



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FES-Iztacala

“ DOMINIOS BIOCLIMÁTICOS DE LAS ESPECIES DE ÁRBOLES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA TEHUACAN-CUICATLAN POR MEDIO DEL MODELAJE BIOCLIMATICO, CON EL FIN DE REALIZAR ESTUDIOS BIOGEOGRÁFICOS QUE PERMITAN PROPONER ESTRATEGIAS PARA SU CONSERVACIÓN”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

IRVING ROSAS RUÍZ

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Oswaldo Téllez Valdés

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

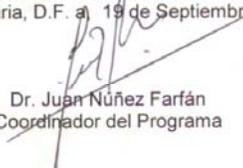
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 9 de octubre de 2006, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del alumno **IRVING ROSAS RUÍZ** con número de cuenta **92202100** con la tesis titulada: "**Dominios bioclimáticos de las especies de árboles de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán por medio del modelaje bioclimático, con el fin de realizar estudios biogeográficos que permitan proponer estrategias para su conservación**", realizada bajo la dirección del **DR. OSWALDO TÉLLEZ VALDÉS**.

Presidente:	Dra. Mercedes Isolda Luna Vega
Vocal:	Dr. Víctor Sánchez-Cordero Dávila
Secretario:	Dr. Oswaldo Téllez Valdés
Suplente:	Dr. Rafael Lira Saade
Suplente:	Dr. Jorge López Blanco

Sin dudar de su atención, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 19 de Septiembre de 2007.


Dr. Juan Nuñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio de Recursos Naturales de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

A **CONACYT** por haberme otorgado la beca para estudios de posgrado que me permitió continuar y terminar los estudios de Maestría.

Al Estado de México por la beca de **COMECYT** que también me apoyo para terminar los estudios de Maestría.

A los proyectos PAPIIT 212407; PAPIIT IN 224505; PAPCA FES Iztacala 2003; y al proyecto CONABIO BK 029, que me apoyaron para el trabajo de campo y permitieron enriquecer mi formación al participar en diferentes proyectos.

A los miembros del Comité Tutorial quienes han dirigido la presente tesis de maestría y que estuvo integrado por:

Dr. Oswaldo Téllez Valdés.
(Tutor principal)

Dra. Mercedes Isolda Luna Vega.

Dr. Jorge López Blanco.

DEDICATORIA

A mi esposa e hijas Lisette, Yoali e Itza en orden de tamaño no de importancia, a quienes debo gran parte de los que ahora soy. Esta vida nunca será igual a partir del momento en que llegaron a mi vida, cada una en cada etapa es, a sido y serán lo más importante para mi, gracias a ustedes todos los días despierto con una meta, con una esperanza, con un gusto por esta vida que compartimos.

A mi demás familia que también es importante, Mi madre y padre que siguen preocupándose por su niño, a mis hermanas que ahora las veo a cada una con su vida hacia delante, a mis sobrinas Tzitzí y Hiera que tienen el genio de su mamá.

A mis suegros que siempre nos apoyan en lo que se puede, a mi cuñis que también nos hecha la mano, a los chimpos que crecieron con mi hija Yoali.

A toda la demás familia, a mis primos Julio Eve y Jorge con todos y sus esposas e hijos todos de alguna manera son importantes, puesto que seguiremos compartiendo la vida (espero por mucho tiempo).

No quiero olvidarme de los compañeros del laboratorio así que perdón si alguien me falta: Manuel, Isidro, Oswaldo, Humberto, Leo, Carmen, Karla, Choche, Richi, Mayeli, Violeta, Mayra y Eu. Con todos en algún momento he compartido momento de trabajo y de esparcimiento mental.

En especial a Oswaldo, Isidro, Manuel y Carmen por la ayuda en la primer etapa de trabajo de campo. También a la segunda generación: Karla, choche, Richi, Mayeli, Violeta, Manuel y el Mafian, por la ayuda y los momentos de sano esparcimiento.

Otra vez al Dr. Oswaldo Téllez Valdés, quien al cabo de 6 años a depositado confianza y sobre todo amistad en mi, además claro de importante dirección en la formación académica y de la oportunidad para el desempeño profesional que hasta ahora he podido tener.

AGRADECIMIENTOS

Una vez más a mi familia por quienes estaré siempre luchando Nena, sabes que cooperaste de forma determinante en la formación de lo que ahora soy. Yoa, tu llegada al mundo marco el principio de una mejor vida, a tu lado y el de tu mamá. Itza, llegaste para seguir dando alegría y felicidad a esta familia.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la UNAM de la cual siempre estaré orgulloso y donde al cabo de 15 años sigo con mi formación académica.

A toda la bandera del laboratorio de recursos, Manolo, Carmela, Chakarla, Isidri, Oswaldin Rupert, Mayra, Pollo, Violenta, Chio, Mafian, Richi, Mayeli y Choche, por los momentos estos últimos años.

A los cuates de la maestría de Restauración con quienes también he compartido momentos agradables Rigo, Gil, Luza, Luzma, Adris, Diana, Andrea y a todos los demás, aunque no es de restauración también a Paty la de Sonte.

A los sinodales que revisaron mi escrito y me ayudaron a mejorarlo en muchos aspectos, Isolda, Jorge, Rafael, Víctor y Oswaldo.

Al Dr. Oswaldo que me permitió colaborar en distintos proyectos que han sido importantes en mi formación: la elaboración de las guías de campo para la colecta de semillas del proyecto UBIPRO-Royal Botanical Garden; por amor al planeta de Volkswagen.

A los Germinos que también fueron importantes en esta etapa de desarrollo profesional: Luza, Rigo, Paty, Gil y Luzma.

Uno no es lo que es por lo que escribe, sino por lo que ha leído

J. L. Borges

INDICE

ÍNDICE	V
Índice de figuras y cuadros	VI
RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	6
3. OBJETIVO GENERAL	9
3.1 Metas	10
4. ÁREA DE ESTUDIO	10
4.1 Aspectos socioeconómicos	11
4.2 Clima	12
4.3 Vegetación	12
4.4 Geología	14
4.5 Suelos	16
5. METODOS	17
5.1 Selección de especies	17
5.2 Bases de datos	17
5.3 Modelaje bioclimático	18
6 RESULTADOS	21
7. DISCUSIÓN	50
8. CONCLUSIONES	57
9. ANEXO 1	58
10. BIBLIOGRAFÍA	65

INDICE DE FIGURAS

Fig. I. Localización geográfica de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán	11
Fig. 1. Fenograma de acuerdo a la similitud climática de los sitios donde crecen las especies.	27
Fig. 2. Gráfica de dos vías.	29
Fig. 3. Principales unidades de relieve dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.	31
Fig. 4. Modelo de distribución potencial del grupo A.	33
Fig. 5. Modelo de distribución potencial del grupo B.	35
Fig. 6. Modelo de distribución potencial del grupo C.	37
Fig. 7. Modelo de distribución potencial del grupo D.	38
Fig. 8. Modelo de distribución potencial del grupo E.	41
Fig. 9. Modelo de distribución potencial del grupo F.	43
Fig. 10. Modelo de distribución potencial del grupo G.	44
Fig. 11. Modelo de distribución potencial del grupo H.	46
Fig. 12. Modelo de distribución potencial del grupo I.	48

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros bioclimáticos empleados para generar los perfiles bioclimáticos con BIOCLIM.	19
Cuadro 2. Listado de especies utilizadas en este estudio.	22
Cuadro 3. Estadístico kappa	49

Palabras clave: BIOCLIM, biogeografía, árboles, Tehuacán-Cuicatlán, reforestación

RESUMEN

La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) es el área semiárida más rica del país florísticamente, con una alta tasa de endemismo. Sin embargo, el conocimiento actual de la distribución total real de las especies aún es muy fragmentario. En este estudio utilizamos un método de modelaje bioclimático (BIOCLIM) y datos sobre la distribución de 131 especies de árboles representativos de la diferentes regiones naturales de la RBTC (Valle de Zapotitlán, Valle de Cuicatlán, Sierra de Tecamachalco, Sierra de Monteflor, etc.), con la finalidad de determinar sus dominios bioclimáticos y biogeográficos, así como, determinar Áreas prioritarias de Conservación dentro de la misma reserva. Se generó un análisis cuantitativo de las condiciones climáticas de los sitios donde crecen las especies, este análisis se representa por medio de un perfil bioclimático para cada especie, con los cuales, se construyó una matriz donde las filas representaban a las especies y las columnas las variables climáticas. Mediante un análisis de conglomerados se agrupó a las especies de acuerdo con la semejanza climática de los sitios en donde habitan. Así se definieron los dominios bioclimáticos y biogeográficos de las especies. Posteriormente, se generaron modelos de distribución potencial de los grupos obtenidos y mediante el solapamiento de estos y con ayuda del algoritmo COMBINE de ArcView 3.1 se reconocieron aquellos sitios en donde estos coinciden (HOTSPOTS). Así mismo, con estos modelos y la información más reciente relacionada con el cambio de uso de suelo, se elaboró una propuesta de sitios que actualmente tienen representada la diversidad de las especies de árboles y arbustos utilizados en este estudio, así como, el reconocimiento de sitios potencialmente importante para la reforestación con especies nativas.

ABSTRACT

The Tehuacán-Cuicatlán biosphere reserve (RBTC) is it part of the floristically richest semiarid zone in Mexico, including a high rate of endemism. However, current knowledge about total distribution of plant species is still highly fragmentary. In this study information on 131 representative species of trees of different natural units of the RBTC (Valle de Zapotitlán, Valle de Cuicatlán, Sierra de Tecamachalco, Sierra de Monteflor, etc.) and the bioclimatic modelling approach BIOCLIM were used with the aim of defining their bioclimatic and biogeographic domains, as basis for determining the biodiversity priority areas for conservation actions inside the reserve boundaries. A bioclimatic profiles was generated for each one of the species. A data matrix was built up where the rows representing the species and the columns the values for each of the climatic variables. A cluster analysis was applied to group the species according to the climatic similarity of the localities they are distributed in, in a way they showed the general bioclimatic and biogeographic domains. Once the models of potential distribution for the groups were defined, these were overlaid, and with the help of the combine algorithm in ArcView 3.1 clipped for defining hotspots. These information was contrasted against land use change coverages for recognizing those areas susceptible of reforestation. Finally, a proposal for implementing a reforestation plan inside the boundaries of the reserve using native species.

1. INTRODUCCIÓN

México se encuentra en una zona de transición entre dos regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical, que aunado a la historia geológica ha determinado para el país una topografía accidentada, con una gran diversidad de climas, suelos y sobre todo biológica, por lo que se considera a México como uno de los países “megadiversos” (Toledo, 1998; Ramamoorthy *et al.*, 1993).

En las últimas décadas se ha resaltado la importancia de la pérdida de diversidad biológica como resultado de la transformación de los hábitats, la contaminación industrial, la sobreexplotación de los recursos y en gran medida por la presión que se ejerce sobre éstos por la creciente explosión demográfica. Ante esta situación, se ha despertado un intenso debate e interés en la propuesta de nuevos enfoques, métodos y conceptos referentes a la conservación, destacando la necesidad de contar con información confiable y precisa para la planeación en el manejo de los recursos naturales (Toledo, 1998).

La deforestación es considerada como una de las amenazas más grandes que afronta la comunidad mundial debido a la consiguiente pérdida de diversidad biológica que esta provoca, lamentablemente algunos esfuerzos de reforestación terminan en “desiertos verdes”, superficies interminables privadas de toda variedad de formas de vida y valores ecológicos (Lovera, 2003). Algunos de los principales problemas que ocasiona la deforestación son la pérdida de hábitat y la fragmentación, que conducen frecuentemente a la extinción de especies y la reestructuración de ecosistemas enteros. Además, presentan una cascada de efectos dañinos progresivos y una influencia apreciable en las comunidades cercanas, así como, modificaciones en la dinámica del paisaje, por lo que se requiere entender sus consecuencias en la persistencia de las poblaciones y comunidades nativas (Collinge, 2001; Whitmore y Sayer, 1992).

Se considera que en un tiempo relativamente corto, la vegetación de México ha sufrido extensas alteraciones principalmente por las actividades antropogénicas, tales como el crecimiento poblacional, la contaminación, el sobrepastoreo, la deforestación y el cambio en uso de suelo, entre otros (Vázquez y Batis, 1996; Velázquez *et al.*, 2003). Este daño se ha tratado de amortiguar mediante el uso “racional” de los recursos naturales (desarrollo sustentable) y el establecimiento de áreas naturales protegidas (ANP’s). Estas ANP’s tienen tres objetivos fundamentales: (I) la representación de comunidades naturales que son características de las regiones bióticas del país; (II) la protección de especies en peligro de extinción y (III) la conservación de la riqueza biótica o el máximo número de especies (Pozo y Llorente, 2001; Cantú *et al.*, 2004).

Una consideración vital para la conservación y para el manejo adecuado de los recursos, es la delimitación de un área o espacio geográfico que represente la diversidad de especies (riqueza biológica), así como su distribución en ese espacio. En este campo se considera a los inventarios biológicos locales y regionales como fuente base para el conocimiento en los patrones de distribución de las especies (Llorente *et al.*, 1994). Desafortunadamente hasta hoy, el conocimiento de éstos se ha sesgado principalmente a los lugares más accesibles y a los grupos más conocidos, lo que se conoce como el síndrome del colector (Llorente *et al.*, 1994), por lo que se hace hincapié en la necesidad de realizar esfuerzos de colecta de una forma sistemática, considerando todos los gradientes ambientales probables en las diferentes regiones geográficas del país (Toledo, 1998).

Idealmente el inventariado de la diversidad biológica debe ser “casi completo” lo cual en realidad no ocurre, los patrones de distribución de cada especie no se han determinado y este es un trabajo que con toda probabilidad no ocurrirá, ya que considerar “reinventariar” la biota del país es una tarea que requeriría de una fuerte inversión de recursos económicos y tiempo. Por lo tanto, la definición de áreas y nodos de conservación no puede esperar la definición de un esquema

científicamente correcto y completo, principalmente por las actuales tasas de extinción y deterioro de la biota (Llorente *et al.*, 1994). De esta manera, se han planteado diferentes alternativas como sustituto para el manejo de la información actual, como la integración de la información contenida en los inventarios y en las colecciones en bases de datos digitales, desarrolladas recientemente como una forma de almacenar información en un formato práctico de consulta reconociendo y definiendo áreas de distribución actual y potencial (Miller, 1994).

El análisis de la relación entre las especies y las condiciones ambientales ha sido un tema central para la ecología y es la base de los modelos predictivos geográficos, los cuales se utilizan en diferentes disciplinas como la biogeografía, la conservación biológica, investigaciones sobre cambio climático y manejo de hábitats y especies (Guisan y Zimmermann, 2000).

Una de las disciplinas importantes en el estudio de la distribución de las especies y por lo tanto de las comunidades bióticas, es la biogeografía. Esta define a la distribución geográfica de una especie como el conjunto de localidades donde ésta ha sido registrada, ya sea mediante la recolecta de especímenes o la observación, y al área de distribución geográfica como la inferencia de cual es al área con mayor probabilidad de que una determinada especie esté presente (Espinosa *et al.*, 1994).

También se ha definido el área de distribución de las especies en función de sus requerimientos ecológicos, entendiendo a estos como la preferencia de hábitat donde pueden establecerse y crecer (Walter, 1976), expandiéndose a través de los mismos y presentando “deformaciones” que obedecen a factores ambientales, tales como barreras climáticas, topográficas, edáficas o incluso biológicas (competencia, predación, dispersión, etc.) (Rapoport y Monjeau, 1994).

Entre los métodos tradicionales que estudian y tratan de relacionar los patrones de distribución de las especies con las condiciones ambientales esta la Areografía, la

cual reconoce que el área de distribución de una especie se encuentra delimitada principalmente por las localidades marginales de recolecta (Rapoport y Monjeau, 1994) y el “Gap Analisis”, el cual utiliza el solapamiento de mapas de distribución con mapas de hábitat que cubren el total de la distribución, elaborando un modelo de correspondencia en función del hábitat preferencial de la especie, los cuales pueden ser precisos para casos particulares (Sánchez *et al.*, 2001).

Por otro lado se ha determinado que al emplear modelos cuantitativos que incluyan factores bióticos y abióticos para modelar la distribución de una especie, lo que realmente se está modelando es el llamado nicho fundamental (Sánchez *et al.*, 2001), el cual se define como la suma de todos los factores ambientales que actúan en la distribución de los organismos (Guisan y Zimmermann, 2000). Otro modelo cuantitativo que se ha utilizado en la predicción del área de distribución potencial es el conocido como “envoltura climática”, este se ha definido como los componentes climáticos del nicho fundamental o “nicho climático” (Pearson y Dawson, 2003).

El enfoque de modelaje bioclimático con ayuda del programa BIOCLIM es solo uno de diferentes métodos predictivos, el cual emplea el principio de “envoltura climática” (Guisan y Zimmermann, 2000). Con este método se genera un perfil bioclimático, que se entiende como la representación cuantitativa de las condiciones climáticas de los sitios donde se ha registrado a una especie, para lo cual utiliza 19 parámetros bioclimáticos con significado biológico (Cuadro 1). Así mismo, dichos perfiles se utilizan para generar una representación geográfica de los sitios que tienen las condiciones climáticas descritas en los perfiles bioclimáticos, lo que resulta en un modelo de distribución potencial. Estos modelos han sido descritos como una herramienta útil ante el desconocimiento de la distribución total real de las especies, al presentar una base cuantitativa que permite a corto plazo realizar análisis botánicos, taxonómicos y biogeográficos, con los que se puede contribuir a evaluaciones que apoyen en la toma de decisiones más acertadas en la conservación de la diversidad biológica y el

desarrollo sostenido (Téllez-Valdés y Dávila-Aranda, 2003, Téllez *et al.*, 2004, Villaseñor y Téllez, 2004).

En el mismo sentido de la toma de decisiones utilizamos a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y representación de datos referenciados espacialmente, dicha herramienta incrementa la precisión en lo que se refiere a interpolación e interpretación, cálculo de áreas, y seguimiento, entre otras (Godert, 2001), tal es el caso de los modelos de distribución potencial.

Dentro de las ANP's de México, encontramos ubicada a la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) entre los estados de Oaxaca y Puebla, que ha sido considerada históricamente importante debido a sus características, principalmente florísticas, como una provincia con altos índices de riqueza y endemismo (cerca del 12% de su flora) (Rzedowski, 1978; Dávila *et al.* 2000). En esta provincia convergen altos índices de diversidad con una amplia historia cultural, encontrando dentro de sus límites geográficos a siete grupos indígenas; Nahuas, Popolocas, Mazatecos, Chinantecos, Ixcatecos, Cuicatecos y Mixtecos (Casas *et al.*, 2001).

Algunos de los problemas que se presentan en algunos sitios dentro de la RBTC son principalmente debido a alteraciones por actividades antropogénicas, como son el cambio en el uso de suelo, la integración de la ganadería caprina, la obtención de recursos energéticos, entre otros (García, 1986). Actualmente, grandes extensiones de tierra se encuentran deforestadas, abandonadas y con grandes problemas de erosión y bajo aprovechamiento sostenido de los recursos (McAuliffe, 2001; Valiente, 2000). Para esta reserva existen un gran número de estudios (principalmente florísticos), el conocimiento que se ha generado de los mismos nos proporciona una base en cuanto al conocimiento florístico y fitogeográfico de algunos grupos. Sin embargo, hasta el momento no se tiene un conocimiento preciso sobre los patrones de distribución de las especies y los tipos

de vegetación, en los cuales intervienen diversos factores a diferentes escalas (Montaña y Valiente, 1998).

Considerando que la RBTC carece de programas de manejo integral de sus recursos y de restauración, se considera de relevante importancia como un primer paso la ubicación de sitios propicios para la reforestación como una medida que puede mitigar la presión sobre ciertas especies de interés para los pobladores nativos y sitios potencialmente importantes para la reintroducción de especies.

Con estas bases en este estudio se pretende mediante el modelaje bioclimático, determinar los dominios bioclimáticos de algunas especies de árboles nativos de las diferentes regiones biogeográficas de la RBTC, contribuyendo en el reconocimiento del nicho ecológico que estos pudieran ocupar, así como analizar los datos geográficos mediante un SIG, con lo que se contribuirá a un mejor conocimiento de los patrones de distribución actual y potencial de ciertas especies potencialmente importantes para la reforestación y/o restauración.

2. ANTECEDENTES

Existen diversos estudios florísticos, sinecológicos y fitogeográficos dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, entre los más representativos encontramos el de Zavala (1982) quien describe los tipos de vegetación en el valle de Zapotitlán Salinas cuya clasificación utiliza un criterio fisonómico y un análisis multivariado, encontrando cuatro tipos de vegetación: matorral espinoso, tetechera, izotal y cardonal. También Jaramillo y González (1983), realizan un estudio a través de un gradiente altitudinal que va desde los 500 msnm en la zona de Quiotepec a los 1670 msnm dentro del área de Tehuacán, y mediante el uso de criterios fisonómicos y estructurales definen los tipos de vegetación.

Por su parte García-Oliva (1986), realiza un estudio ecogeográfico de las comunidades vegetales de Zapotitlán Salinas, destacando la interacción que

de vegetación, en los cuales intervienen diversos factores a diferentes escalas (Montaña y Valiente, 1998).

