.21	46.81	10.42	7.74	5.57	0

Anexo 4.4. Características de los sitios de verificación (cuadros 10 x 10 m)

ID	Longitud	Latitud	Ver.	Altitud	Roc.	Pend.	Exp.	IA	Gan.	RSPP	ABU	COB.	CLD	UV	CST	CSA
1	611073	2614869	G	840	15	24	N	11	1589	18	102	92	34	AEV	36	6
2	607531	2615383	G	820	5	6	N	10	1589	13	29	192	106	SC	108	0
3	601113	2619846	G	680	20	4	N	6.75	644	6	11	23	14	SUELO	14	8
4	612621	2615024	G	700	60	48	S	11.5	1589	27	139	396	130	SC	204	106
5	611053	2614912	G	810	10	28	N	11	1589	17	149	70	38	AEV	38	4
6	608209	2615448	G	800	2	42	N	10	1589	18	65	274	37	SC.EN	48	20
7	601142	2618817	G	690	0	7	N	6.75	644	11	57	194	95	SC	115	38
8	616071	2605781	G	480	5	60	S	14.5	1173	13	35	59	3	AEV	13	16
9	616083	2605844	G	510	5	50	S	14.5	1173	25	123	291	117	SC	14	91
10	616044	2605386	G	460	15	8	-	14.5	1173	10	83	401	0	SAM	240	147
11	623064	2603414	G	350	5	22	S	12.25	1173	12	54	129	0	SA	1	48
12	624739	2601476	G	320	0	2	-	11.75	223	14	44	209	0	SAM	111	58
13	624853	2599216	G	300	0	12	-	12	223	11	37	66	0	AEV	1	3
14	624497	2599599	G	310	0	3	-	12.25	223	10	36	194	0	SAM	52	104
15	618863	2604995	G	380	60	16	N	14.25	1173	9	82	166	53	SA	91	51
16	619618	2586774	G	440	26	42	S	14.5	0	13	89	179	0	SAM	22	94
17	616982	2581158	G	400	80	44	S	14	362	10	43	206	0	SAM	137	6
18	617212	2581060	G	360	10	19	S	14	362	9	35	250	0	SAM	182	2
19	619217	2586480	G	380	40	67	S	14.5	0	11	36	119	48	SA	91	20
20	621040	2580409	G	328	8	4	-	14.25	285	17	49	136	2	SA	16	74
21	620887	2590427	G	360	15	26	E	14.25	285	19	64	166	18	SA	137	20
22	589046	2614980	P	440	40	25	E	7.5	735	13	92	114	0	SA	27	70
23	596165	2617153	P	530	5	37	S	7.75	911	7	27	77	0	AEV	39	30
24	598080	2616067	P	610	30	23	S	8.5	911	11	85	54	34	AEV	40	5
25	596753	2616837	P	580	3	25	N	8	911	12	155	234	20	SAM	33	109
26	594392	2615140	P	680	20	31	S	7.75	911	11	49	81	1	AEV	16	60
27	597284	2616900	P	560	5	75	N	8	911	15	43	254	82	SC	115	90
28	594100	2610250	P	420	1	23	E	8.5	1096	14	103	149	31	SA	97	38
29	594292	2609605	P	410	90	55	N	8.75	1096	16	44	289	157	SC	264	14
30	598647	2587011	P	400	3	33	O	12.25	425	24	117	339	14	SAM	185	101
31	596800	2592465	P	350	0	2	S	13.75	441	10	64	176	0	SAM	26	150
32	598382	2600229	P	470	26	60	S	16	559	17	49	220	0	SAM	106	73
33	597296	2599659	P	450	0	0	-	15.5	559	9	25	298	0	SAM	194	0

Anexo 4.4 Cont.