Considerando que la RBTC carece de programas de manejo integral de sus recursos y de restauración, se considera de relevante importancia como un primer paso la ubicación de sitios propicios para la reforestación como una medida que puede mitigar la presión sobre ciertas especies de interés para los pobladores nativos y sitios potencialmente importantes para la reintroducción de especies.

Con estas bases en este estudio se pretende mediante el modelaje bioclimático, determinar los dominios bioclimáticos de algunas especies de árboles nativos de las diferentes regiones biogeográficas de la RBTC, contribuyendo en el reconocimiento del nicho ecológico que estos pudieran ocupar, así como analizar los datos geográficos mediante un SIG, con lo que se contribuirá a un mejor conocimiento de los patrones de distribución actual y potencial de ciertas especies potencialmente importantes para la reforestación y/o restauración.

2. ANTECEDENTES

Existen diversos estudios florísticos, sinecológicos y fitogeográficos dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, entre los más representativos encontramos el de Zavala (1982) quien describe los tipos de vegetación en el valle de Zapotitlán Salinas cuya clasificación utiliza un criterio fisonómico y un análisis multivariado, encontrando cuatro tipos de vegetación: matorral espinoso, tetechera, izotal y cardonal. También Jaramillo y González (1983), realizan un estudio a través de un gradiente altitudinal que va desde los 500 msnm en la zona de Quiotepec a los 1670 msnm dentro del área de Tehuacán, y mediante el uso de criterios fisonómicos y estructurales definen los tipos de vegetación.

Por su parte García-Oliva (1986), realiza un estudio ecogeográfico de las comunidades vegetales de Zapotitlán Salinas, destacando la interacción que

tienen los factores geomorfológicos, hidrológicos, edafológicos y climatológicos en la dinámica de las comunidades vegetales, además de resaltar que es un área que se encuentra en serios problemas de alteración por actividades antropogénicas. Así mismo, García (1987) hace una descripción fisonómica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, correlacionando los tipos de vegetación con las condiciones climáticas mediante el uso de diagramas ombrotérmicos; cabe resaltar que dichos diagramas se utilizaron en forma repetida para distintas zonas muestreadas, esto debido a la falta de datos climáticos para grandes áreas debido a la carencia de estaciones meteorológicas. También Villaseñor et al. (1990), realizan una descripción fitogeográfica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, encontrando en este lugar el límite meridional de algunas comunidades vegetales propias de climas áridos y semiáridos de Norteamérica.

Así mismo, Montaña y Valiente (1998) realizan un estudio en la región semiárida de Tehuacán-Cuicatlán donde relacionan la variación altitudinal de los factores climáticos de temperatura y precipitación y características del suelo (contenido de nitrógeno, materia orgánica, carbonatos y pH), asociados a los cambios de los tipos de vegetación, diversidad de formas de vida y la diversidad florística. Por su parte, Dávila et al. (1993) elaboran lo que es hasta ahora el listado florístico más completo para la región, describiendo cerca de 3000 especies de plantas vasculares. Flores (1999) describe la vegetación esclerófila perennifolia en dos localidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y la compara con la vegetación del mismo tipo en lugares con climas mediterráneos, encontrando que por sus similitudes florísticas, estructurales y de incidencia de caracteres presentan una relación estrecha, la cual no se debe sólo a procesos climáticos sino más bien a factores históricos.

También tenemos a Casas et al. (2000) quienes reportan las especies vegetales registradas como útiles para la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, por ejemplo de un total de 808 especies de plantas útiles, 151 se reportan con uso para la obtención de combustible, 91 se utilizan para la obtención de materiales de

construcción, etc. Finalmente, Valiente-Banuet *et al.* (2000), describe 29 diferentes tipos de asociaciones vegetales para el Valle de Tehuacán–Cuicatlan, su clasificación se basa en criterios estructurales, fisonómicos y de composición florística de las comunidades vegetales

Por otro lado, el modelaje bioclimático es una herramienta que está siendo ampliamente utilizada para determinar la distribución potencial de diferentes especies animales y vegetales con diversos fines. Sin embargo, su aplicación en México es aún incipiente. Entre los trabajos que se pueden citar están los de Peterson *et al.* (2001), quienes evalúan el efecto de dos diferentes escenarios de cambio climático, en los patrones de distribución de la familia Cracidae (Aves) en México, utilizando métodos de modelaje del nicho ecológico. Para el área de estudio está el trabajo de Téllez-Valdés y Dávila-Aranda (2003), quienes modelan la distribución potencial de 20 especies de cactáceas presentes en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, y evalúan la respuesta de los patrones de distribución espacial ante diferentes escenarios de cambio climático, esto con el fin de evaluar el papel que esta reserva jugará en la conservación a largo plazo.

Estas herramientas tienen gran potencial en otras aplicaciones, como ejemplo está el trabajo de Nix (1986) quien presenta un estudio biogeográfico de 77 especies de serpientes de la familia Elapidae en Australia. Otra de sus aplicaciones es la predicción del posible impacto del cambio climático sobre la distribución de los hábitats de la flora y la fauna, Beaumont (2002), modela la distribución potencial de 24 especies de mariposas en Australia y determina los cambios en los patrones de distribución ante cuatro posibles escenarios de cambio climático para el año 2050. Fischer *et al.* (2001), realizaron un análisis bioclimático detallado de una especie marsupial (*Trichosurus caninus*), con el fin de detallar las condiciones climáticas que limitan la distribución de esta especie. También se ha utilizado para la reconstrucción de condiciones paleoclimáticas: Eeley (1999) explora el impacto del cambio paleoclimático en la distribución de los subtipos de bosque en la provincia KwaZulu-Natal al sur de África, aproximándose de una forma a nivel

regional/histórico al entendimiento de los patrones de distribución espacial y la composición de las comunidades de bosque actuales; así mismo investiga la distribución potencial futura del bosque asociada al cambio global.

Otra de sus aplicaciones ha sido la exploración de áreas potenciales para la reintroducción de especies amenazadas; Pearce y Lindenmayer (1991), ilustran el valor potencial del modelaje bioclimático para la reintroducción biológica usando como caso de estudio, a la especie en peligro de extinción *Lichenostomus melanops cassidix* (canario rostro amarillo), en Victoria al Sureste de Australia, el modelaje bioclimático permitió establecer límites y lugares que tienen las condiciones óptimas para el establecimiento de dicha especie, Richardson y McMahon (1992), utilizan el programa BIOCLIM para obtener los perfiles climáticos de cuatro especies de eucaliptos en su estado natural en el sureste de Australia y para áreas en Australia y Sudáfrica donde las especies tienen un buen desarrollo en plantaciones, utilizando los perfiles bioclimáticos para determinar lugares adecuados para las especies en Australia y regiones potencialmente adecuadas en África. Todos los trabajos anteriores son sólo algunos ejemplos de los usos potenciales del modelaje bioclimático, otras referencias las encontramos en Mitchell (1991), Podger (1990), Dimitriadis (2001), Jackson and Claridge (1999), Neave and Norton (1998), Neave et al. (1996), Lindenmayer et al. (1991), Panetta and Mitchell (1991) y Cunningham et al. (2002).

3. OBJETIVO GENERAL

- Determinar y analizar los dominios bioclimáticos y biogeográficos de especies de árboles de la RBTC, como una herramienta para elaborar estrategias y proponer medidas de conservación así como programas de restauración a través de la reforestación.

regional/histórico al entendimiento de los patrones de distribución espacial y la composición de las comunidades de bosque actuales; así mismo investiga la distribución potencial futura del bosque asociada al cambio global.

Otra de sus aplicaciones ha sido la exploración de áreas potenciales para la reintroducción de especies amenazadas; Pearce y Lindenmayer (1991), ilustran el valor potencial del modelaje bioclimático para la reintroducción biológica usando como caso de estudio, a la especie en peligro de extinción *Lichenostomus melanops cassidix* (canario rostro amarillo), en Victoria al Sureste de Australia, el modelaje bioclimático permitió establecer límites y lugares que tienen las condiciones óptimas para el establecimiento de dicha especie, Richardson y McMahon (1992), utilizan el programa BIOCLIM para obtener los perfiles climáticos de cuatro especies de eucaliptos en su estado natural en el sureste de Australia y para áreas en Australia y Sudáfrica donde las especies tienen un buen desarrollo en plantaciones, utilizando los perfiles bioclimáticos para determinar lugares adecuados para las especies en Australia y regiones potencialmente adecuadas en África. Todos los trabajos anteriores son sólo algunos ejemplos de los usos potenciales del modelaje bioclimático, otras referencias las encontramos en Mitchell (1991), Podger (1990), Dimitriadis (2001), Jackson and Claridge (1999), Neave and Norton (1998), Neave et al. (1996), Lindenmayer et al. (1991), Panetta and Mitchell (1991) y Cunningham et al. (2002).

3. OBJETIVO GENERAL

- Determinar y analizar los dominios bioclimáticos y biogeográficos de especies de árboles de la RBTC, como una herramienta para elaborar estrategias y proponer medidas de conservación así como programas de restauración a través de la reforestación.

3.1 Metas

- Estructurar una base datos florística confiable y precisa de algunas especies de árboles nativos de la RBTC.
- Generar los perfiles bioclimáticos de las especies de interés con ayuda del programa BIOCLIM.
- Determinar las afinidades climáticas de las especies y grupos de ellas mediante análisis multivariados de los perfiles bioclimáticos.
- Obtener la cartografía digital e impresa de los sitios que cumplen con las condiciones climáticas de los perfiles bioclimáticos, para los grupos de especies según su afinidad climática.
- Mediante un análisis biogeográfico de los mapas de distribución potencial y la información sobre cambio de uso de suelo con ayuda de un SIG (Arc View 3.2), proponer sitios potencialmente importantes para la reforestación, restauración y/o manejo de especies de particular importancia.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán se localiza en la porción sureste del estado de Puebla y la porción noroeste del estado de Oaxaca, aproximadamente entre las coordenadas geográficas 96° 55' - 97° 44' de Long W y 17° 39' - 18° 53' de Lat N (Fig. 1). Tiene una extensión aproximada de 490,187 ha, se encuentra comprendida dentro de la Provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, la cual es la zona semiárida más al sur de la República Mexicana (Rzedowski, 1978). Este Valle es considerado, por su biodiversidad y endemismo, uno de los sitios de mayor importancia biológica a nivel internacional (Casas et al., 2001). Esta zona posee una gran riqueza florística que asciende a

3.1 Metas

- Estructurar una base datos florística confiable y precisa de algunas especies de árboles nativos de la RBTC.
- Generar los perfiles bioclimáticos de las especies de interés con ayuda del programa BIOCLIM.
- Determinar las afinidades climáticas de las especies y grupos de ellas mediante análisis multivariados de los perfiles bioclimáticos.
- Obtener la cartografía digital e impresa de los sitios que cumplen con las condiciones climáticas de los perfiles bioclimáticos, para los grupos de especies según su afinidad climática.
- Mediante un análisis biogeográfico de los mapas de distribución potencial y la información sobre cambio de uso de suelo con ayuda de un SIG (Arc View 3.2), proponer sitios potencialmente importantes para la reforestación, restauración y/o manejo de especies de particular importancia.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán se localiza en la porción sureste del estado de Puebla y la porción noroeste del estado de Oaxaca, aproximadamente entre las coordenadas geográficas 96° 55' - 97° 44' de Long W y 17° 39' - 18° 53' de Lat N (Fig. 1). Tiene una extensión aproximada de 490,187 ha, se encuentra comprendida dentro de la Provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, la cual es la zona semiárida más al sur de la República Mexicana (Rzedowski, 1978). Este Valle es considerado, por su biodiversidad y endemismo, uno de los sitios de mayor importancia biológica a nivel internacional (Casas et al., 2001). Esta zona posee una gran riqueza florística que asciende a

más de 2700 especies de plantas vasculares (cerca del 10 % de la flora mexicana) y 365 especies endémicas a la región (14 % de la flora de la Reserva) (Dávila et al., 2002).

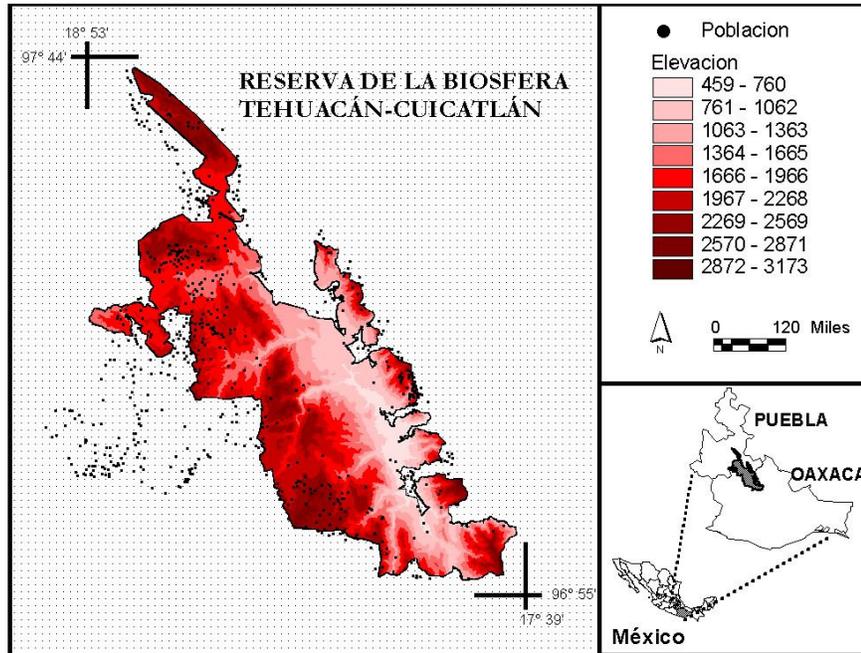


Fig 1. Localización geográfica de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

4.1 Aspectos socioeconómicos

Algunos de los principales problemas que se presentan en esta reserva son: la apertura no planificada de un número cada vez mayor de tierras a una agricultura de temporal de bajo rendimiento; el sobrepastoreo debido a una ganadería caprina extensiva que se realiza sobre todo en los matorrales xerófitos; la deforestación, fundamentalmente de bosques templados de pino y encino en las partes altas de las sierras; extracción forestal no maderable que se lleva a cabo en todos los tipos de vegetación; inadecuada disposición final de los residuos sólidos; contaminación de mantos acuíferos; alto índice de marginación; ausencia de una cultura ambiental, saqueo de flora, fauna, fósiles y piezas arqueológicas; apertura no planificada de brechas y carreteras; cacería furtiva, principalmente de venado cola

blanca; falta de coordinación inter e intra institucional y asentamientos irregulares, primordialmente en zonas urbanas (CONANP, 2000).

4.2 Clima

El clima de la región está determinado principalmente por los patrones generales de circulación de la atmósfera, como son la predominancia de vientos del este (alisios) durante el verano con lluvias de tipo monzónico y vientos del oeste durante el invierno; y en ocasiones durante la época invernal los vientos polares (nortes) provocan precipitaciones en las partes más altas de las montañas. La aridez de la región, en gran parte se debe al fenómeno de sombra orográfica provocada por la Sierra Madre Oriental, que en esta porción del país se conoce como Sierra de Zongolica (Valiente-Banuet et al., 2000).

4.3 Vegetación

Valiente-Banuet *et al.* (2000) caracterizaron la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y de acuerdo con criterios estructurales y fisonómicos reconocieron 29 asociaciones vegetales agrupadas en seis categorías:

Bosques de cactáceas columnares arborescentes:

Jotillales de *Escontria chiotilla*.

Cardonal de *Pachycereus weberi*.

Cardonal de *Stenocereus stellatus*.

Tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo*.

Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*.

Tetechera de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. macrocephala*.

Tetechera de *Neobuxbaumia macrocephala* y *Stenocereus dumortieri*.

Cardonal de *Mitrocereus fulviceps*.

Chichipera de *Polaskia chichipe*.

Vegetación arbolada:

Selva baja espinosa perennifolia o mezquital de *Prosopis laevigata*

Selva baja caducifolia.

Selva baja caducifolia dominada por árboles inermes de tallo fotosintético I:
Cuajiotales.

Selva baja caducifolia dominada por árboles espinosos de tallo fotosintético
II: fouqueriales.

Izotal de *Beaucarnea gracilis*.

Izotal de *Yucca periculosa*.

Izotal de *Beaucarnea purpusii*.

Vegetación arbolada de montaña:

Bosque de *Juniperus flaccida* y *J. deppeana*.

Izotal de montaña de *Nolina longifolia*.

Bosque de encino.

Bosque de pino-encino.

Bosque de pino.

Vegetación asociada a ríos con agua permanente:

Bosque de galería de *Taxodium mucronatum* y *Astianthus viminalis*.

Tular de *Typha domingensis*.

Matorrales dominados por plantas arbustivas espinosas perennifolias:

Matorral rosulifolio de *Dasyllirion* sp. y *Agave* sp.

Matorral espinoso con espinas laterales.

Candelillar de *Euphorbia antisyphilitica*.

Matorral de *Echinocactus platyacanthus*.

Matorrales dominados por plantas arbustivas inermes perennifolias:

Matorral esclerófilo perennifolio (Mexical).

Matorral de *Gochnatia hypoleuca*.

4.4 Geología

La historia de la geología de la zona de estudio se puede resumir en los principales episodios descritos en Ochoa (2001), Nava (1965); y Brunet (1967) en Valiente *et al.* (2001):

- a) La formación del complejo basal, que data del Paleozoico y principios del Mesozoico. Una serie de movimientos orogénicos desde el Cretácico Temprano hasta finales del Terciario dieron lugar a la formación de las principales sierras de la cuenca, las cuales bajo la influencia de los ascensos neotectónicos (Mioceno-Cuaternario) alcanzaron su expresión geomorfológica moderna. La mayoría de las rocas son de origen continental y se agrupan dentro de la formación Matzitzi.
- b) Durante el Cenozoico Medio y Superior, la región fue invadida por los mares, depositándose gruesos paquetes de sedimentos marinos, constituyendo las formaciones: Zapotitlán, San Juan Raya y Miahutepec, las cuales están constituidas por calizas con rudistas y nerineidos y también por calizas con pedernales y margas.
- c) A finales del Mesozoico y principios del Cenozoico tuvieron lugar diferentes procesos que dieron lugar a la configuración de la cuenca: a) Regresión marina y separación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán del Golfo de México b) procesos orogénicos (plegamiento de la Sierra Madre Oriental), fracturamiento, fallamiento y actividad volcánica c) Formación tectónica de la cuenca y depositación de sedimentos de origen químico y continental, derivados de la

erosión de las nuevas estructuras montañosas. Las rocas de estos depósitos están formadas por yesos, travertinos y conglomerados, limolitas, nódulos de calcedonia, calizas lacustres, tobas y areniscas, respectivamente. Estas rocas pertenecen a las formaciones Tehuacán, Huajuapán y Yanhuitlán y afloran en el Cerro Colorado (cerca de Tehuacán), en el Cerro Colorado de Ajalpan, en los valles de Huajuapán, y en los alrededores de Yanhuitlán, estas últimas en el estado de Oaxaca. d) Posterior a los movimientos orogénicos, tuvo lugar un periodo de gran actividad volcánica, cuyas evidencias se tienen en las rocas riolíticas, piroclásticas (tobas) y andesitas, las cuales afloran en el transecto de San Gabriel Chilac y Atzingo, así como en los alrededores de la cuenca de Tlaxiaco.

- d) Durante el Cenozoico (Terciario Medio y Superior), la gran cuenca tectónica contenía un gran lago, como lo demuestran los depósitos lacustres y travertinos que afloran al noreste de la ciudad de Tehuacán (Cerro de la Mesa), en Altepexi y en la localidad de Axusco.
- e) A finales del Terciario (Plioceno) y al inicio del Cuaternario (Pleistoceno) hubo una gran actividad volcánica que produjo la acumulación de sedimentos volcánicos sobre los sedimentos fluvio-lacustres. También se produjo una captura por parte del Río Santo Domingo, afluente del Papaloapan, del Río Salado y sus tributarios por erosión remontante.
- f) Del Cretácico inferior son datados los esquistos, calizas, margas, lutitas, areniscas y cuarzos, los cuales se localizan en el SE del Valle. Del Cretácico medio datan las calizas plegadas y en algunos sitios se intercalan con margas. Para el Cuaternario Tardío (Pleistoceno-Holoceno), se describen de manera general los depósitos aluviales, costras de carbonatos de calcio y rocas de origen volcánico. Dentro de este periodo se menciona que tuvieron lugar importantes variaciones climáticas del orden de 1×10^5 a 1×10^3 años antes del presente. Estas variaciones dieron como resultado la formación y evolución

de suelos, abanicos aluviales, pedimentos, formación de caliches, depósitos de tipo “Debris y Mud-Flow”, y depósitos fluviales y aluviales (Brunet, 1967 en Valiente-Banuet et al., 2000).

4.5 Suelos

Los suelos son de diferentes tipos, a pesar de que se originaron del mismo tipo de roca madre. Las características topográficas como la altitud, la pendiente, la orientación y el drenaje, así como los factores climáticos (temperatura y precipitación) y otros factores bióticos como el desarrollo y descomposición de las comunidades vegetales y la actividad de los microorganismos del suelo causan la intemperización de la roca madre y de ésta depende la formación de suelos.

No existe hasta la actualidad una descripción edafológica completa y detallada, la información solo es parcial y general. Sin embargo, se reconocen ocho unidades de suelo en el Valle que van, desde suelos profundos con una considerable cantidad de materia orgánica como los feozem en áreas templadas secas, hasta suelos ácidos, como los acrisoles ubicados sobre las sierras altas plegadas, bajo condiciones de humedad significativa, lo que permite rendimientos moderados para el cultivo. Las principales unidades son: Vertisoles, Cambisoles, Rendzinas, Feozem, Xerosoles, Regosoles, Litosoles y Acrisoles.

Los suelos con escaso desarrollo dominan la superficie, debido al relieve montañoso de la región, son suelos de tipo Regosol y Litosol que se encuentran en las laderas de las pendientes mayores a 8° de las Tierras Altas de Oaxaca y en las Sierras Mazateca y de Juárez.

En la planicie del valle existe una gran diversidad de afloramientos geológicos con diferentes tipos de rocas y los suelos que se originan son someros, pedregosos, alomórficos con diferentes estados de alcalinidad y salinidad, entre los cuales

encontramos cambisoles cálcicos y xerosoles cálcicos derivados de evaporitas del Cretácico Inferior.

En los alrededores del valle hay suelos calcáreos, salino calcáreos, yesosos y calcáreo-yesosos de lomerío que corresponden según Aguilera (1970 en: Ochoa, 2001), a suelos de regiones áridas derivados de evaporitas, de tipo holomórfico también con diferentes estados de salinidad y alcalinidad.

5. METODOS

5.1 Selección de especies

Se seleccionó un número representativo de especies de árboles nativos de la RBTC, con base en algunos de los siguientes criterios: 1) ser componentes representativos y dominantes de las diversas asociaciones vegetales del área, 2) ser importantes desde el punto de vista etnobotánico y económico, 3) ser sensibles a la perturbación y alteración del medio natural por influencia del hombre, y 4) ser especies que contribuyen a la recuperación de la fertilidad del suelo (Ej. leguminosas que son fijadoras de nitrógeno).

5.2 Base de datos

La fuente de datos primaria utilizada, fue la base datos florística de la Unidad de Biotecnología y prototipos (UBIPRO) de la FES Iztacala, la cual es el resultado de numerosos estudios durante los últimos años en la zona de estudio, la cual contiene más de 20 000 registros de las especies vegetales presentes en el área. Sin embargo, se necesitó en primera instancia reconocer y depurar algunas de las siguientes deficiencias:

- 1) Muchos de los registros sólo tienen coordenadas geográficas hasta minutos (lo que representa un importante grado de error en el ámbito geográfico).

encontramos cambisoles cálcicos y xerosoles cálcicos derivados de evaporitas del Cretácico Inferior.

En los alrededores del valle hay suelos calcáreos, salino calcáreos, yesosos y calcáreo-yesosos de lomerío que corresponden según Aguilera (1970 en: Ochoa, 2001), a suelos de regiones áridas derivados de evaporitas, de tipo holomórfico también con diferentes estados de salinidad y alcalinidad.

5. METODOS

5.1 Selección de especies

Se seleccionó un número representativo de especies de árboles nativos de la RBTC, con base en algunos de los siguientes criterios: 1) ser componentes representativos y dominantes de las diversas asociaciones vegetales del área, 2) ser importantes desde el punto de vista etnobotánico y económico, 3) ser sensibles a la perturbación y alteración del medio natural por influencia del hombre, y 4) ser especies que contribuyen a la recuperación de la fertilidad del suelo (Ej. leguminosas que son fijadoras de nitrógeno).

5.2 Base de datos

La fuente de datos primaria utilizada, fue la base datos florística de la Unidad de Biotecnología y prototipos (UBIPRO) de la FES Iztacala, la cual es el resultado de numerosos estudios durante los últimos años en la zona de estudio, la cual contiene más de 20 000 registros de las especies vegetales presentes en el área. Sin embargo, se necesitó en primera instancia reconocer y depurar algunas de las siguientes deficiencias:

- 1) Muchos de los registros sólo tienen coordenadas geográficas hasta minutos (lo que representa un importante grado de error en el ámbito geográfico).

- 2) Localidades distintas con las mismas coordenadas y viceversa, la misma localidad con coordenadas distintas.
- 3) Datos repetidos continuamente, así como, un gran número de localidades sin coordenadas o incluso sin nombre de especies.

Así mismo, se diseñó un muestreo en campo con ayuda de un SIG utilizando el método de gradiente, este método nos permitió registrar los datos de la flora de una forma sistemática, y además representando la distribución de las especies a través de la variación ambiental del área de estudio (Neave *et al.*, 1996; Téllez y Dávila, 2003) principalmente abarcando los dominios bioclimáticos descritos para la RBTC (Téllez, en prensa). De esta manera, se depuró otra de las deficiencias que se presentan comúnmente en los métodos y esfuerzos de colecta y que por lo tanto tienen las colecciones e inventarios biológicos: la concentración de la mayoría de los registros en los lugares más accesibles y principalmente para los grupos más conocidos (Llorente *et al.*, 1994).

5.3 Modelaje bioclimático

El método bioclimático utilizado en este estudio está sustentado en la formación de una “envoltura climática” a partir de datos de presencia. Este enfoque considera los valores mínimos y máximos de 19 parámetros bioclimáticos (Cuadro 1), determinando los límites de las condiciones climáticas que se presentan en los sitios donde se ha registrado a una especie, a lo que se le conoce como perfil bioclimático.

Dicho método utiliza valores mensuales promedio de temperatura y precipitación, estimados de una red estándar de estaciones meteorológicas. La interpolación de datos meteorológicos se hace por el método "thin-plate smoothing spline" del programa ANUSPLIN (Hutchinson 1991, 1995a, 1995b, 1997; Hutchinson y Gressler 1994). Es importante mencionar que los datos climáticos utilizados en la antes mencionada interpolación fueron generados mediante un trabajo previo,

donde se utilizaron datos de alrededor de 3500 estaciones metereológicas distribuidas en México, Sur de Estados Unidos y parte de Centro América, de las cuales alrededor del 70% contaban con registros de más de 10 años (de estos alrededor del 40% contaron con 20 – 30 años de registro), y menos del 20% contaron con 5 o menos años de registros (Téllez *et al*, manuscrito no publicado).

Dicho ejercicio utiliza como parte de su validación la selección de un juego de estaciones metereológicas al azar para no utilizarlas en una primer interpolación, posteriormente realiza la comparación entre lo predicho y los datos reales, resaltando la precisión en la interpolación para los sitios que “aparentemente” no tenían datos, más aun tomando en cuenta el accidentado relieve del país (entre otros factores) y por ende el mosaico climático que caracteriza a México (Téllez *et al*, manuscrito no publicado).

Con la ayuda del programa BIOCLIM se produjeron superficies climáticas de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación mensual, y de las combinaciones de estas las coberturas de 19 parámetros bioclimáticos, los cuales son la base de los modelos de distribución potencial de las especies (Téllez-Valdés y Dávila-Aranda, 2003).

También con ayuda de BIOCLIM se generaron los perfiles bioclimáticos para las 131 especies de interés de este trabajo, basándose en una selección de valores mínimos y máximos de todos los puntos de referencia para cada uno de los 19 parámetros bioclimáticos.

Cuadro 1. Parámetros bioclimáticos empleados para generar los perfiles bioclimáticos con BIOCLIM.

Número	Descripción y unidades
1	Temperatura promedio anual (°C)
2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)

3	Isotermalidad (°C)
4	Estacionalidad de la Temperatura (C de V %)
5	Temperatura máxima del periodo más caliente (°C)
6	Temperatura mínima del periodo más frío(°C)
7	Oscilación anual de la temperatura (°C)
8	Temperatura promedio del cuarto más húmedo (°C)
9	Temperatura promedio del cuarto más seco (°C)
10	Temperatura promedio del cuarto más caliente (°C)
11	Temperatura promedio del cuarto más frío (°C)
12	Precipitación anual (mm)
13	Precipitación del periodo más húmedo (mm)
14	Precipitación del periodo más seco (mm)
15	Estacionalidad de la Precipitación (C de V %)
16	Precipitación del cuarto más húmedo (mm)
17	Precipitación del cuarto más seco (mm)
18	Precipitación del cuarto más caliente (mm)
19	Precipitación del cuarto más frío (mm)

Una vez obtenidos los perfiles bioclimáticos, se formó una matriz donde las columnas representaron los valores de los parámetros bioclimáticos y las filas a las especies, esta matriz se clasificó por la técnica de agrupamiento jerárquico del programa PATN, usando el índice de similitud de Gower y la opción de agrupamiento de UPGMA. Con esto, se obtuvo un fenograma de cuyo análisis se determinó la estructura y relación entre los grupos que conforman la clasificación, diferenciándolos con base en datos climáticos que muestran ambientes contrastantes.

Posteriormente, se utilizó el principio de homoclima para identificar los sitios que tienen sus valores climáticos dentro de los límites de los perfiles bioclimáticos generados, mediante la combinación de los perfiles con las coberturas de los

parámetros climáticos, con la ayuda del programa BIOMAP. También se utilizan las frecuencias acumulativas de los registros utilizados para la generación del perfil, para el reconocimiento homoclimático a cinco diferentes niveles posibles: 1) valores mínimos y máximos de los perfiles bioclimáticos, 2) valores porcentuales entre el 2.5 – 97.5%, 3) entre 5 – 95%, 4) entre el 10 – 90%, y 5) entre el 25 – 75% (Téllez, manuscrito no publicado). Los archivos generados se mapearon como archivos de celdas raster con una resolución espacial de 90 x 90 m² en formato ARCINFO/ASCII/GRID los cuales son procesados y editados como mapas con ayuda del SIG ArcView 3.2 (ESRI).

Se ha estimado que para el modelaje bioclimático que se utilizó en este trabajo se pueden tener fuentes de error, primero en la estimación de atributos climáticos primarios, teniendo una estimación media de error para las superficies entre el 8% y el 13% para los valores de precipitación mensual y entre 0.4-0.5° C para los valores de temperatura. Otros pueden estar relacionados con la incertidumbre taxonómica y/o la inadecuada georeferenciación de las especies (Nix, 1986; Téllez *et al.*, 2003). Así mismo, los errores de estimación como son los de omisión y comisión, los cuales están relacionados con predecir la presencia en sitios en donde no existiría la especie, o el dejar de predecir su presencia en sitios en donde si debería estar. Todos ellos fueron considerados para este estudio.

6. RESULTADOS

Se generó un listado de 131 especies de árboles y arbustos nativos de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, las cuales pertenecen a 43 familias y 83 géneros (Cuadro 2).

El 16 % de las especies que se eligieron en este estudio, han sido reconocidas como especies con características potenciales para su uso en la restauración y/o reforestación (Vazquez-Yañes 1996; SIRE, Sistema de información para la

parámetros climáticos, con la ayuda del programa BIOMAP. También se utilizan las frecuencias acumulativas de los registros utilizados para la generación del perfil, para el reconocimiento homoclimático a cinco diferentes niveles posibles: 1) valores mínimos y máximos de los perfiles bioclimáticos, 2) valores porcentuales entre el 2.5 – 97.5%, 3) entre 5 – 95%, 4) entre el 10 – 90%, y 5) entre el 25 – 75% (Téllez, manuscrito no publicado). Los archivos generados se mapearon como archivos de celdas raster con una resolución espacial de 90 x 90 m² en formato ARCINFO/ASCII/GRID los cuales son procesados y editados como mapas con ayuda del SIG ArcView 3.2 (ESRI).

Se ha estimado que para el modelaje bioclimático que se utilizó en este trabajo se pueden tener fuentes de error, primero en la estimación de atributos climáticos primarios, teniendo una estimación media de error para las superficies entre el 8% y el 13% para los valores de precipitación mensual y entre 0.4-0.5° C para los valores de temperatura. Otros pueden estar relacionados con la incertidumbre taxonómica y/o la inadecuada georeferenciación de las especies (Nix, 1986; Téllez *et al.*, 2003). Así mismo, los errores de estimación como son los de omisión y comisión, los cuales están relacionados con predecir la presencia en sitios en donde no existiría la especie, o el dejar de predecir su presencia en sitios en donde si debería estar. Todos ellos fueron considerados para este estudio.

6. RESULTADOS

Se generó un listado de 131 especies de árboles y arbustos nativos de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, las cuales pertenecen a 43 familias y 83 géneros (Cuadro 2).

El 16 % de las especies que se eligieron en este estudio, han sido reconocidas como especies con características potenciales para su uso en la restauración y/o reforestación (Vazquez-Yañes 1996; SIRE, Sistema de información para la

reforestación, CONAFOR), de este modo 21 especies actualmente cuentan con fichas técnicas que proporcionan información sobre los requerimientos ecológicos y la distribución real y potencial de ellas, el resto de las especies solo cuenta con la información sobre su uso y distribución potencial que proporciona este estudio.

Cuadro 2. Listado de especies utilizadas en este estudio.

Familia	Género	Especie	Autoridad	Num_registros
Agavaceae	<i>Beaucarnea</i>	<i>gracilis</i>	Lem., 1861	28
Agavaceae	<i>Beaucarnea</i>	<i>purpusii</i>	Rose, 1906	14
Agavaceae	<i>Dasilirion</i>	<i>acrotriche</i>	(Schiede) Zucc., 1840	7
Agavaceae	<i>Yucca</i>	<i>periculosa</i>	Baker, 1870	25
Anacardiaceae	<i>Actinocheita</i>	<i>potentillifolia</i>	(Turcz.) Bullock, 1937	30
Anacardiaceae	<i>Cyrtocarpa</i>	<i>procera</i>	Kunth, 1824	18
Anacardiaceae	<i>Pistacia</i>	<i>mexicana</i>	Kunth, 1824	14
Anacardiaceae	<i>Pseudosmodingium</i>	<i>multifoliolum</i>	Rose, 1897	31
Anacardiaceae	<i>Schinus</i>	<i>molle</i>	L., 1753	18
Apocynaceae	<i>Plumeria</i>	<i>rubra</i>	L., 1753	44
Apocynaceae	<i>Thevetia</i>	<i>thevetiodes</i>	(Kunth) K. Schum., 1895	14
Arecaceae	<i>Brahea</i>	<i>dulcis</i>	(Kunth) Mart., 1838	33
Arecaceae	<i>Brahea</i>	<i>nitida</i>	André, 1887	7
Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>acuminata</i>	Kunth	31
Bignoniaceae	<i>Astianthus</i>	<i>viminalis</i>	(Kunth) Baill., 1888	9
Bignoniaceae	<i>Tecoma</i>	<i>stans</i>	(L.) Juss. ex Kunth, 1818	10
Bombacaceae	<i>Ceiba</i>	<i>aesculifolia</i>	(Kunth) Britten & Baker f., 1896	11
Bombacaceae	<i>Ceiba</i>	<i>parvifolia</i>	Rose, 1905	22
Boraginaceae	<i>Ehretia</i>	<i>latifolia</i>	DC.	10
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>biflora</i>	(Rose) Standl., 1929	5
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>schlechtendalii</i>	Engl., 1883	16
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>submoniliformis</i>	Engl., 1884	6
Cactaceae	<i>Cephalocereus</i>	<i>columna-trajani</i>	(Karw. ex Pfeiff.) K. Schum., 1897	49
Cactaceae	<i>Escontria</i>	<i>chiotilla</i>	(F.A.C. Weber) Rose, 1906	55
Cactaceae	<i>Mitrocereus</i>	<i>fulviceps</i>	(F.A.C. Weber ex K. Schum.) Backeb. ex Bravo, 1954	31
Cactaceae	<i>Myrtillocactus</i>	<i>geometrizzans</i>	(Mart. ex Pfeiff.) Console, 1897	88
Cactaceae	<i>Myrtillocactus</i>	<i>schenckii</i>	(J.A. Purpus) Britton & Rose, 1909	15
Cactaceae	<i>Neobuxbamia</i>	<i>macrocephala</i>	(F.A.C. Weber ex K. Schum.) E.Y. Dawson, 1952	42
Cactaceae	<i>Neobuxbamia</i>	<i>mezcalaensis</i>	(Bravo) Backeb.	15
Cactaceae	<i>Neobuxbamia</i>	<i>tetetzo</i>	(J.M. Coult.) Backeb., 1938	79
Cactaceae	<i>Pachycereus</i>	<i>hollianus</i>	(Weber) Buxb., 1909	98
Cactaceae	<i>Pachycereus</i>	<i>marginatus</i>	(DC.) Britton & Rose, 1909	35
Cactaceae	<i>Pachycereus</i>	<i>weberi</i>	(J.M. Coult.) Backeb., 1960	54
Cactaceae	<i>Pilosocereus</i>	<i>chrysacanthus</i>	(F.A.C. Weber) Byles & G.D. Rowley, 1957	53
Cactaceae	<i>Polaskia</i>	<i>chende</i>	(Gosselin) Gibson & Horak, 1949	32

Familia	Genero	Especie	Autoridad	Num_registros
Cactaceae	<i>Polaskia</i>	<i>chichipe</i>	(Gosselin) Backeb., 1949	27
Cactaceae	<i>Stenocereus</i>	<i>dumortieri</i>	(Scheidw.) Buxb., 1961	20
Cactaceae	<i>Stenocereus</i>	<i>pruinus</i>	(Otto ex Pfeiff.) Buxb., 1961	48
Cactaceae	<i>Stenocereus</i>	<i>stellatus</i>	(Pfeiff.) Riccob., 1909	48
Cactaceae	<i>Stenocereus</i>	<i>treleasei</i>	(Rose) Backeb., 1951	11
Caesalpiniaceae	<i>Caesalpinia</i>	<i>cacalaco</i>	Bonpl., 1817	4
Caesalpiniaceae	<i>Caesalpinia</i>	<i>velutina</i>	(Britton & Rose) Standl.	9
Caesalpiniaceae	<i>Parkinsonia</i>	<i>praecox</i>	(Ruiz & Pav.) J. Hawkins, 1999	41
Caesalpiniaceae	<i>Senna</i>	<i>atomaria</i>	(L.) H.S. Irwin & Barneby	16
Caesalpiniaceae	<i>Senna</i>	<i>galeottiana</i>	(M. Martens) H.S. Irwin & Barneby, 1982	44
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>arborescens</i>	(Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don, 1838	7
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>murucoides</i>	Roem. & Schult., 1819	11
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>pauciflora</i>	M. Martens & Galeotti, 1845	24
Cupressaceae	<i>Juniperus</i>	<i>flaccida</i>	Schltld., 1838	16
Ericaceae	<i>Arbutus</i>	<i>xalapensis</i>	Kunth, 1818	68
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum</i>	<i>compactum</i>	Rose, 1905	13
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>peganoides</i>	Boiss.	16
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>schlechtendalii</i>	Boiss., 1860	6
Euphorbiaceae	<i>Jatropha</i>	<i>neopauciflora</i>	Pax, 1910	15
Euphorbiaceae	<i>Manihotoides</i>	<i>pauciflora</i>	(Brandege) D.J. Rogers & Appan, 1973	37
Euphorbiaceae	<i>Stillingia</i>	<i>sanguinolenta</i>	Müll. Arg., 1863	14
Euphorbiaceae	<i>Sapium</i>	<i>appendiculatum</i>	(Müll. Arg.) Pax & K. Hoffm.	6
Fabaceae	<i>Calia</i>	<i>secundiflora</i>	(Gomez-Ortega) Yakovlev, 1967	20
Fabaceae	<i>Eysenhardtia</i>	<i>polystachya</i>	(Ortega) Sarg., 1892	52
Fabaceae	<i>Harpalyce</i>	<i>formosa</i>	DC., 1825	16
Fabaceae	<i>Hesperothamnus</i>	<i>pentaphyllus</i>	(Harms) Harms, 1923	14
Fabaceae	<i>Lonchocarpus</i>	<i>oaxacensis</i>	Pittier, 1917	8
Fabaceae	<i>Lonchocarpus</i>	<i>obovatus</i>	Benth., 1860	5
Fabaceae	<i>Piscidia</i>	<i>grandiflora</i>	(Donn. Sm.) I. M. Johnst., 1924	29
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>acatenanguensis</i>	(Trel)	16
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>acutifolia</i>	Née, 1801	12
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>candicans</i>	Née, 1801	13
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>castanea</i>	Née, 1801	18
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>conspersa</i>	Benth.	8
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>crassifolia</i>	Humb. & Bonpl., 1809	41
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>glabrescens</i>	Benth.	6
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>glaucoides</i>	M. Martens & Galeotti, 1843	9
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>greggii</i>	(A. DC.) Trel.	15
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>liebmanni</i>	Oerst. ex Trel., 1924	15
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>obtusata</i>	Bonpl., 1809	45
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>rugosa</i>	Née, 1801	15
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>scytophylla</i>	Liebm.	9
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>sebifera</i>	Trel., 1924	10
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria</i>	<i>formosa</i>	Kunth, 1823	11
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria</i>	<i>purpusii</i>	Brandege, 1909	6
Garryaceae	<i>Garrya</i>	<i>ovata</i>	Benth., 1839	16
Hernandiaceae	<i>Gyrocarpus</i>	<i>mocinnoi</i>	Espejo, 1991	18
Julianiaceae	<i>Amphipterygium</i>	<i>adstringens</i>	(Schltld.) Standl., 1923	14