ID	Longitud.	Latitud	Ver.	Altitud	Roc.	Pend.	Exp.	IA	Gan.	RSPP	ABU	COB.	CLD	UV	CST	CSA
34	596694	259808	P	500	50	40	S	15	559	13	28	55	5	AEV	35	5
35	599225	2601831	P	840	40	30	E	16.5	559	19	46	366	189	SC	297	32
36	599450	2602300	P	870	20	20	O	16.5	559	17	45	118	10	SA	18	24
37	595152	2596665	P	400	10	10	S	14.25	559	20	75	140	5	SA	52	48
38	592225	2601951	P	450	0	10	N	12	559	15	52	135	0	SA	47	53
39	597201	2599263	P	480	80	40	O	15.25	559	15	41	69	6	AEV	26	11
40	599255	2598398	P	530	10	80	N	16.5	559	19	57	447	136	SC	208	123
41	597633	2599107	P	560	40	30	S	15.75	559	15	44	172	4	SA	23	85
42	597520	2599275	P	570	40	90	N	15.5	559	19	77	285	124	SC	172	12
43	624003	2599245	G	270	0	0	-	12.5	223	4	23	144	0	SA	94	46
44	621016	2600297	G	460	90	21	O	13.5	223	14	50	217	106	SC	116	79
45	619293	2599391	G	510	10	40	E	14.25	223	18	76	292	0	SAM	56	179
46	618160	2599086	G	640	40	30	S	14.75	223	19	44	280	19	SAM	96	171
47	619146	2599685	G	760	15	34	O	14.25	223	12	56	328	220	SC	291	11
48	622265	2599194	G	400	80	80	N	13	223	14	58	193	1	SAM	110	41
49	619198	2599022	G	520	5	30	N	14.25	223	12	25	299	0	SAM	182	74
50	620274	2599159	G	540	30	10	O	13.75	223	8	33	239	11	SAM	147	92
51	618750	2598500	G	720	90	70	N	14.5	223	19	65	561	204	SC	446	25
52	622955	2598740	G	345	70	15	N	12.75	223	9	43	58	0	AEV	2	25
53	623450	2599148	G	250	1	4	-	12.5	223	7	17	128	0	SA	109	11

Ver= vertiente, Roc= rocosidad, Pend= pendiente, Exp= exposición, IA= Índice de anídez Gan= ganado, RSPP= riqueza específica, ABU= abundancia, COB= cobertura, CLD= cobertura de *Lysiloma divaricatum*, UV=unidad de vegetación (AEV, áreas de escasa vegetación; SA, selva abierta; SAM, selva amatorialada; SC, selva cerrada), CST= cobertura de especies tropicales, CSA= cobertura de especies ándas

#### Anexo 4.5. Lista de especies.

CLAVE	ESPECIE	FAMILIA	FC	AFINIDAD AMBIENTAL
CARCAL	<i>Carlownightia californica</i> Brandegee	Acanthaceae	HP	A
JUSPUR	<i>Justicia purpusli</i> (Brandegee) D.N. Gibson	Acanthaceae	AB	Endémica
AGASPP	<i>Agave</i> spp.	Agavaceae	AB	
YUCVAL	<i>Yucca valida</i> Brandegee	Agavaceae	AR	A
CELFLO	<i>Celosia floribunda</i> A. Gray	Amaranthaceae	AB	Endémica
IREANG	<i>Iresine angustifolia</i> Euphrasén	Amaranthaceae	HP	
IRECAL	<i>Iresine calea</i> (Ibañez) Standley	Amaranthaceae	HP	T
CYREDU	<i>Cyrtocarpa edulis</i> (Brandegee) Standley	Anacardiaceae	AR	Endémica
RHURAD	<i>Rhus radicans</i> L. var. <i>divaricata</i> (Greene) Fernald	Anacardiaceae	TL	
PLUACU	<i>Plumeria rubra</i> var. <i>acutifolia</i> (Poir.) L.H. Bailey	Apocynaceae	AR	T
RUELEU	<i>Ruellia leucantha</i> Brandegee	Apocynaceae	HP	Endémica
RUEPEN	<i>Ruellia peninsularis</i> (Rose) I. M. Johnst.	Apocynaceae	HP	A
ERYBRA	<i>Erythea brandegeei</i> Purpus	Arecaceae	AR	
ASCSub	<i>Asclepias subulata</i> Decne.	Asclepiadaceae	HP	
MATCOR	<i>Matelea cordifolia</i> (A. Gray) Woodson	Asclepiadaceae	TH	A
BIGUNG	<i>Bignonia unguis-cati</i> L.	Bignoniaceae	TL	T
TECSTA	<i>Tecoma stans</i> L. Juss.	Bignoniaceae	AB	T
CORCUR	<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roemer & Schultes	Boraginaceae	AB	T
BUREPI	<i>Bursera epinnata</i> (Rose) Engler	Burseraceae	AR	Endémica
BURMIC	<i>Bursera microphylla</i> A. Gray	Burseraceae	AR	A
BURODO	<i>Bursera odorata</i> Brandegee	Burseraceae	AR	A
FERPEN	<i>Ferocactus peninsulæ</i> (Engelm. ex Weber) Britton & Rose var. <i>peninsulæ</i>	Cactaceae	S	Endémica
MAMDIO	<i>Mammillaria dioica</i> M. Brandegee	Cactaceae	S	A
OPUCHO	<i>Opuntia cholla</i> Weber	Cactaceae	S	A
OPUSPP	<i>Opuntia</i> sp	Cactaceae	S	
PACPEC	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> (Engelm.) Britton & Rose	Cactaceae	S	T
PACPRI	<i>Pachycereus pringlei</i> (S. Wats.) Britton & Rose	Cactaceae	S	
PERPOR	<i>Peresklopsis porteri</i> (Weber) Britton & Rose	Cactaceae	S	A
STETHU	<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelm.) Gibson & Horak var. <i>thurberi</i>	Cactaceae	S	A
STEGUM	<i>Stenocereus gummosus</i> (Engelm.) Gibson & Horak	Cactaceae	S	A
WILSTR	<i>Wilcoxia striata</i> (Brandegee) Britton & Rose	Cactaceae	S	
FORMAC	<i>Forchammeria watsonii</i> Rose	Capparidaceae	AR	
SHCUN	<i>Schaefferia cuneifolia</i> A. Gray	Celastraceae	AB	A
SCHSHR	<i>Schaefferia shrevei</i> Lundell	Celastraceae	AB	
BRICOU	<i>Brickellia coulteri</i> A. Gray	Asteraceae	HP	A
GOCARB	<i>Gochnatia arborescens</i> Brandegee	Asteraceae	AR	Endémica