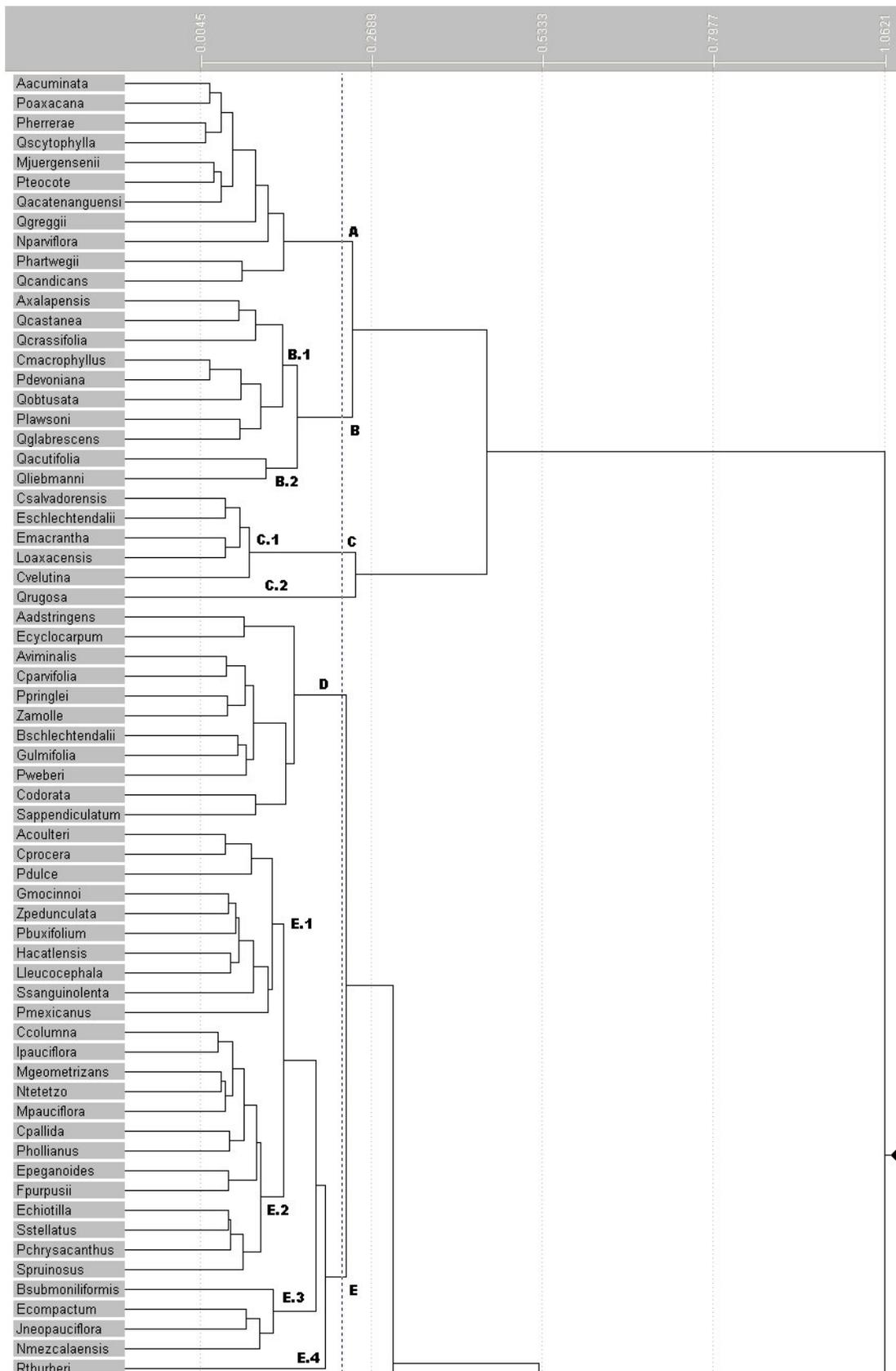
Familia	Genero	Especie	Autoridad	Num_registros
Lauraceae	<i>Litsea</i>	<i>glaucescens</i>	Kunth, 1817	5
Loganiaceae	<i>Plocosperma</i>	<i>buxifolium</i>	Benth., 1876	17
Meliaceae	<i>Cedrela</i>	<i>odorata</i>	L., 1759	5
Meliaceae	<i>Cedrela</i>	<i>salvadorensis</i>	Standl., 1929	9
Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>acatlensis</i>	Benth., 1842	21
Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>bilimekii</i>	J.F. Macbr., 1919	15
Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>constricta</i>	Benth. ex A. Gray, 1852	41
Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>coulteri</i>	Benth. ex A. Gray, 1852	15
Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>schaffneri</i>	(S. Watson) F.J. Herm., 1948	14
Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>subangulata</i>	Rose, 1899	18
Mimosaceae	<i>Conzattia</i>	<i>multiflora</i>	(B.L. Rob.) Standl., 1922	16
Mimosaceae	<i>Enterolobium</i>	<i>cyclocarpum</i>	(Jacq.) Griseb., 1860	6
Mimosaceae	<i>Havardia</i>	<i>acatlensis</i>	(Benth.) Britton & Rose, 1928	19
Mimosaceae	<i>Leucaena</i>	<i>confertiflora</i>	Zárate, 1994	14
Mimosaceae	<i>Leucaena</i>	<i>diversifolia</i>	(Schltdl.) Benth.	6
Mimosaceae	<i>Leucaena</i>	<i>esculenta</i>	(Moc. & Sessé ex DC.) Benth., 1875	40
Mimosaceae	<i>Leucaena</i>	<i>leucocephala</i>	(Lam.) de Wit, 1961	13
Mimosaceae	<i>Lysiloma</i>	<i>acapulcense</i>	(Kunth) Benth., 1844	22
Mimosaceae	<i>Lysiloma</i>	<i>divaricata</i>	Hook. & Jackson, 1895	20
Mimosaceae	<i>Mimosa</i>	<i>luisana</i>	Brandege, 1908	6
Mimosaceae	<i>Pithecellobium</i>	<i>dulce</i>	(Roxb.) Benth., 1844	18
Mimosaceae	<i>Prosopis</i>	<i>laevigata</i>	(Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst., 1962	47
Myrsinaceae	<i>Myrsine</i>	<i>juergensenii</i>	(Mez) Ricketson & Pipoly	5
Nolinaceae	<i>Nolina</i>	<i>parviflora</i>	(Kunth) Hemsl.	9
Papaveraceae	<i>Bocconia</i>	<i>arborea</i>	S. Watson, 1890	11
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>devoniana</i>	Lindl.	15
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>hartwegii</i>	Lindl.	6
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>herrerae</i>	Martínez	24
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>lawsoni</i>	Roehl ex Gordon	17
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>oaxacana</i>	Mirov	22
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>teocote</i>	Schltdl. & Cham.	15
Polygonaceae	<i>Podopterus</i>	<i>mexicanus</i>	Humb. & Bonpl	9
Rhamnaceae	<i>Colubrina</i>	<i>triflora</i>	Brongn. ex Sweet	18
Rhamnaceae	<i>Ziziphus</i>	<i>amole</i>	(Sessé & Moc.) M.C. Johnst., 1963	21
Rhamnaceae	<i>Ziziphus</i>	<i>pedunculata</i>	(Brandege) Standl.	25
Rosaceae	<i>Cercocarpus</i>	<i>macrophyllus</i>	C.K. Schneid., 1905	7
Rubiaceae	<i>Hintonia</i>	<i>latiflora</i>	(Sessé & Moc. ex DC.) Bullock, 1935	22
Rubiaceae	<i>Randia</i>	<i>thurberi</i>	S. Watson	4
Rubiaceae	<i>Coutaportia</i>	<i>ghiesbreghtiana</i>	(Baill.) Urb.	12
Rutaceae	<i>Casimiroa</i>	<i>calderoniae</i>	F. Chiang & Medrano, 1981	11
Rutaceae	<i>Esembeckia</i>	<i>macrantha</i>	Rose, 1897	8
Salicaceae	<i>Salix</i>	<i>bonpladiana</i>	Kunth, R. Cruz D.	5
Saxifragaceae	<i>Pterostemon</i>	<i>rotundifolius</i>	Ramírez, 1890	8
Sterculiaceae	<i>Guazuma</i>	<i>ulmifolia</i>	Lam., 1789	10
Tiliaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>terebinthaceus</i>	(DC.) Hochr.	5
Ulmaceae	<i>Celtis</i>	<i>caudata</i>	Planch.	15
Ulmaceae	<i>Celtis</i>	<i>pallida</i>	Torr., 1859	21
Urticaceae	<i>Pouzolzia</i>	<i>pringlei</i>	Greenm., 1898	6

La base de datos final se estructuró en el formato del programa Access, incluyendo las 131 especies de árboles de este estudio, con un total de 2680 registros, la cual nos muestra un rango en el número de registros de 4 para la especie que tiene menos y 98 para la especie con el mayor número de ellos.

Mediante la correlación entre los perfiles bioclimáticos de las especies utilizadas en este estudio se logró agrupar a las mismas de acuerdo a la similitud climática de los sitios donde crecen. De esta manera, en la figura 1 se muestra a los grupos de especies de acuerdo con la distribución geográfica de las características climáticas de los sitios donde se ha registrado a cada una de ellas, así como su agrupación de acuerdo a la similitud de tales características.

El método de agrupamiento usado permitió reconocer la formación de nueve grupos con las 131 especies utilizadas, es en este nivel donde claramente se puede distinguir una cierta correlación entre las asociaciones vegetales descritas para el VTC (Valiente-Banuet *et al.* 2000) y las condiciones climáticas que describe para las localidades de cada especie el método de modelaje bioclimático, principal razón por la cual se decidió trabajar con dicho agrupamiento.

De esta manera en el fenograma se diferencian dos grupos principales, que representan claramente condiciones ambientales y biológicas diferentes. Al mismo tiempo, cada subdivisión se pueden interpretar como variación en alguna(s) de las características climáticas, las que pueden compararse de una forma confiable pues se presentan los datos cuantitativos de forma completa para cada uno de los grupos. ANEXO 1.



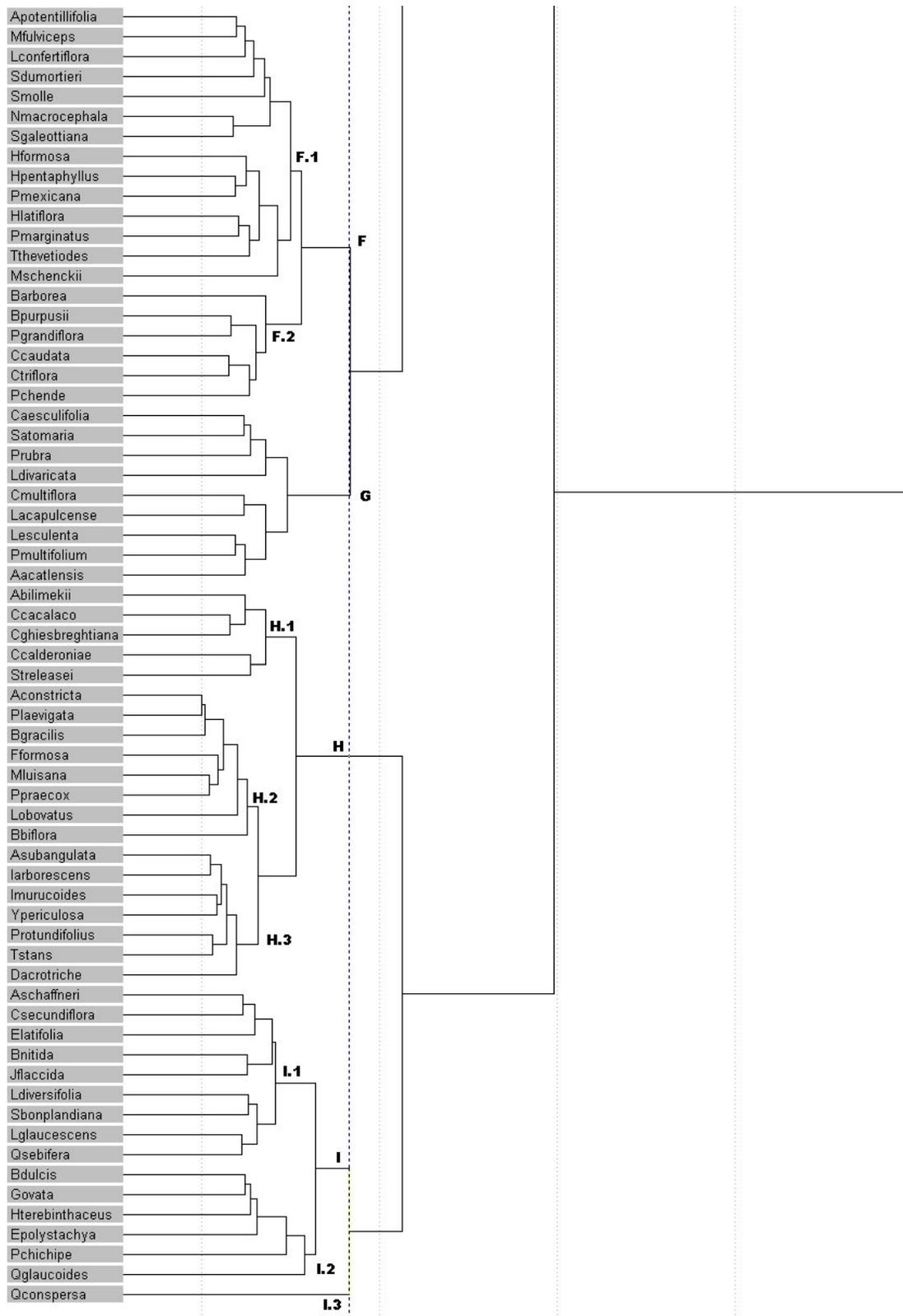
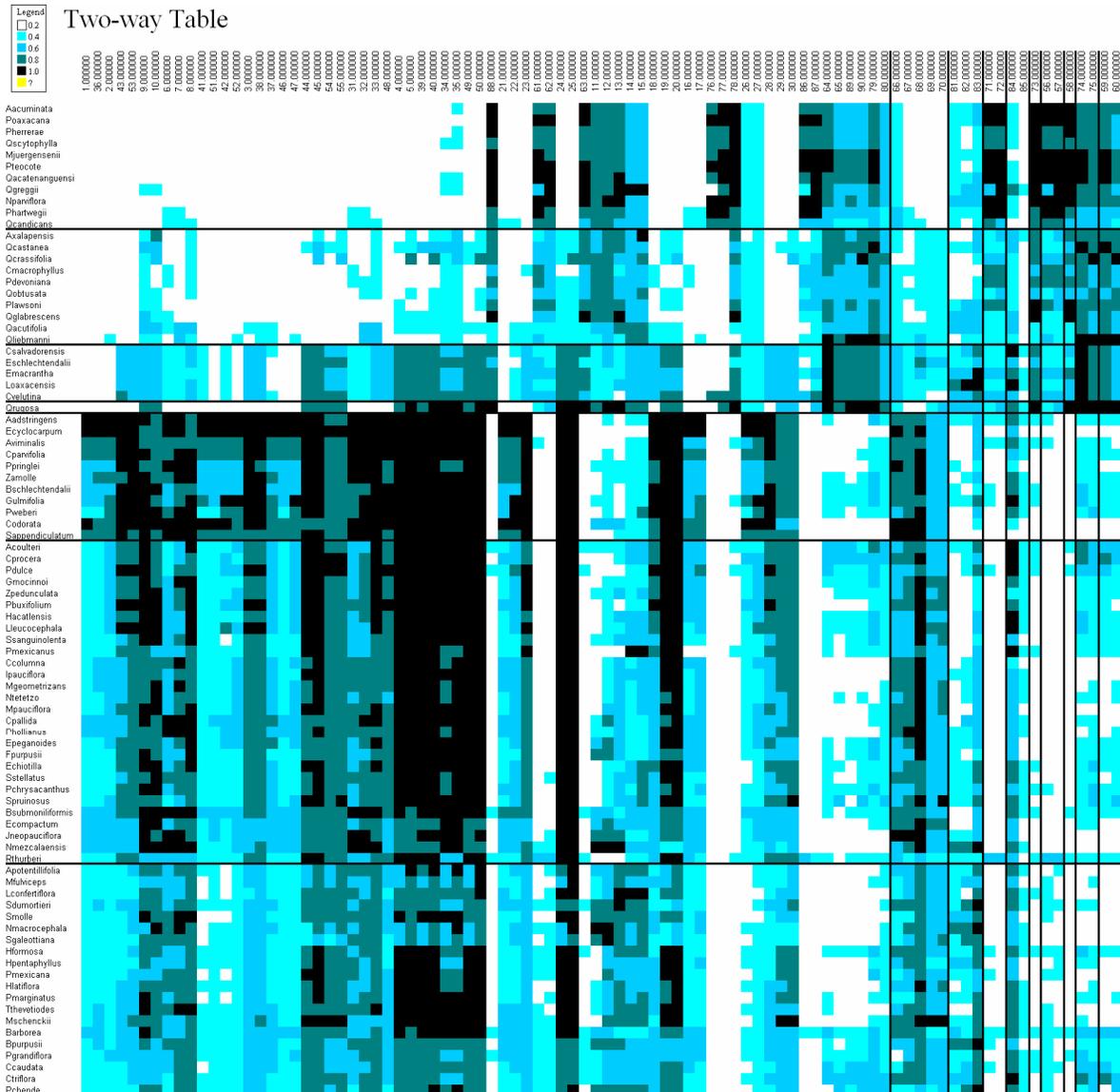


Fig. 1. Fenograma que nos muestra la agrupación de especies de acuerdo a la similitud climáticas de los sitios donde crecen las especies.

A continuación se presenta el análisis de doble vía (Fig. 1^a), la cual es una forma de representación gráfica del análisis de componentes principales (ACP), donde se muestra como se agrupan las variables ambientales con relación a como se conforman los grupos de especies.



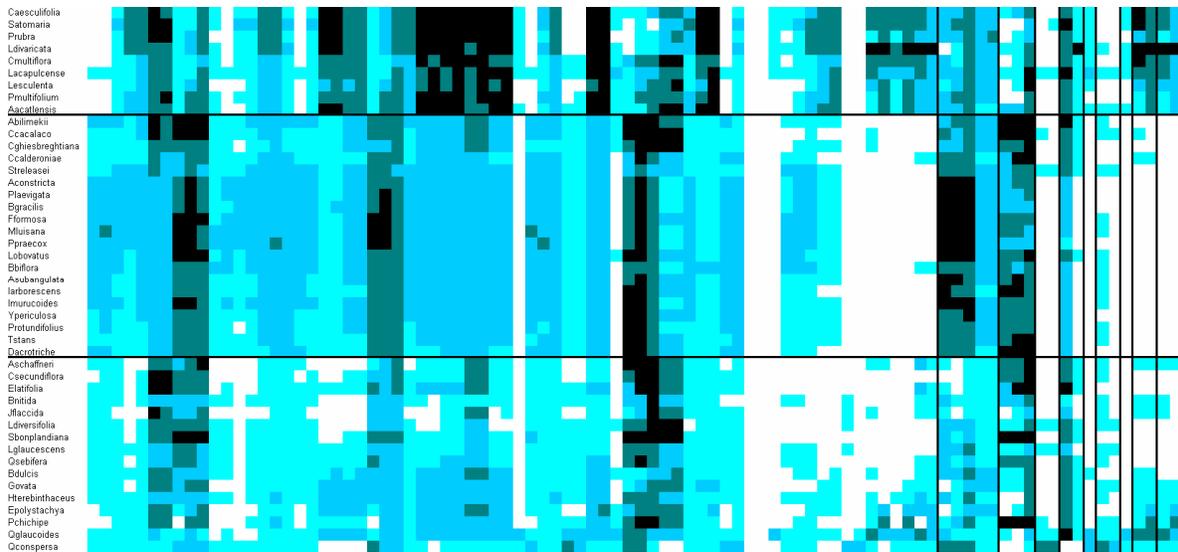


Fig. 2. Gráfica de dos vías.

La figura anterior nos muestra de forma gráfica la importancia que tiene cada uno de los valores tomados de los perfiles bioclimáticos de las especies, en la conformación de los grupos de acuerdo a su similitud climática. De este modo las variables climáticas que se encuentran en las columnas, tienden a tener una coloración más oscura de acuerdo con el peso que tienen en la conformación de los grupos, dicho de otra manera el “peso”, esta determinado por los eigen valores del análisis de componentes principales.

De este modo, en la separación de los dos principales grupos el primero conformado por los grupos A, B y C y los grupos D al I como representantes del segundo, resalta una clara diferencia en las variables que corresponden al parámetro precipitación del cuarto más seco y a la precipitación del cuarto más frío (en la gráfica corresponden a los parámetros 76, 77 ,78 y 88).

En el caso de los grupos D y E las variables que tienen mayor peso en su conformación son las variables; temperatura promedio anual, temperatura máxima y promedio de los cuatrimestres más húmedos y secos, la estacionalidad y la oscilación diurna de la temperatura principalmente. Mientras tanto, los grupos F y G a pesar de estar sustentados casi por los mismos parámetros que los

anteriores, en estos últimos la temperatura promedio anual, la temperatura máxima del periodo más húmedo y la temperatura promedio del cuarto más húmedo no tienen tanto “peso”.

En ese mismo sentido tenemos que los parámetros climáticos que sustentan a los grupos H e I son; la oscilación diurna de la temperatura, la isoterma, la estacionalidad de la precipitación y la precipitación del cuarto más húmedo principalmente. Finalmente las diferencias cuantitativas se reconocen mediante la comparación de los perfiles bioclimáticos que se presentan en el anexo 1.

Así mismo el análisis de componentes principales determinó los parámetros que explican la regionalización bioclimática obtenida en este estudio. Cinco de estos parámetros bioclimáticos explican el 90.5 % de la varianza, éstos son: el valor promedio de la oscilación anual de la temperatura 58.3 % acumulado; el valor mínimo de la isoterma 75.2 % acumulado; el valor mínimo de la temperatura mínima del cuatrimestre más frío 85.1 % acumulado; el valor promedio de la precipitación del cuatrimestre más húmedo 88.2 % acumulado y el valor mínimo del cuatrimestre más seco 90.4 % acumulado.

De esta manera, con la finalidad de definir unidades geográficas reconocidas para la RBTC, se generó un mapa con las principales unidades de relieve, utilizando el modelo digital de elevación con resolución de 90 x 90 m, y aplicando solo de un modo práctico para los diferentes unidades naturales dentro del VTC el nombre reconocido en las cartas topográficas 1:50 000 o en su defecto el nombre de acuerdo al municipio al que pertenecen (Fig. 2).

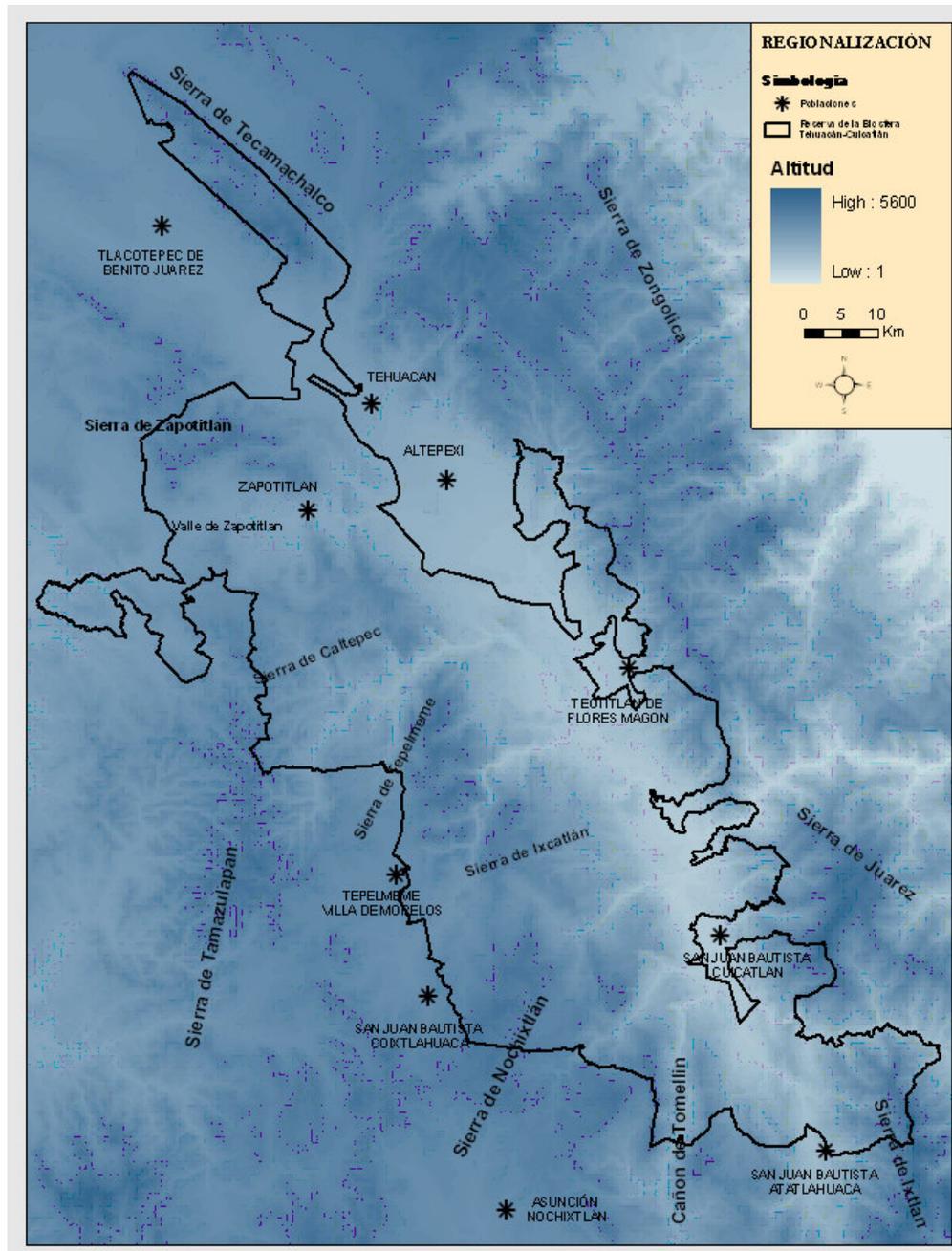


Fig. 3. Principales unidades de relieve dentro de la RBTC.

El **Grupo 1** se compone de 27 especies, las cuales corresponden a los sitios de mayor altitud y condiciones más húmedas y frías dentro del Valle Tehuacán-Cuicatlán, donde se encuentran principalmente los tipos de vegetación de áreas

templadas, tales como los bosques de encino-pino, los bosques de pino-encino y algunas especies que corresponden principalmente a las zonas de transición entre los bosques templados y los bosques tropicales caducifolios.

El **Grupo 2** se compone de 104 especies, en el cual encontramos principalmente a los tipos de vegetación que se encuentran en sitios con condiciones climáticas cálidas y secas, tales como diferentes tipos de matorrales xerófilos, el bosque tropical caducifolio, los izotales y los palmares.

Dentro de los grupos con afinidad hacia las áreas templadas, encontramos a las especies que componen a los bosques templados de encino-pino, como el **Grupo A** conformado por 11 especies: *Alnus acuminata*, *Pinus oaxacana*, *Pinus herrerae*, *Quercus scytophylla*, *Myrsine juergensenii*, *Pinus teocote*, *Quercus acatenanguensis*, *Quercus greggii*, *Nolina parviflora*, *Pinus hartwegii*, *Quercus candicans*. Los registros de estas especies tienen un intervalo altitudinal que va de los 2000 – 2850 m.

Estas especies se agrupan de acuerdo a la similitud climática de los sitios donde se ha registrado a la especie, sin embargo, tanto *Quercus greggii* como *Quercus candicans* son especies que tienen un área de distribución mayor que las demás especies, las cuales llegan hasta la sierra de Nochixtlán al SW de la reserva. El modelo de distribución potencial del grupo A se concentran en la sierra de Monte Flor y sigue hacia el S por la sierra de Ixtlán (Fig. 4).

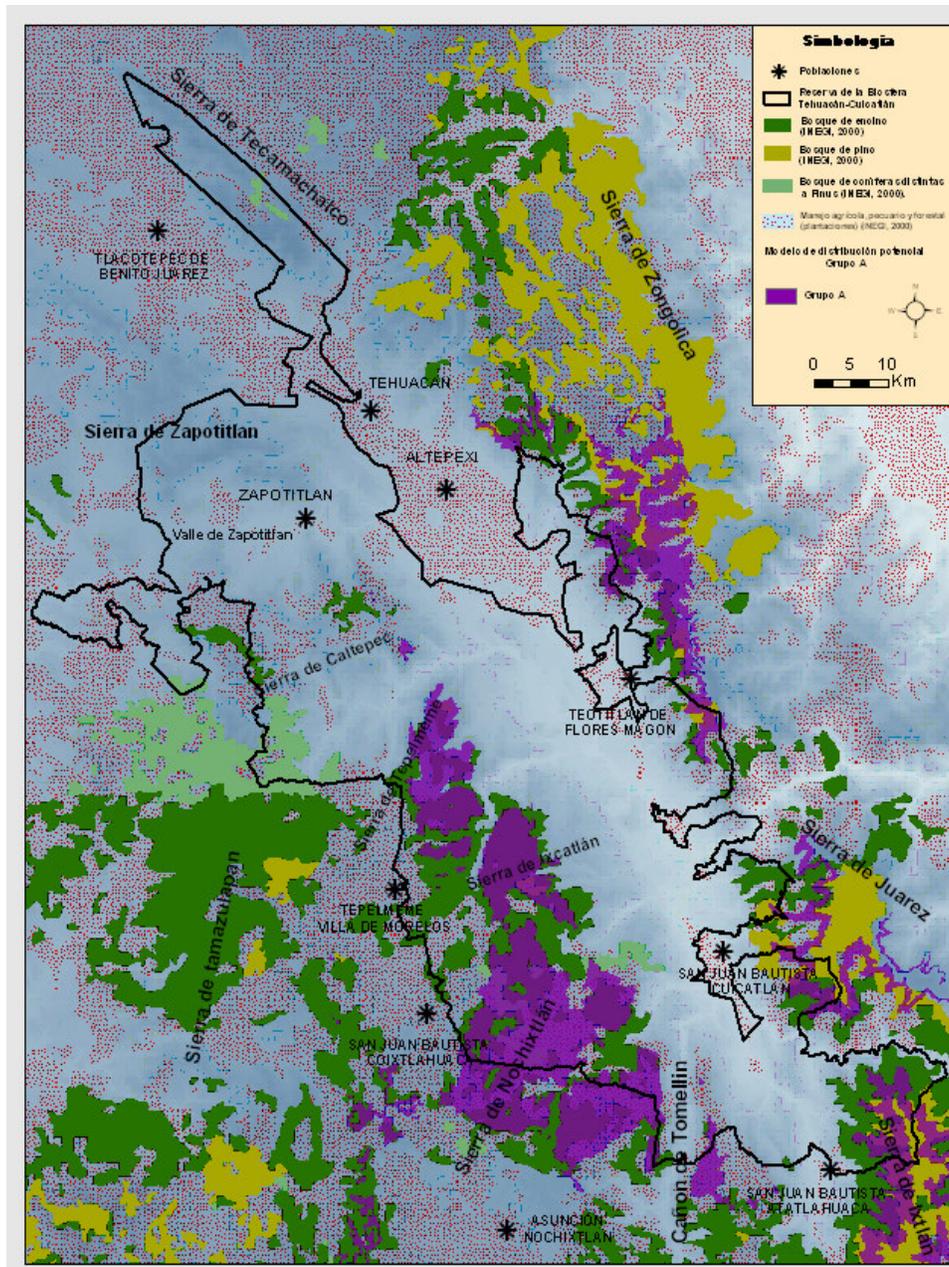


Fig. 4. Modelo de distribución potencial y perfil bioclimático del **Grupo A**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

El siguiente grupo de las zonas templadas, el **Grupo B**, está conformado en su mayoría por especies que forman los bosques de encino, sin embargo, parece haber una similitud climática con los sitios donde se a registrado a dos especies de pino. De esta manera, para la generación de un modelo de distribución

potencial del grupo, se dividió al mismo en 2 subgrupos, tomando en cuenta el fenograma obtenido con los perfiles climáticos de las especies.

El subgrupo **B.1** se compone de 8 especies: *Arbutus xalapensis*, *Quercus castanea*, *Quercus crassifolia*, *Cercocarpus macrophyllus*, *Pinus devoniana*, *Quercus obtusata*, *Pinus lawsonii*, *Quercus glabrescens*, donde los registros tienen un intervalo altitudinal entre los 1200 – 2760 m.

En este subgrupo se encuentran dos especies de pino, los cuales se distribuyen en la parte sur de la reserva, mientras que los bosques de encino siguen su distribución en la parte suroeste de la RBTC en las sierras de Nochixtlán y de Tepelmeme, continuando al oeste hacia la sierra de Tamazulapan, del mismo modo, estas comunidades se distribuyen al este de la RBTC en las partes bajas de la Sierra de Zongólica, que corresponden a la Sierra de Ajalpan y Coxcatlán.

El subgrupo **B.2** está formado por 2 especies; *Quercus acutifolia* y *Quercus liebmanni*. Estas especies de encino se distribuyen en un intervalo altitudinal de los 1300 – 2750 m. Las cuales se distribuyen desde la Sierra de Tamazulapan al centro-oeste en los límites de la de la Reserva hasta el sur en la Sierra de Monteflor.

De esta manera, el MDP del grupo B se distribuye el oeste de la reserva en la Sierra de Tamazulapan y la Sierra de Tepelmeme, llegando hasta el sur en las Sierras de Nacaltepec y Monteflor. Por el lado este, el MDP comienza desde las partes bajas de la Sierra de Zongólica, que corresponden a la Sierra de Ajalpan y Coxcatlán y siguiendo al sur por Teotitlán del Camino, llegando al sur a la Sierra de Juarez (Fig. 5).

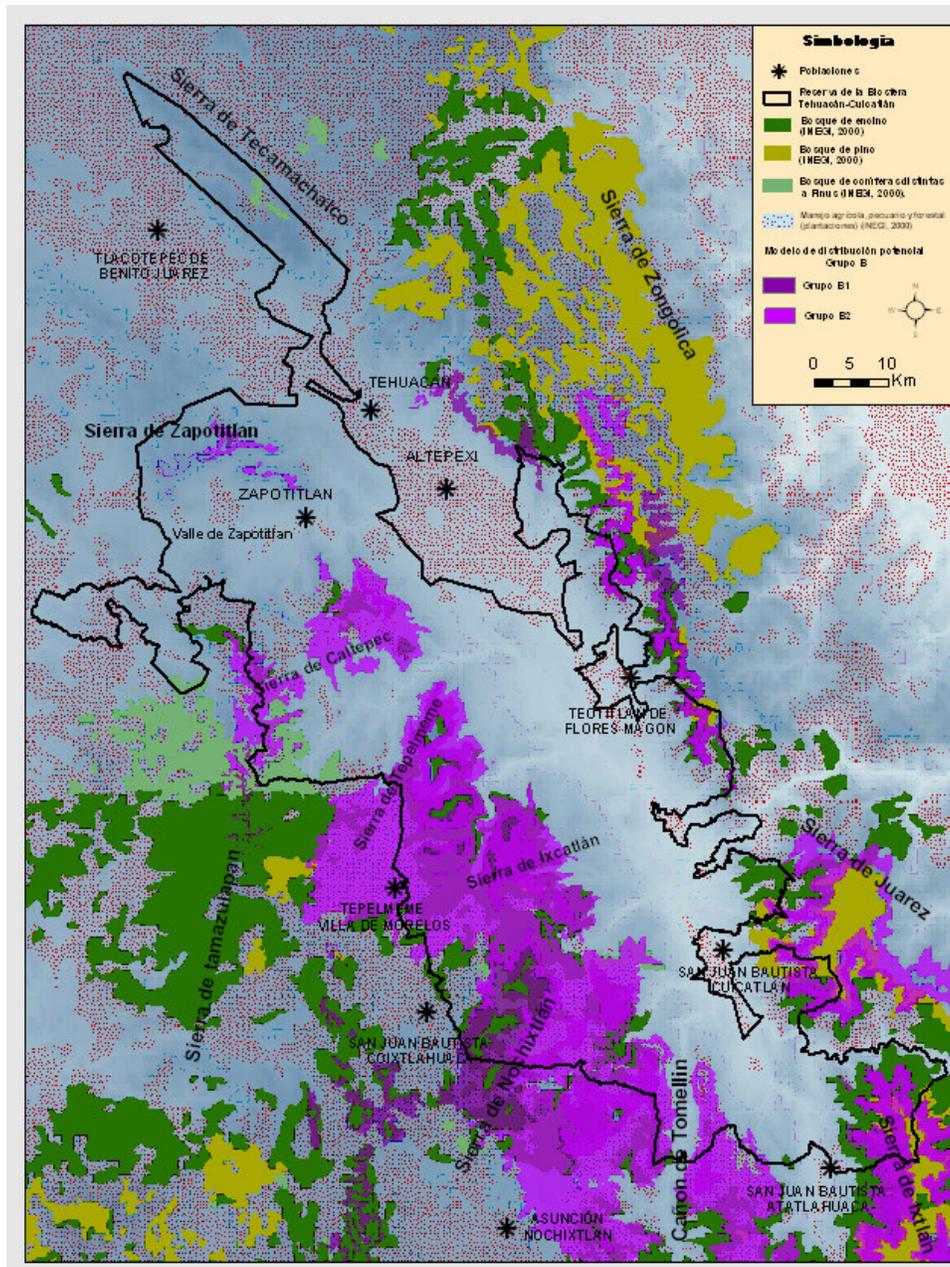


Fig. 5. Modelo de distribución potencial y perfil bioclimático del **Grupo B**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

El último grupo formado por especies que pertenece a las zonas templadas es el **Grupo C**, el cual se compone de 6 especies, al mismo tiempo 5 de ellas parecen tener más relación climática, estas son *Cedrela salvadorensis*, *Euphorbia schlechtendalii*, *Esembeckia macrantha*, *Lonchocarpus oaxacensis* y *Caesalpinia*

velutina, mientras que *Quercus rugosa* muestran afinidad climática con el grupo de las primeras 5 especies.

Las especies de este grupo pertenecen a las zonas de transición entre los bosques de encino y el bosque tropical caducifolio, de esta manera, encontramos a su modelos de distribución potencial entre los 1000 – 2400 m, del mismo modo, su relación con *Quercus rugosa* se debe a su amplia distribución, esta especie tiene un intervalo altitudinal de 890 – 2750 m, este puede ser un ejemplo de un error en la toma correcta de los datos de georeferencia, ya que solo es un registro el que da la altitud de 890 m, todos los demás son de 2000 m en adelante.

El MDP de este grupo se distribuye en la parte centro de la RBTC principalmente en la cuenca del río Calapan, continuando por la cuenca del Río Salado y posteriormente por la del Río Grande de los lados este y oeste, continuando hacia el sur por el cañón de Tomellin y por las partes bajas de la sierra Monteflor. Sin embargo, se sabe que en esta zona que forma parte de la Sierra de Juárez, solo existen bosques de encino y pino, por lo que el MDP puede estar sobreestimando en esta zona, lo que puede ser generada por un registro de *Quercus rugosa* que esta ubicado en la parte centro de la reserva a muy baja altitud, lo cual parece ser un registro equivocado (Fig. 6).

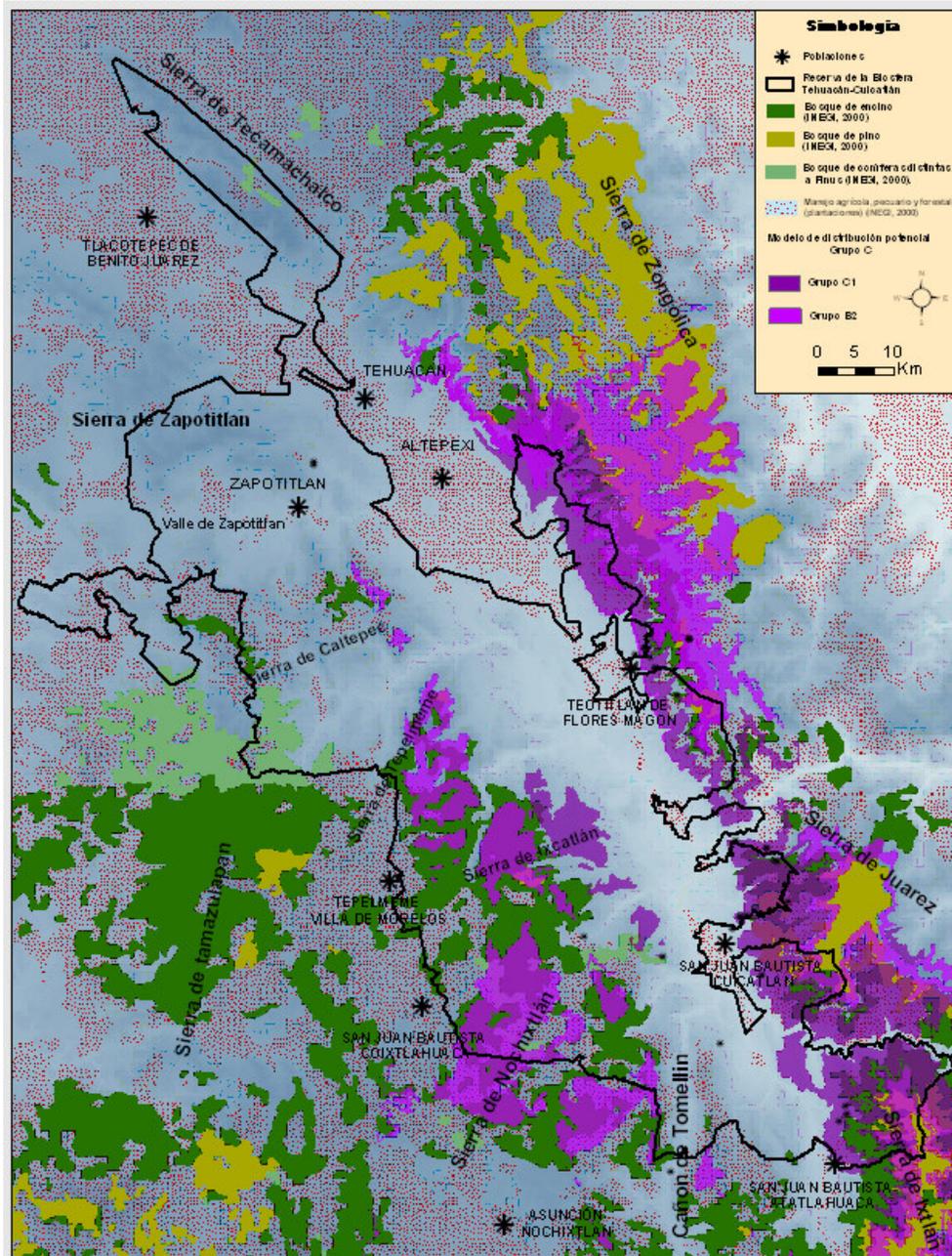


Fig. 6. Modelo de distribución potencial y perfil bioclimático del **Grupo C**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

El grupo 2 está formado por varias subdivisiones, donde encontramos el primer subgrupo o **Grupo D**, conformado por 11 especies, éstas son: *Amphiptherygium adstringens*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Astianthus viminalis*, *Ceiba parvifolia*, *Guazuma ulmifolia*, *Pachycereus weberii*, *Bursera schlechtendalii*, *Pouzolzia pringlei*, *Ziziphus amolle*, *Cedrela odorata* y *Sapium appendiculatum*. Estas especies se distribuyen en un intervalo altitudinal entre los 500 – 1900 m.