Cont. Anexo 4.5

CLAVE	ESPECIE	FAMILIA	FC	AFINIDAD AMBIENTAL
PLUSCA	<i>Pluchea</i> sp	Asteraceae	HP	
POROCH	<i>Porophyllum ochroleucum</i> Rydb.	Asteraceae	HP	Endémica
VIGTOM	<i>Viguiera tomentosa</i> A. Gray	Asteraceae	AB	Endémica
EXOBRA	<i>Exogonium bracteatum</i> (Cav.) Choisy	Convolvulaceae	TL	T
IPOSPP	<i>Ipomoea</i> sp	Convolvulaceae	TH	
JACOAX	<i>Jacquemontia palmeri</i> S. Wats.	Convolvulaceae	TH	
MERAUR	<i>Merremia aurea</i> (Kell.) O'Donnell	Convolvulaceae	TH	T
TRIANG	<i>Trixis angustifolia</i> DC. <i>Ibervillea sonora</i> (S. Wats.) Greene var. <i>peninsularis</i>	Convolvulaceae	HP	
IBESON	(I.M. Johnst.) Wiggins <i>Diospyros californica</i> (Brandege) I. M. Johnst. var.	Cucurbitaceae	TL	Endémica
DIOCAL	<i>tonsa</i> I. M. Johnst	Ebenaceae	AB	Endémica
ACACOM	<i>Acalypha comonduana</i> Millsp.	Euphorbiaceae	AB	Endémica
ADEVIR	<i>Adelia virgata</i> Brandege	Euphorbiaceae	AB	A
BERLAG	<i>Bernardia lagunensis</i> (M.E. Jones) L.C. Wheeler	Euphorbiaceae	AB	Endémica
CROBOR	<i>Croton boregensis</i> M. E. Jones	Euphorbiaceae	AB	Endémica
CROCAB	<i>Croton caboensis</i> Croizat	Euphorbiaceae	AB	Endémica
EUPXAN	<i>Euphorbia xantii</i> Engelm.	Euphorbiaceae	AB	Endémica
JATCIN	<i>Jatropha cinerea</i> (Ortega) Muell. Arg	Euphorbiaceae	AB	A
JATVER	<i>Jatropha vernicosa</i> Brandege	Euphorbiaceae	AB	Endémica
MANCHL	<i>Manihot chlorosticta</i> Standley & Goldman	Euphorbiaceae	AB	T
QUERET	<i>Quercus reticulata</i> Humb. & Bonpl.	Fagaceae	AR	
FOUDIG	<i>Fouquieria diguetii</i> (Van Tieghem) I. M. Johnst.	Fouquieriaceae	AB	A
HYPCOL	<i>Hyptis collina</i> Brandege	Labiatae	HP	Endémica
HYPLAN	<i>Hyptis laniflora</i> Benth.	Labiatae	AB	Endémica
SALSIM	<i>Salvia similis</i> Brandege	Labiatae	AB	
SALSPP	<i>Salvia</i> spp.	Labiatae	AB	
ACAMAC	<i>Acacia mcmurphyi</i> Wigg.	Leguminosae	AB	Endémica
aff HAEBRA	aff. <i>Haematoxylon brasiletto</i>	Leguminosae	AB	
ALBOCC	<i>Albizia occidentalis</i> Brandege	Leguminosae	AR	T
BENBRA	<i>Benthaltha brandegeei</i> Rydb.	Leguminosae	HP	
BROTRI	<i>Brongniartia trifoliata</i> Brandege	Leguminosae	AB	Endémica
CAEPAN	<i>Caesalpinia pannosa</i> Brandege	Leguminosae	AB	Endémica
CALCAL	<i>Calliandra californica</i> Benth.	Leguminosae	AB	Endémica
CALPEN	<i>Calliandra peninsularis</i> Rose <i>Cercidium floridum</i> Benth. Ex A. Gray subsp.	Leguminosae	AB	Endémica
CERPEN	<i>peninsulare</i> (Rose) Carter	Leguminosae	AR	Endémica
COUGLA	<i>Coursetia glandulosa</i> A. Gray	Leguminosae	AB	A