La bibliografía y el conocimiento de la zona de estudio indica que estas especies se encuentran en los tipos de vegetación conocidos como, selva baja caducifolia y matorral sarcocrasicaule principalmente y más específicamente en asociaciones vegetales tales como cardonal de *Pachycereus weberi* y bosque de galería.

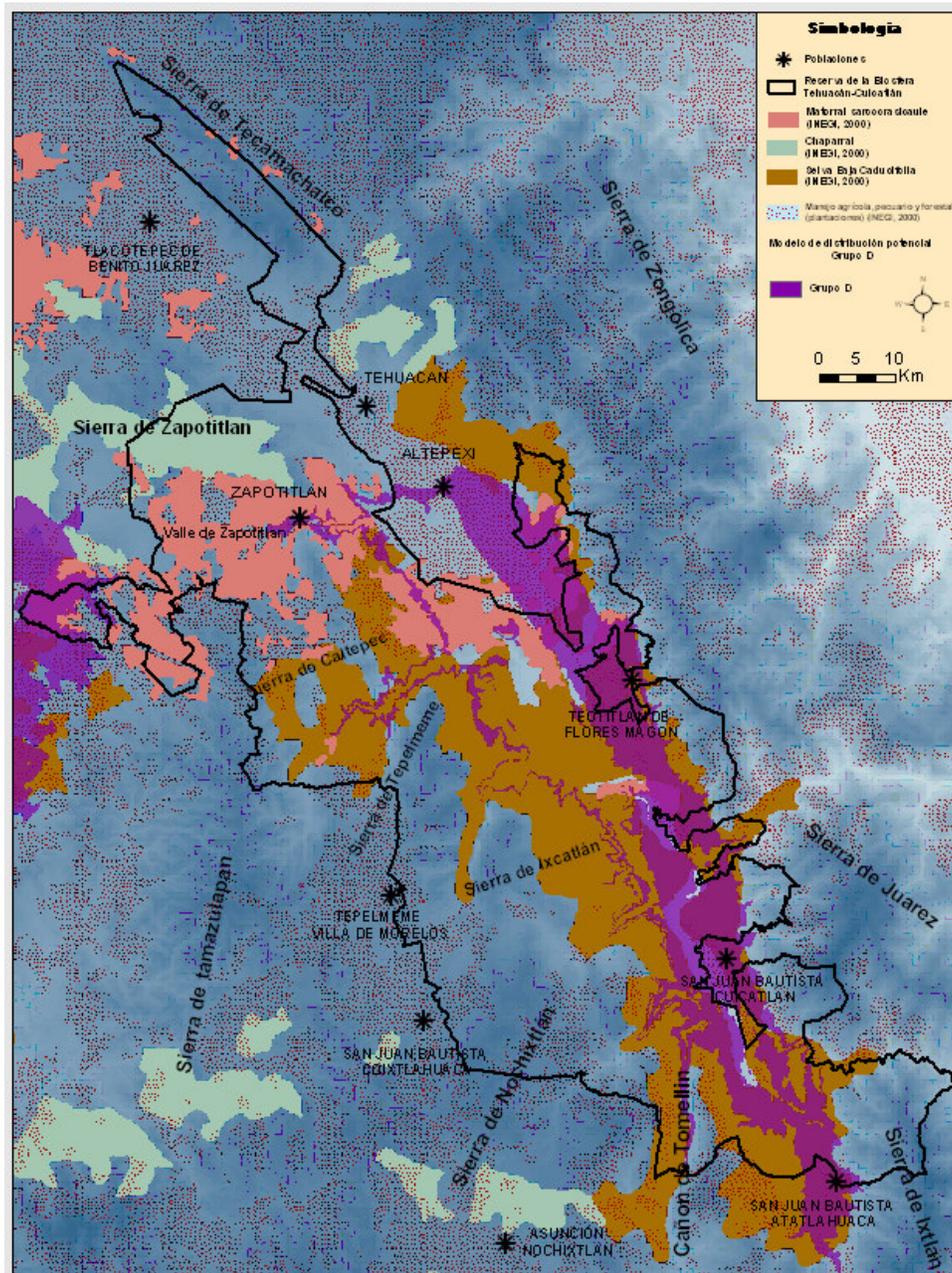


Fig. 7. Modelo de distribución potencial y perfil bioclimático del **Grupo D**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

El MDP del grupo D se distribuye a lo largo de la cañada de Cuicatlán en el sur y siguiendo esta unidad geográfica hacia el norte por Teotitlán del camino, llegando hasta Altepexi, donde continua al centro oeste de la reserva por el Valle de Zapotitlán y sigue hacia Chazumba, donde rodea la sierra de Tamazulapan y regresa al sur hasta Huajuapán de León (Fig. 7).

El **Grupo E** se forma por 28 especies, las cuales representan diferentes gradientes climáticos, comenzando por el subgrupo E.1 de 10 especies: *Acacia coulteri*, *Cyrtocarpa procera*, *Pithecellobium dulce*, *Gyrocarpus mocinnoi*, *Ziziphus pedunculata*, *Plocosperma buxifolium*, *Harpalyce acatlensis*, *Leucaena leucocephala*, *Stillingia sanguinolenta* y *Podopterus mexicanus*, estas especies han sido reconocidas como elementos importantes en la Selva Baja Caducifolia y en el Matorral Sarcocrasicaule, más específicamente del Cardonal de *Pachycereus weberi*. Los registros de estas especies se distribuyen en un amplio intervalo altitudinal, que va de los 500 – 2400 m.

Del mismo modo y con una relación climática muy cercana con el subgrupo anterior tenemos al subgrupo E.2, formado por 13 especies: *Cephalocereus columna-trajani*, *Ipomoea pauciflora*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Neobuxbamia tetetzo*, *Manihotoides pauciflora*, *Celtis pallida*, *Pachycereus hollianus*, *Euphorbia peganoides*, *Fouquieria purpusii*, *Escontria chiotilla*, *Stenocereus stellatus*, *Pilosocereus chrysacanthus* y *Stenocereus pruinosus*, estas especies han sido reconocidas como parte de asociaciones vegetales conocidas como Cardonales y Tetecheras. El intervalo altitudinal de estas especies es de los 250 – 2200 m.

El subgrupo E.3 está formado por 4 especies: *Bursera submonilliformis*, *Erythroxylum compactum*, *Jatropha neopauciflora* y *Neobuxbamia mezcalaensis*, las cuales forman parte de algunas asociaciones conocidas como Tetecheras, Mexical (chaparral) y algunos cardonales. El intervalo altitudinal de estas especies es de los 950 – 2000 m.

El fenograma también nos muestra una relación climática de 1 especie (E.4): *Randia thurberi*, con los subgrupos anteriores, esta especie se ha registrado en tipos de vegetación como el Mexical y el Chaparral. El intervalo altitudinal de esta especie es muy amplio, va de los 650 – 2200 m. Sin embargo, el modelo digital de elevación nos muestra lo que parece ser otro error, puesto que el registro que tiene una altitud mayor a los 2000 m, el MDE nos indica 750 m de altitud.

El MDP de los subgrupos E.1 y E.2 se distribuye por toda la parte baja del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, incursionando en la cuenca del río Calipan y en el Valle de Zapotitlán por donde sigue hacia Santiago Chazumba y llegando finalmente hasta Huajapan de León, con un intervalo altitudinal de 550 – 2200 m. Del mismo modo, las especies del subgrupo E.3 y E.4 se distribuyen principalmente por la parte centro norte de la reserva, en el Valle de Zapotitlán y al sur por la parte baja de las Sierras de Ixcatlán y de Nochixtlán, con un intervalo altitudinal de 650 – 2200 m.

En general el MDP del grupo E, nos sugiere la distribución de Tetecheras y Cardonales a lo largo del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, donde se sabe que la dominancia de algunas especies como *Neobuxbamia tetetzo*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Cephalocereus columna-trajani* es en la parte centro de la reserva principalmente, en el Valle de Zapotitlán (Fig. 8).

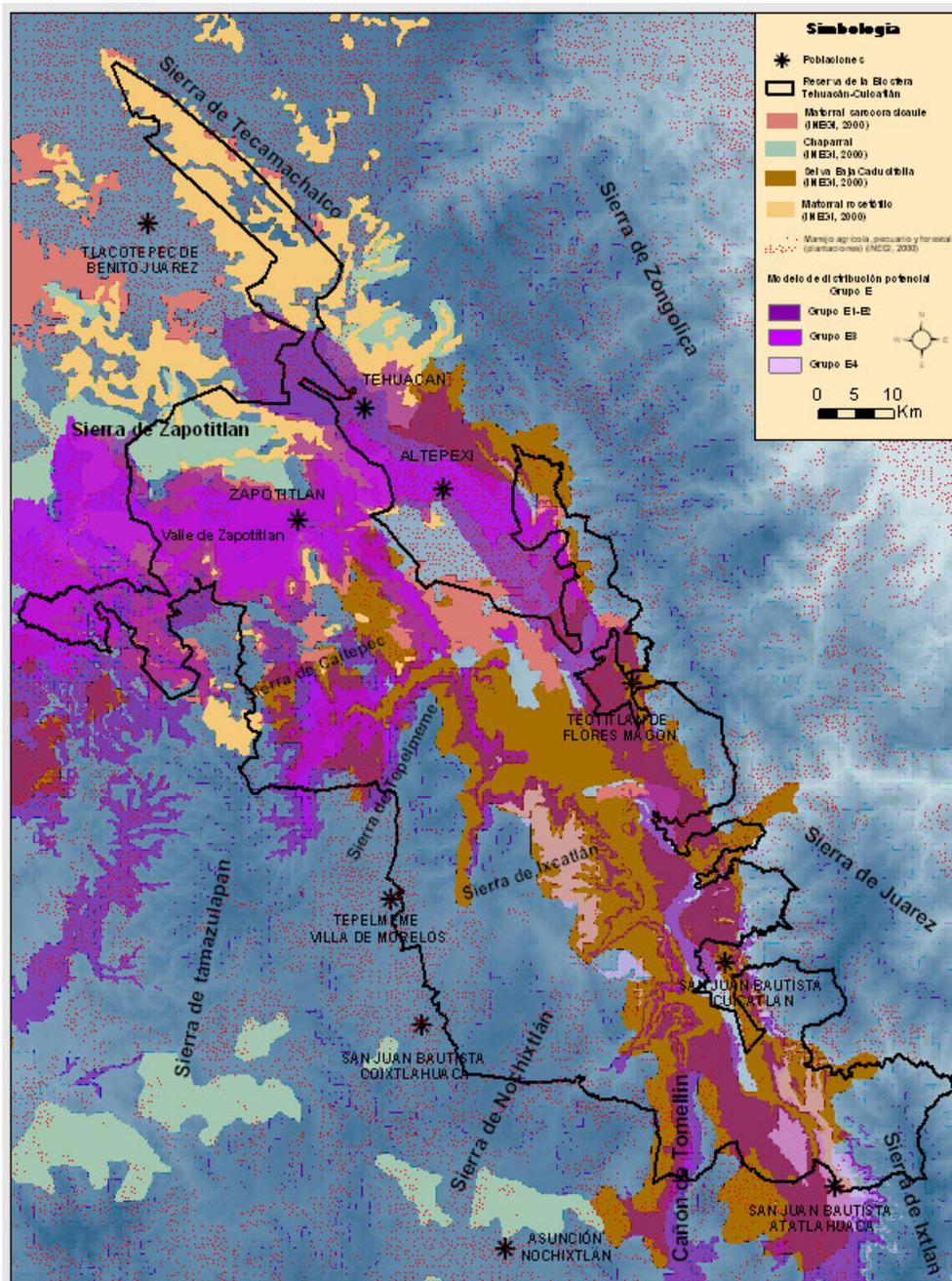


Fig. 8. Modelo de distribución potencial y perfil bioclimático del **Grupo E**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

Continuando con el extenso grupo 2, el fenograma muestra que los sitios donde se ha registrado a las especies que conforman el **Grupo F**, tiene relación climática con las especies del grupo G. Del mismo modo que el grupo antes mencionado, este presenta varias subdivisiones, la primera está compuesta por el subgrupo F.1, que se compone por 14 especies: *Actinocheita potentillifolia*, *Mitrocereus*

fulviceps, *Leucaena confertiflora*, *Stenocereus dumortieri*, *Schinus molle*, *Neobuxbamia macrocephala*, *Senna galeottiana*, *Harpalyce formosa*, *Hesperothamnus pentaphyllus*, *Pistacia mexicana*, *Heretia latiflora*, *Pachycereus marginatus*, *Tevetia thevetioides* y *Myrtillocactus schenckii*.

Estas especies se han reconocido como elementos de las asociaciones vegetales conocidas como Cardonales y Tetecheras. El MDP del subgrupo presentan una distribución a través de la parte centro-norte y centro-oeste de la RBTC principalmente y en menor proporción se distribuye al sur de la reserva en altitudes un tanto mayores en la cañadas de Cuicatlán y Nacaltepec. El intervalo altitudinal es muy amplio va de los 250 a los 2450 m, las mayores altitudes se localizan principalmente en el centro-norte de la reserva.

La siguiente división corresponde al subgrupo F.2, formado por 5 especies: *Bocconia arborea*, *Beaucarnea purpusii*, *Piscidia grandiflora*, *Celtis caudata* y *Colubrina triflora* y *Polaskia chende*. Estas especies se han reconocido como parte de las asociaciones vegetales conocidas como Izotales, Matorrales espinosos y la Selva Baja Caducifolia. Este grupo de especies prácticamente tiene el mismo patrón de distribución que el grupo F.1, sin embargo, F.2 se distribuye además desde la cañada de Coxcatlán al este, hasta la cañada de Cuicatlán en el sur-este de la reserva. El intervalo altitudinal de la distribución de este grupo, va de los 1000 – 2200 m.

El MDP de este subgrupo presenta un intervalo muy grande, que va desde la parte centro-norte de la reserva hasta el sur de la misma, solo con excepción de las partes altas de la Sierra de Nochixtlán y Tepelmeme en el centro, así como, las partes más bajas de la cañada desde Teotitlán del Camino hasta Cuicatlán y en la parte sur la Sierra de Monteflor.

Por otro lado, el MDP del grupo F, se concentra en el Valle de Zapotitlán y Tehuacán en el centro-norte de la reserva, continuando al sur principalmente por

la parte oeste de la reserva; Caltepec, la cuenca del río Calipan y partes bajas de la Sierra de Tepelmeme, hasta la cañada de Nacaltepec al sur de la reserva (Fig.9). El modelo digital de elevación nos indica un intervalo altitudinal que va de los 900 a los 2440 m.

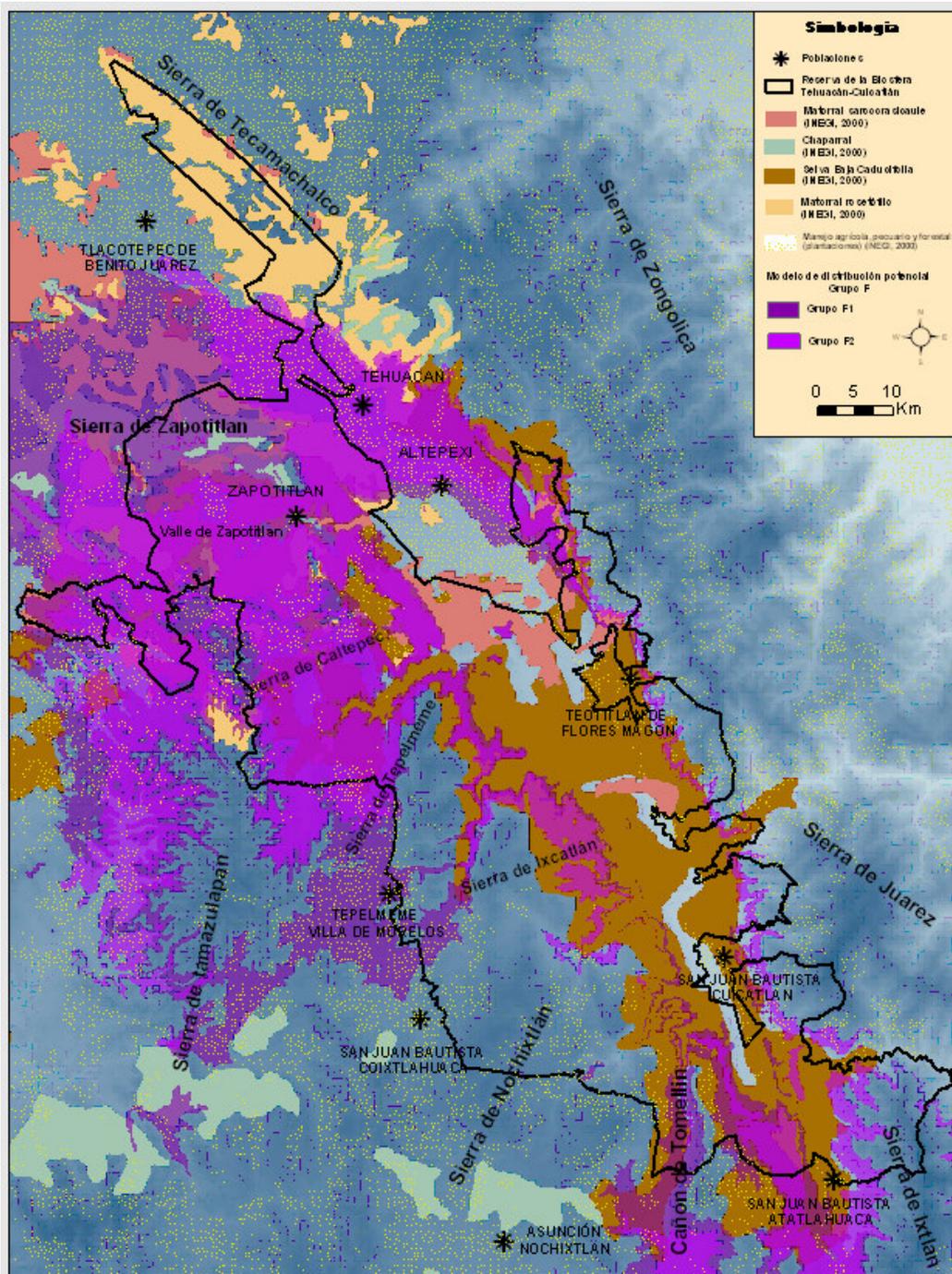


Fig. 9. Modelo de distribución potencial del **Grupo F**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

El siguiente grupo y que esta relacionado con el grupo F, corresponde al **Grupo G** que se compone de 9 especies: *Ceiba aesculifolia*, *Senna atomaria*, *Plumeria rubra*, *Lysiloma divaricata*, *Conzattia multiflora*, *Lysiloma acapulcense*, *Leucaena esculenta*, *Pseudosmodium multifolium* y *Acacia acatlensis*. Estas especies han sido reconocidas como elementos importantes en la Selva Baja Caducifolia.

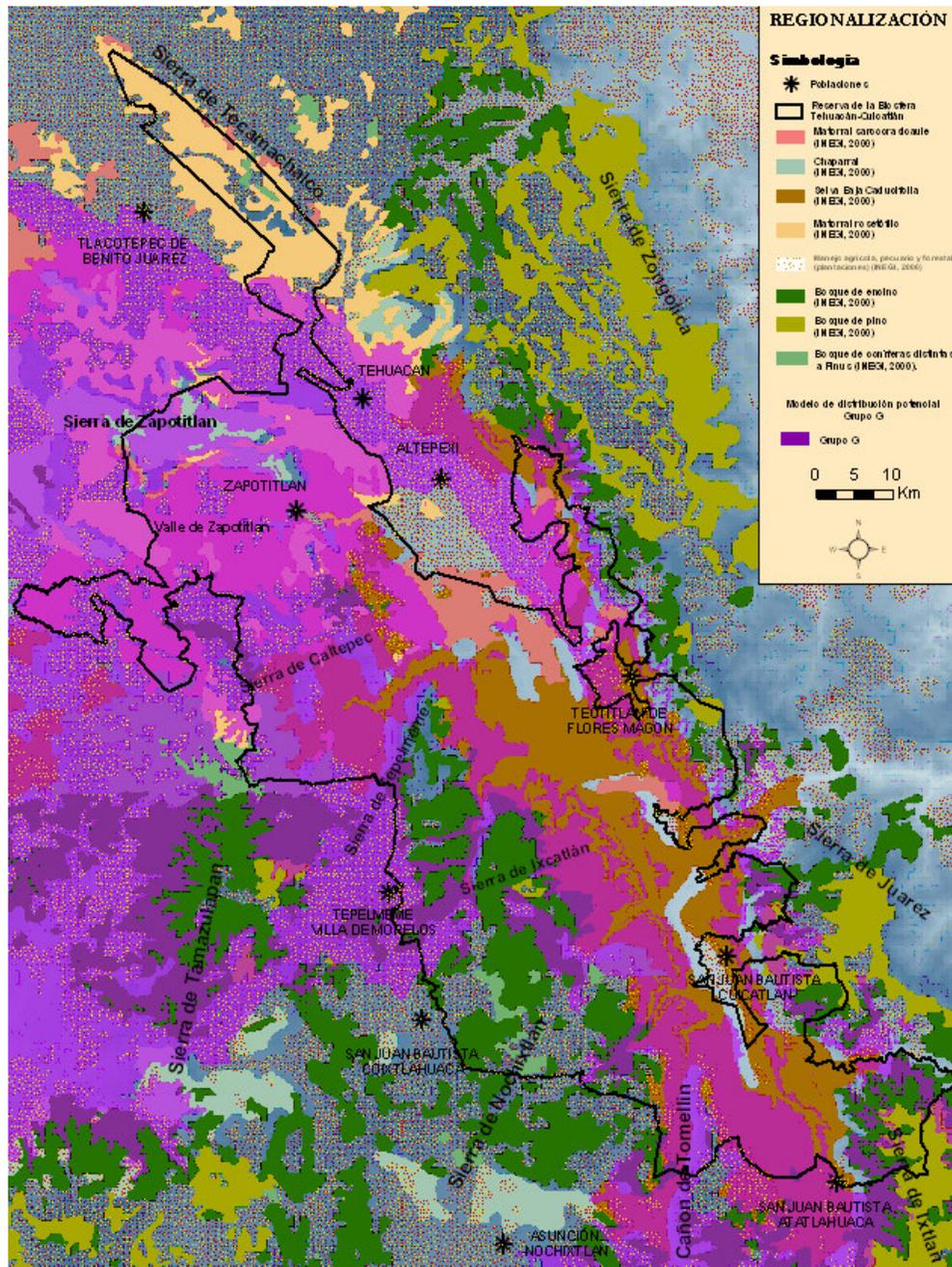


Fig. 9. Modelo de distribución potencial del **Grupo G**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

El MDP de este subgrupo presenta un intervalo muy grande, que va desde la parte centro-norte de la reserva hasta el sur de la misma, solo con excepción de las partes altas de la Sierra de Nochixtlán y Tepelmeme en el centro, así como las partes más bajas de la cañada desde Teotitlán del Camino hasta Cuicatlán y en la parte sur la Sierra de Monteflor.

El **Grupo H** está conformado por 2 subdivisiones, la primera es el subgrupo H.1, donde se agrupan 5 especies: *Acacia bilimekii*, *Caesalpinia cacalaco*, *Coutaportla ghiesbreghtiana*, *Casimoroa calderoniae* y *Stenocereus treleasei*. Estas especies se han registrado en las asociaciones vegetales conocidas como Palmares, Matorral sarcocrasicaule y Chaparral principalmente. Los registros tienen un gradiente altitudinal de los 1100 – 2700 m.

El siguiente subgrupo, H.2 está formado por 8 especies: *Acacia constricta*, *Prosopis laevigata*, *Beacurnea gracilis*, *Fouquieria formosa*, *Mimosa luisana*, *Parkinsonia praecox*, *Lonchocarpus obovatus* y *Bursera biflora*. Estas especies se han reconocido como parte de la selva baja espinosa perenifolia, las tetecheras cardonales y los izotales principalmente.

El subgrupo H.3 se conforma por 7 especies: *Acacia subangulata*, *Ipomoea arborescens*, *Ipomoea murucoides*, *Yucca periculosa*, *Pterostemon rotundifolius*, *Tecoma stans* y *Dasyllirion acrotriche*. Estas especies se han registrado en los tipos de vegetación conocidos Matorral roseto filo, Izotales y Fouquieriales. Las especies presentan un intervalo altitudinal entre los 1450 -2200.

La distribución de estas especies dentro de la RBTC es principalmente en el Valle de Zapotitlán, parte del Valle de Tehuacán y la cuenca del Río Calipan en el municipio de Caltepec. Las especies presentan un intervalo altitudinal entre los 1350 -2100.

Al igual que el subgrupo anterior, estas especies se distribuyen en el Valle de Zapotitlán y parte del Valle de Tehuacán, sin embargo, dos especies de este subgrupo tienen un registro en la parte baja de la Sierra de Ixcatlán, lo que hace que el MDP siga hacia el sur por las partes bajas hasta la cañada de Nacaltepec (Fig. 11).

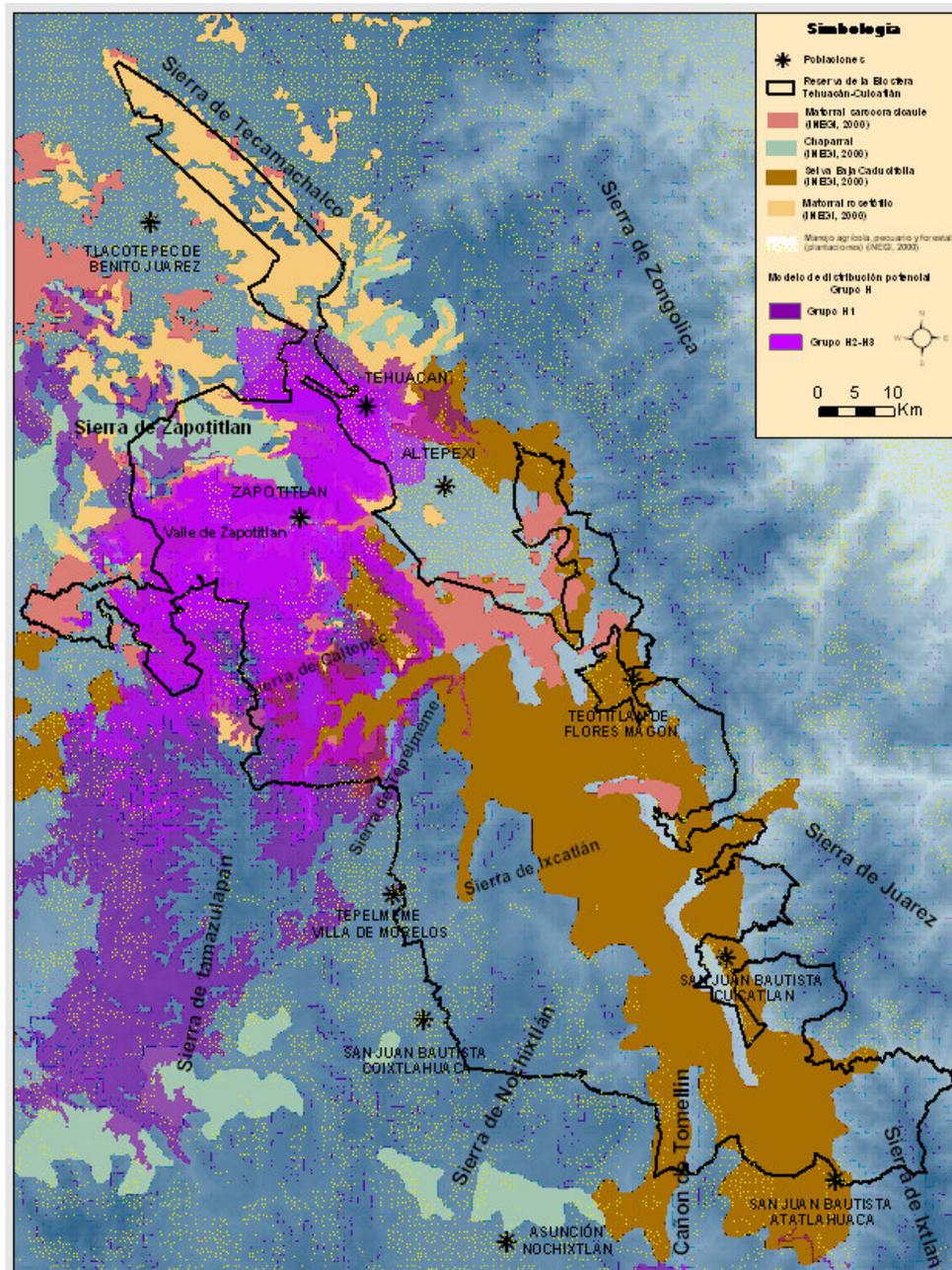


Fig. 10. Modelo de distribución potencial del **Grupo H**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

El MDP de estos subgrupos se distribuyen principalmente por la zona oeste de la reserva con excepción de las partes más elevadas de las sierras presentes en esta área, además de las partes más bajas, tales como el Valle de Zapotitlán y el propio valle de Tehuacán-Cuicatlán (Fig. 10) con un intervalo altitudinal de los 1450 – 2700 m.

Finalmente, tenemos al **Grupo I** que está conformado por 16 especies y tres subdivisiones principalmente, la primera de ellas, el subgrupo I.1, se forma con 9 especies: *Acacia schaffneri*, *Calia secundiflora*, *Eretia latifolia*, *Brahea nitida*, *Juniperus flaccida*, *Leucaena diversifolia*, *Salix bonpladiana*, *Litsea glaucescens* y *Quercus sebifera*. Estas especies forman parte de las asociaciones vegetales como Chaparral, Bosque de Tascate, Palmares e incluso la Selva Baja Caducifolia.

El siguiente subgrupo I.2 está formado por 6 especies, *Brahea dulcis*, *Garrya ovata*, *Heliocarpus terebinthaceus*, *Eysenhardtia polystachya*, *Polaskia chichipe* y *Quercus glaucoides*. Estas especies se reconocen en los tipos de vegetación tales como Palmares y Chaparrales principalmente.

Por último, como parte del grupo I, se encuentra formando el subgrupo I.3 una sola especie, que es *Quercus conspersa*, el fenograma nos muestra cierta relación climática de esta última especie con los subgrupos anteriores.

El MDP del **Grupo I** se concentra en las siguientes áreas dentro de la RBTC, principalmente se distribuye por la parte oeste en las sierras de Caltepec, Tepelmeme, Ixcatlán y Nochixtlán, entre las altitudes de 1700 – 2500 m principalmente. En la parte Norte de la reserva el modelo se distribuye en las partes más altas de la sierra de Zapotitlán, también en sitios por arriba de los 1700 m y en parte del Valle de Tehuacán, en elevaciones que oscilan entre los 1500 – 2000 m. Sin embargo, el modelo se distribuye también hacia la parte sur de la

reserva, esto se debe a la relación climática que nos muestra el fenograma con los sitios donde crece *Quercus rugosa*, que es la Sierra Monteflor.

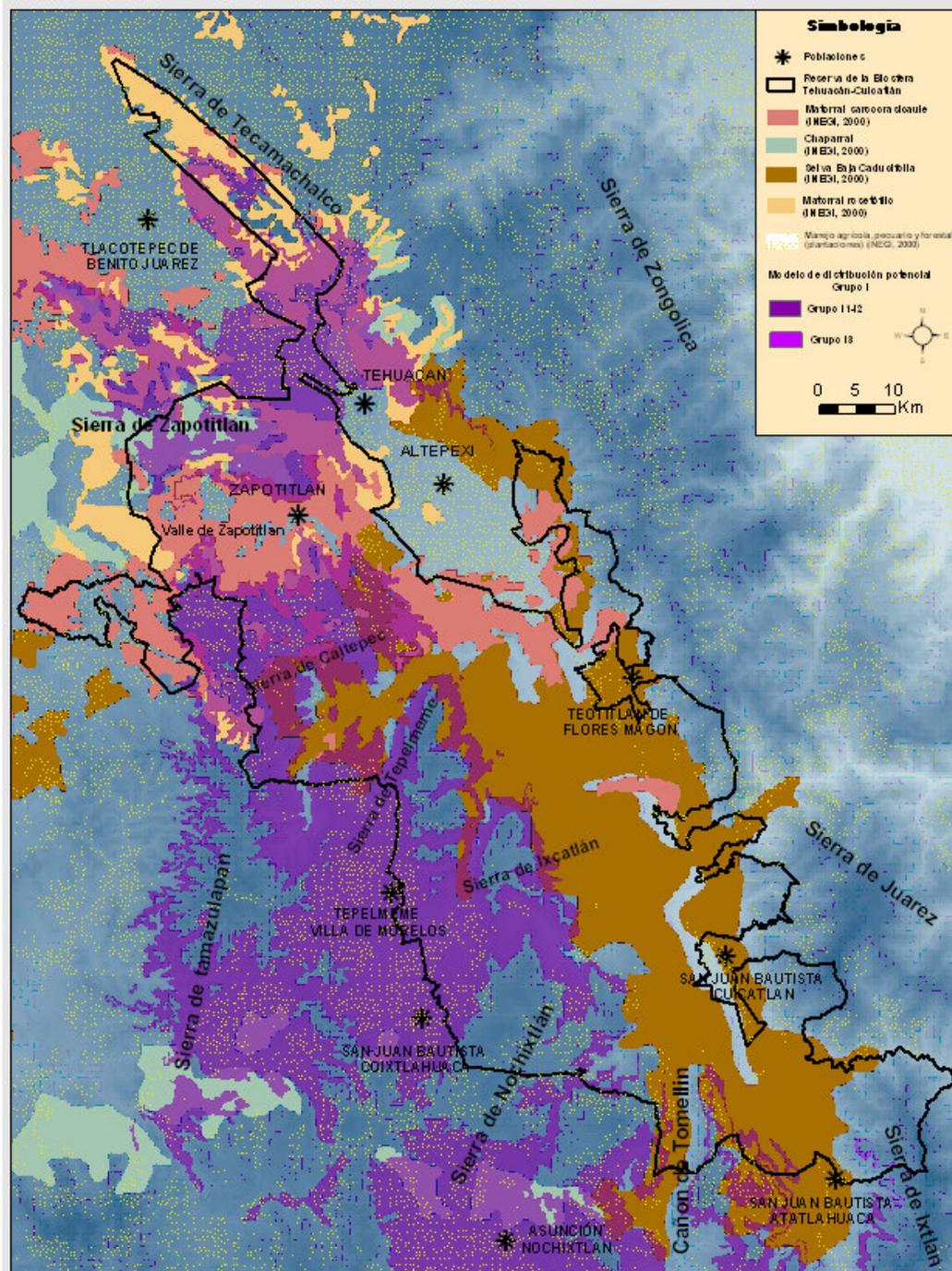


Fig. 10. Modelo de distribución potencial del **Grupo I**, mostrando las principales unidades geográficas de la RBTC.

Se realizó una evaluación de la confiabilidad de los modelos de distribución potencial, utilizando el análisis Kappa en el SIG ArcView 3.2 para 3 especies, que se utilizaron en este estudio: 1) *Acacia coulteri* con 16 registros, 2) *Prosopis laevigata* con 47, y 3) *Arbutus xalapensis* con 65 registros en total. Inicialmente, cada juego de registros conocidos se dividió en dos subjuegos, con los cuales se aplicó el análisis con el coeficiente Kappa.

La precisión de los modelos es evaluada al medir la coincidencia entre dos subjuegos de un juego de datos inicial. En realidad lo que el análisis Kappa esta estimando, es la coincidencia entre un modelo predictivo y un juego de datos que no se emplea en generación del anterior, encontrando de esta manera los siguientes datos: 1) exactitud global la cual es el número de registros correctamente clasificados en la muestra entre el número total de registros; 2) la clasificación incorrecta global la cual es el número de registros incorrectamente clasificados de la muestra entre el número total de registros, así como los valores de omisión y comisión del modelo (Cuadro 2).

Cuadro 3. Estadístico kappa para tres especies.

	<i>Acacia coulteri</i>	<i>Prosopis laevigata</i>	<i>Arbutus xalapensis</i>
Estadísticas globales:			
Registros analizados	16	47	65
Exactitud global:	(1 / 3) = 0.333	(10 / 15) = 0.66667	(18 / 22) = 0.818
Indice de clasificación incorrecta global:	(2 / 3) = 0.667	(5 / 15) = 0.333333	(4 / 22) = 0.182
Sensibilidad global:	0.333333333	0.666666667	0.818181818
Especificidad global:	0.333333333	0.916666667	0.954545455
Errores de Omisión:	0.666666667	0.333333333	0.181818182
Errores de Comisión:	0.666666667	0.083333333	0.045454545
Estadístico KAPPA :			
KHAT	0.0	0.482759	0.749288
VARIANZA	1.33333333	0.02521204	0.01122161
Valor Z	0.0	3.040	7.073
Valor P	0.5	0.00118145	< 0.00001

Idealmente la validación estadística de los modelos debe abarcar el ciento por ciento de las especies, sin embargo la razón por la cual solo se aplicó el estadístico kappa en tres especies, es mostrar de forma objetiva la confiabilidad de los juegos de datos que tenemos contenidos en la base de datos, lo que nos permitió reconocer aspectos básicos para dicho análisis, primero se reconoció la importancia de la selección de los juegos de datos (con el que se modela y con el que valida), puesto que en ambos debe estar representada tanto la distribución geográfica de la especie, así como la variación ambiental en la que se encuentra, segunda el incremento en el número de registros no necesariamente esta relacionada el incremento en la precisión de los modelos. Por lo tanto no es tan importante el incrementar el número de registros, a menos que estos complementen información sobre la distribución geográfica de las especies en cuestión.

7. DISCUSIÓN

La regionalización a nivel del país ha sido una de las fuentes de datos y herramientas que ha permitido lograr un entendimiento razonable de cómo las características físicas de este han sido uno de los elementos que ha modelado la distribución de su diversidad biológica (Morrone, 2005, 2006). Estas regionalizaciones que de ninguna manera han sido logradas fácilmente, encuentran sus límites en unidades discretas (FVT, SMS, SMO, etc.), situación que se vuelve más compleja cuando se pretende entender las áreas y patrones de distribución de algunos elementos de la diversidad biológica a escala más detalladas. Este es el caso del Valle de Tehuacán, una provincia florística que ha sido caracterizada por sus muy particulares condiciones ambientales y su riqueza biológica, y su nivel de endemismo (Dávila, 1993; Rzedowski, 1978), sin embargo, hasta el momento no se ha propuesto una caracterización en unidades discretas para dicha zona. Sin embargo, es importante notar que estudios previos han documentado las relaciones del Valle de Tehuacan-Cuicatlán con otras áreas o regiones del país (Villaseñor et al., 1990; Suárez, 2006). Estos trabajos muestran

Idealmente la validación estadística de los modelos debe abarcar el ciento por ciento de las especies, sin embargo la razón por la cual solo se aplicó el estadístico kappa en tres especies, es mostrar de forma objetiva la confiabilidad de los juegos de datos que tenemos contenidos en la base de datos, lo que nos permitió reconocer aspectos básicos para dicho análisis, primero se reconoció la importancia de la selección de los juegos de datos (con el que se modela y con el que valida), puesto que en ambos debe estar representada tanto la distribución geográfica de la especie, así como la variación ambiental en la que se encuentra, segunda el incremento en el número de registros no necesariamente esta relacionada el incremento en la precisión de los modelos. Por lo tanto no es tan importante el incrementar el número de registros, a menos que estos complementen información sobre la distribución geográfica de las especies en cuestión.