Cont. Anexo 4.5

CLAVE	ESPECIE	FAMILIA	FC	AFINIDAD AMBIENTAL
DALSPP	<i>Dalea</i> sp	Leguminosae	AB	
ERYFLA	<i>Erythrina flabelliformis</i> Kearney	Leguminosae	AR	A
HAEBRA	<i>Haematoxylon brasiletto</i> Karst.	Leguminosae	AB	T
INDFRU	<i>Indigofera fruticosa</i> Rose	Leguminosae	AB	Endémica
LYSCAN	<i>Lysiloma candida</i> Brandegee	Leguminosae	AR	Endémica
LYSDIV	<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J. F. Macbr	Leguminosae	AR	T
MIMBRA	<i>Mimosa brandegeei</i> Robinson	Leguminosae	AB	A
MIMXAN	<i>Mimosa xantii</i> A. Gray	Leguminosae	AB	T
PHAFIL	<i>Phaseolus filiformis</i> Benth.	Leguminosae	TH	
PITCON	<i>Pithecolobium confine</i> Standley	Leguminosae	AR	Endémica
CHLMAN	<i>Chloroleucon mangense</i> (Jacq.) Britton & Rose	Leguminosae	AR	T
RHYPYA	<i>Rhynchosia pyramidalis</i> (Lam.) Urb.	Leguminosae	TH	
SENATO	<i>Senna atomaria</i> (L.) Irwin & Barneby	Leguminosae	AR	T
SENVIL	<i>Senna villosa</i> (Miller) Irwin & Barneby	Leguminosae	AB	T
MALDIV	<i>Malpighia diversifolia</i> Brandegee	Malpighiaceae	AB	Endémica
GOSSPP	<i>Gossypium</i> sp.	Malvaceae	AB	
HERCRI	<i>Herissantia crispa</i> (L.) Brizicky	Malvaceae	HP	
XIMPUB	<i>Ximения parviflora</i> Benth. var. <i>glauca</i> De Fil.	Olcaceae	AB	
LASRUS	<i>Lasiacis ruscifolius</i> (Kunth) Hitchc. var. <i>belangeri</i>	Poaceae	HA	T
ANTLEP	<i>Antigonon leptopus</i> Hook. & Am.	Polygonaceae	TH	T
COLTRI	<i>Colubrina triflora</i> Brongn.	Rhamnaceae	AR	T
COLVIR	<i>Colubrina viridis</i> M.E. Jones	Rhamnaceae	AB	A
GOUROS	<i>Gouania rosei</i> Wigg.	Rhamnaceae	TL	T
KARHUM	<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schultes) Zucc.	Rhamnaceae	AB	A
CHIALB	<i>Chiococca alba</i> (L.) C. L. Hitchc.	Rubiaceae	AB	
RANMEG	<i>Randia megacarpa</i> Brandegee	Rubiaceae	AB	Endémica
ZANARB	<i>Zanthoxylum arborescens</i> Rose	Rutaceae	AR	T
ZANSON	<i>Zanthoxylum sonorensis</i> Lundell	Rutaceae	AB	
CARCOR	<i>Cardiospermum corindum</i> L.	Sapindaceae	TH	T
DODVIS	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Sapindaceae	AB	
BUMPEN	<i>Bumelia paninsularis</i> Brandegee	Sapotaceae	AB	Endémica
RUSRET	<i>Russelia retrorsa</i> Greene.	Scrophulariaceae	HP	
SOLHIN	<i>Solanum hindsianum</i> Benth.	Solanaceae	AB	A
AYEGLA	<i>Ayenia glabra</i> S. Wats	Sterculiaceae	AB	T
TRISEM	<i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq.	Tiliaceae	HA	
TURDIF	<i>Turnera diffusa</i> Willd.	Turneraceae	AB	T

---

Cont. Anexo 4.5

CLAVE	ESPECIE	FAMILIA	FC	AFINIDAD AMBIENTAL
CELRET	<i>Celtis reticulata</i> Torr.	Ulmaceae	AB	
LANPAL	<i>Lantana velutina</i> Martens & Galeotti	Verbenaceae	AB	
LIPPAL	<i>Lippia palmeri</i> S. Wats.	Verbenaceae	AB	
HYBMEX	<i>Hybanthus mexicanus</i> Ging.	Violaceae	HP	
DESCO1	Desconocida 1			
DESCO2	Desconocida 2			
DESCO3	Desconocida 3		AB	

---