7. DISCUSIÓN

La regionalización a nivel del país ha sido una de las fuentes de datos y herramientas que ha permitido lograr un entendimiento razonable de cómo las características físicas de este han sido uno de los elementos que ha modelado la distribución de su diversidad biológica (Morrone, 2005, 2006). Estas regionalizaciones que de ninguna manera han sido logradas fácilmente, encuentran sus límites en unidades discretas (FVT, SMS, SMO, etc.), situación que se vuelve más compleja cuando se pretende entender las áreas y patrones de distribución de algunos elementos de la diversidad biológica a escala más detalladas. Este es el caso del Valle de Tehuacán, una provincia florística que ha sido caracterizada por sus muy particulares condiciones ambientales y su riqueza biológica, y su nivel de endemismo (Dávila, 1993; Rzedowski, 1978), sin embargo, hasta el momento no se ha propuesto una caracterización en unidades discretas para dicha zona. Sin embargo, es importante notar que estudios previos han documentado las relaciones del Valle de Tehuacan-Cuicatlán con otras áreas o regiones del país (Villaseñor et al., 1990; Suárez, 2006). Estos trabajos muestran

que sus relaciones son diversas al compartir componentes florísticos con provincias ambientales y florísticamente diferentes, lo que de forma evidente muestra que el VTC también se encuentra constituido por unidades naturales diversas y discretas que albergan tales contingentes ambientales y florísticos distintos.

La regionalización climática y florística definida para la RBTC ha permitido delimitar y discriminar entre las distintas unidades naturales que conforman este valle. Los patrones climáticos, la variada topografía y los patrones de diversos grupos de especies de árboles muestran claramente las unidades que componen el valle. Entre las unidades más evidentes están la sierra de Tecamachalco, los valles de Tehuacán, Cuicatlán y Zapotitlán, así como la cuenca del río Hondo, y las sierra Monteflor y Santa María Ixcatlán. Esta regionalización coincide de forma general con otros estudios, en donde se relaciona la distribución de la vegetación con algunos factores ambientales y físicos, tales como el clima, la topografía y la geomorfología (Ochoa, 2001), sin embargo solo consideran la cartografía disponible que normalmente es a escalas pequeñas y por lo tanto útil solo para estudios muy generales.

Este conocimiento detallado obtenido de la distribución geográfica de todas las especies de árboles analizadas con relación a la distribución del clima, representa una fuente de datos muy valiosa. Por un lado, ha permitido definir aquellas áreas en donde grupos de numerosas especies confluyen, así como los parámetros climáticos que las caracterizan.

Los modelos de nicho ecológico o de distribución potencial generados con el método de modelaje bioclimático han permitido una primera aproximación a los límites de distribución de las especies, sin dejar de considerar que otros factores ambientales, históricos e interacciones biológicas son también importantes y tienen influencia en la distribución actual de las especies (Pearce y Lindenmayer, 1998; Rapoport y Monjeau, 1994). Sin embargo, nos ofrecen una aproximación al

reconocimiento del nicho climático de las especies (Sánchez-Cordero et al. 2001; Pearson y Dawson, 2003) y como lo sugieren algunos autores, los modelos predictivos del hábitat pueden ser considerados como una base en la planeación y manejo de los recursos (Robertson et al. 2003; Guisan y Zimmerman, 2000), así como un sustento para la selección de áreas potencialmente importantes para la reintroducción de especies (Pearce and Lindenmayer, 1998; Rosas, 2004) o incluso para el manejo de plantaciones como el caso ilustrado por Richardson y McMahon (1992), quienes utilizan el programa BIOCLIM para correr los perfiles climáticos de cuatro especies de eucaliptos en su estado natural en el sureste de Australia y para áreas en Australia y Sudáfrica donde las especies tienen un buen desarrollo en plantaciones.

La generación de modelos a partir de registros de colecta o de observación, tiene la limitante de las bases de datos contenidas en los inventarios biológicos, como el conocido síndrome del colector y el sesgo hacia los grupos más conocidos (Toledo, 1998; Miller, 1994; Llorente et al. 1994). Ante esta situación, la inclusión de registros que representen los intervalos ambientales donde las especies crecen, ha funcionado adecuadamente (Téllez y Dávila, 2003).

Desafortunadamente, y debido a la carencia de información actualizada de la distribución de los tipos de vegetación y los cambios en el uso del suelo, los archivos de la zona empleados muestran de una forma general la distribución de las grandes unidades de vegetación, como lo muestran los modelos de distribución potencial de los subgrupos que se han descrito y que se sobrelaparon con las cartas de vegetación de INEGI, lo que sugiere una mejor delimitación del área de distribución de grupos de especies particulares y de esta manera podemos proponer el uso de especies para reintroducir o para reforestar, con base al criterio de las comunidades originales. Cabe mencionar, que los mismos análisis se hacen con los demás grupos obtenidos en este estudio, solo resaltando una mayor complejidad en los grupos D y E, debido a la presencia de especies con una amplia distribución.

Por otro lado, un problema de conservación es elegir entre un conjunto de áreas cuál o cuáles de ellas son prioritarias para tal fin. La utilización de métodos científicamente aceptados, que consideren factores ambientales, biológicos e históricos, pueden ser gran utilidad en la toma de decisiones de esta índole, sin embargo, pueden resultar decisiones excluyentes si no consideran además al factor antropogénico, por el simple hecho de que los sitios que se encuentran alterados y también los conservados tienen influencia antropogénica de algún tipo.

Por ejemplo, en la zona de estudio resalta que los principales tipos de vegetación dañados son las zonas de bosques templados y partes de los bosques tropicales caducifolios. De esta manera, las especies de estas comunidades que presenten mejores características y potencialidades de uso pueden sugerirse para utilizarse en los programas de reforestación.

En este estudio las especies de interés fueron árboles nativos, seleccionados por la importancia ecológica y antropogénica que presentan para futuros proyectos de restauración (Vázquez y Batis, 1996). Se ha generado información valiosa para futuros proyectos de reforestación con especies nativas al conocer las condiciones climáticas propicias para que se desarrollen, así como, la estructura de las asociaciones vegetales reconocidas para el área de estudio y el área de mayor influencia antropogénica.

No obstante, que parte de los resultados eran esperados, los modelos de grupos de especies se corresponden muy razonablemente con los tipos de vegetación a los que pertenecen tales especies. Ejemplos claros están representados por la distribución de muchos de los grupos, los cuales pertenecen a ambientes templados como los que se presentan en la Sierra de Tepelmeme, la Sierra de Ixcatlán y la Sierra de Nochixtlán, las cuales coinciden con los MDP de los grupos A y B que representan principalmente a los bosques de encino, así como la Sierra de Monteflor al ser representante de los bosques de pino-encino, esto tomando en

cuenta también los límites políticos de la reserva puesto que son los sitio que tiene mayor área dentro de los límites de la RBTC, por otro lado, la parte sur de la Sierra de Zongolica y la Sierra de Juárez a pesar de tener la menor parte en cuanto a extensión dentro de la RBTC, son también importantes a considerar puesto que no solo tienen bosque de encino-pino, sino que también es el único sitio dentro de la reserva donde hay una pequeña parte con Bosque Mesófilo. Para estas áreas antes descritas se podrían tomar en cuenta alguna o algunas de las especies de los grupos C y G para utilizarlas en proyectos de remediación de suelos por ejemplo o reforestación, principalmente en las altitudes más bajas de las áreas, por supuesto, además de las especies de los grupos representativos.

Del mismo modo encontramos que estudios previos de vegetación dentro del área de estudio, nos ayuda a entender algunos patrones de distribución encontrados con el análisis bioclimático, tal es el caso de los grupos D y E, los cuales están formados por especies que se reconocen como características del Bosque Tropical Caducifolio, sin embargo, se ha documentado que la perturbación de este tipo de vegetación puede llevar a un incremento de elementos espinosos, lo que se entiende como una respuesta del ambiente a condiciones de mayor sequía, principalmente por el incremento de la insolación al disminuir la cubierta arbórea que detenga o refleje los rayos solares (Jaramillo y González, 1983). De esta manera, el encontrar elementos de amplia distribución y que le den un intervalo climático muy amplio, puede también estar influenciado por la perturbación antropogénica, la cual seguramente ha tenido influencia en la distribución de algunas especies que se utilizan en este estudio.

Esta regionalización ha permitido quizá tener un panorama más claro de la distribución total de cada especie y grupo de especies. Más aún, este conocimiento de la distribución geográfica de los parámetros ambientales propicios para que las especies sobrevivan, es el que permitirá proponer sitios adecuados para la restauración por medio de la reforestación.

Así, de la discrepancia entre los modelos de grupos de especies y las cartas digitales topográficas (INEGI, 2000), ha sido posible contrastar las áreas en donde la cubierta vegetal ha sido afectada o completamente sustituida por vías de comunicación, poblados, etc., lo cual permitirá proponer aquellas áreas en donde sería necesario reforestar con las especies propias de cada sitio, y de acuerdo con los requerimientos ambientales de cada una de las especies o de los grupos de especies.

De esta manera, tomando en cuenta la sobreposición de los MDP de los diferentes grupos, se sugiere una zonificación de áreas de convergencia, y por lo tanto de una importante concentración de especies en los siguientes sitios: parte de las Sierras de Tepelmeme, Ixcatlán y Nochixtlán como una sola unidad geográfica y representante de los bosques de encino; Sierras de Zongolica, Juarez e Ixtlán como importantes reservorios de bosques de pino-encino y bosque mesófilo, aunque con la reserva debida al considerar el área tan reducida; Ladera W del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, donde convergen los grupos D y E, representando diferentes variantes de selva baja caducifolia; El Valle de Zapotitlán, donde convergen los grupos E, F, G, y H que se caracteriza por diferentes bosques de cactáceas columnares (muchas de ellas endémicas) y matorrales espinosos; laderas este de la Sierra de Tepelmeme, Ixcatlán, Sierra de Caltepec y la parte más al W de la RBTC, donde se sobreponen parte de los grupos E, F y G, donde principalmente se mezclan por las especies de selva baja que tienen en común; cañadas de la Sierra de Tepelmeme, Sierra de Ixcatlán y partes más altas de Tehuacán, donde se sobreponen los grupos H e I, representando a los Izotales y Palmares y matorrales rosetofilos principalmente; por último la Sierra de Tecamachalco, donde solo se presenta el grupo I, predominando las especies de chaparral y los matorrales rosetofilos

No obstante, que los modelos de nicho ecológico o de distribución potencial aún no son totalmente aceptados debido a la incertidumbre causada por sus errores de omisión y comisión, estos representan una herramienta y fuente de datos como

nunca antes había sido posible manejar; a pesar que se representa la posible distribución potencial, este brinda la posibilidad de generar matrices de datos que permiten múltiples análisis, pero sobre todo permiten correlacionar la distribución de las especies y grupos de especies con diversos parámetros ambientales que explican su posible presencia en un determinado sitio, y en consecuencia su ausencia en otros.

Los modelos en este estudio fueron validados por medio de la aplicación de la prueba de Kappa; éstos demostraron que conforme decrece el número de registros, estos son menos precisos y menos robustos. Es importante considerar que en muchos casos, sobre todo con especies endémicas restringidas, el número de registros en la mayoría de los casos será muy reducido, con lo cual se predice que los modelos no serán confiables. Sin embargo, en este estudio fueron incorporadas diversas especies con un reducido número de registros y sus modelos fueron generados con una importante coincidencia con los registros conocidos y de acuerdo con la distribución esperada, por lo que en este estudio se consideraron robustos para los fines y objetivos del mismo.

Finalmente, el uso de las coberturas climáticas, la posibilidad de definir de unidades naturales basadas en la conjunción de datos de la distribución de grupos de especies de árboles y de los factores climáticos que las caracterizan han representado una herramienta clave para generar un conocimiento más detallado florístico de esta importante zona del país. Así mismo se considera que los conceptos, métodos y herramientas empleados brindarán una oportunidad invaluable para la elaboración de propuestas y estrategias que permitan sugerir acciones tendientes a restaurar aquellas áreas en donde es urgente recuperar la cubierta vegetal.

8. CONCLUSIONES

Los MDP obtenidos hasta este momento pueden ser considerados como ilustrativos y confiables de una regionalización biogeográfica basada en las condiciones climáticas que imperan en la RBTC, sin embargo, para un análisis más detallado, se necesita la inclusión de los nuevos registros que se hayan tomado hasta la fecha y la revisión de algunos errores que puede tener todavía la base de datos, principalmente de georeferenciación, tal y como lo muestra el ejemplo de *Quercus rugosa* que se incluye en el grupo C, donde al parecer un mal registro nos puede dar un patrón de similitud distinto y una sobrestimación importante.

De esta manera, si consideramos que una adecuada conservación de la biodiversidad depende principalmente de la efectividad con la cual su protección *in situ* puede ser diseñada y mantenida, se considera de suma importancia el conocimiento de los patrones regionales de biodiversidad, aunque estos resultan ejercicios intensos y demasiado costosos, de manera que estudios como este pueden representar un método que permite inferir en un tiempo relativamente corto y a bajo costo la diversidad biológica presente en un área.

Por ultimo, otro factor que no se puede excluir de este estudio cuando menos en el área de influencia conocida, es el antropogénico. Por principio de cuentas el decretos de la RBTC trato de excluir (en el ámbito geográfico) a las áreas más pobladas, sin embargo, como lo muestran los mapas, la reserva tiene un gran número de poblados de diferentes tamaños, por lo que este factor no se debe excluir sino más bien incluir, bajo el principio básico de considerar al ser humano como el principal factor de alteración del medio ambiente pero también, como un factor decisivo para el manejo adecuado de los recursos naturales.

ANEXO 1

PERFILES BIOCLIMATICOS (GRUPOS)

GRUPO A													
PARAMETER	MIN	2.5	5	10	25	50	75	90	95	97.5	MAX	MEAN	S.D.
1	12.5	12.9	13	13.1	13.6	13.9	15	15.7	16	16.1	16.1	14.2	0.93
2	10.7	10.9	11	11.2	11.5	11.8	12.5	12.8	12.9	13.1	13.5	11.9	0.62
3	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69	0.71	0.66	0.01
4	0.39	0.45	0.45	0.46	0.48	0.5	0.54	0.57	0.58	0.58	0.58	0.51	0.04
5	21.2	21.9	22	22.2	23	23.5	25.4	26.3	26.7	26.8	26.9	24	1.49
6	5.4	5.6	5.6	5.7	5.8	5.9	6.2	6.4	6.5	6.5	6.5	6	0.24
7	15.7	16.1	16.3	16.4	17	17.6	19.2	19.9	20.1	20.3	20.7	18	1.28
8	12.3	12.6	12.8	13	13.4	13.9	15.1	15.8	16	16.2	16.3	14.2	1.03
9	12.4	12.8	12.8	13	13.4	13.6	14.4	15.2	15.4	15.5	15.5	13.9	0.8
10	14.4	14.8	14.9	15.1	15.6	16	17.2	18	18.3	18.4	18.5	16.3	1.05
11	11.3	11.6	11.6	11.7	12	12.4	13.1	13.6	13.7	13.8	14.1	12.5	0.7
12	649	817	855	910	990	1138	1238	1346	1382	1401	1485	1124	161.93
13	34	41	42	44	48	57	61	66	68	69	72	55	7.85
15	86	87	87	87	87	88	89	91	91	92	93	88	1.48
16	344	438	487	504	545	624	678	726	746	756	802	610	85.98
17	0	27	28	30	35	44	52	57	59	60	67	43	10.12
18	126	128	129	132	148	168	180	194	198	200	234	165	21.51
19	27	44	47	53	63	72	85	92	94	95	112	72	14.69
GRUPO B.1													
1	12	12.6	13	13.2	13.9	15	15.9	16.7	17.4	18.1	21.8	15.1	1.38
2	10.3	10.9	11.1	11.4	11.8	12.6	13.1	13.8	14.4	14.8	15.6	12.5	0.93
3	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.66	0.67	0.68	0.68	0.7	0.71	0.66	0.02
4	0.4	0.44	0.45	0.46	0.5	0.54	0.58	0.6	0.61	0.63	0.7	0.53	0.05
5	20.3	21.7	22	22.6	23.8	25.4	26.7	27.6	27.9	28.9	33	25.2	1.96
6	4.4	5.4	5.6	5.6	5.8	6.1	6.5	6.7	6.8	7.3	10.4	6.2	0.59
7	15	15.9	16.2	16.7	17.6	19.4	20.3	21.1	21.6	21.9	22.7	19.1	1.61
8	11.8	12.3	12.8	13.1	13.8	15.3	16	17.1	18.1	19.5	22.6	15.2	1.62
9	11.9	12.8	12.9	13	13.6	14.3	15.1	15.6	15.8	15.9	19.9	14.4	1.05
10	13.7	14.8	15	15.3	16.1	17.3	18.3	19	19.7	20.4	24.2	17.2	1.46
11	10.8	11.2	11.6	11.8	12.3	13.3	13.9	14.6	15.1	15.6	18.9	13.2	1.1
12	546	586	625	682	790	965	1155	1284	1347	1440	1714	970	224.76
13	31	34	36	37	39	47	57	63	67	70	81	49	9.81
15	84	87	87	87	88	89	93	97	97	98	98	91	3.41
16	287	310	332	396	445	522	621	701	736	779	915	529	119.75
17	0	1	2	4	26	33	44	53	58	62	84	31	19.07
18	121	123	124	127	139	157	180	200	216	231	247	161	27.18
19	15	18	21	27	37	62	74	86	92	96	132	56	22.53
GRUPO B.2													
1	12	12.3	13.7	14.8	15.6	16.1	16.7	17.1	17.3	17.3	17.3	15.8	1.13
2	10.3	10.6	11.3	12.6	12.8	13.3	13.7	14.2	14.7	14.8	14.8	13.1	0.88
3	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63	0.64	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.65	0.02
4	0.4	0.41	0.42	0.46	0.54	0.6	0.62	0.63	0.63	0.63	0.63	0.57	0.07
5	20.4	20.9	22.1	25.1	25.9	26.6	27.3	27.9	28.1	28.1	28.1	26.3	1.76
6	5.3	5.4	5.4	5.5	5.8	6.1	6.5	6.8	6.8	6.8	6.8	6.1	0.41
7	15	15.4	15.8	19.2	20.3	20.6	20.9	21.5	21.6	21.6	21.6	20.2	1.53
8	11.8	12.2	13.3	15.3	15.9	16.4	17	18.2	18.5	18.5	18.5	16.3	1.32
9	12	12.2	13.2	13.6	14.1	14.4	15	15.5	15.8	15.8	15.8	14.4	0.8
10	13.8	14.1	15	16.8	17.7	18.4	18.8	19.2	19.3	19.3	19.3	18	1.28
11	10.9	11.1	12.2	13.1	13.5	13.7	14.3	14.9	15.1	15.1	15.1	13.7	0.89
12	494	517	541	587	634	681	727	1264	1637	1660	1660	732	245.63
13	29	30	30	31	33	36	39	63	80	80	80	38	10.78
15	85	85	85	89	91	94	96	98	98	98	98	93	3.54
16	257	270	283	308	334	361	405	674	876	889	889	397	132.22
17	0	0	1	1	3	5	8	61	79	80	80	10	21.33
18	117	122	135	140	152	170	184	203	205	205	205	166	22.43
19	15	16	17	18	23	31	38	76	145	148	148	35	27.53
GRUPO C.1													
1	14.1	14.3	14.5	14.8	17.8	19.1	21.3	22.6	22.9	23	23	19.2	2.57
2	11.7	11.8	11.8	11.9	12.2	13.8	14.4	14.8	15	15	15	13.4	1.13
3	0.62	0.62	0.62	0.62	0.63	0.63	0.65	0.68	0.68	0.68	0.68	0.64	0.02
4	0.45	0.46	0.47	0.48	0.61	0.65	0.7	0.73	0.74	0.75	0.75	0.64	0.08
5	23.3	23.6	23.8	24.3	27.7	30.5	33	34.3	34.7	34.8	34.8	29.9	3.35

6	6	6.1	6.2	6.4	8	9	10.4	11.2	11.4	11.5	11.5	8.9	1.67
7	17.4	17.5	17.6	17.9	19.6	21.8	22.7	23.2	23.3	23.3	23.3	21	1.92
8	14.3	14.5	14.7	15.1	18.3	19.8	22	23.7	23.9	23.9	23.9	19.8	2.74
9	13.9	14.1	14.3	14.6	16.9	18	20	21.3	21.5	21.5	21.5	18	2.29
10	15.8	16.1	16.3	16.7	20	21.6	23.9	25.6	25.8	25.8	25.8	21.5	2.85
11	12.4	12.6	12.8	13.1	15.2	16.7	18.5	19.8	20	20	20	16.7	2.21
12	518	536	555	591	668	861	1208	1302	1339	1354	1354	900	270.73
13	30	31	31	32	34	44	62	69	71	71	71	47	13.9
15	88	88	88	89	92	94	95	96	100	100	100	93	2.96
16	256	278	300	331	388	490	679	759	759	759	759	508	155.97
17	0	1	2	3	26	34	45	61	61	61	61	32	19.33
18	127	133	140	152	166	202	217	246	262	267	267	193	34.37
19	14	15	17	21	34	48	72	95	99	100	100	53	25.71
GRUPO C.2													
1	12	12.2	12.4	12.7	13.4	14.1	15	23.3	24	24	24	14.6	2.81
2	10.3	10.5	10.6	10.8	11.3	11.9	12.6	15.7	16	16	16	12	1.38
3	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.67	0.01
4	0.4	0.41	0.41	0.42	0.45	0.49	0.53	0.77	0.77	0.77	0.77	0.5	0.08
5	20.4	20.6	20.8	21.2	22.4	23.9	25.7	36.2	36.2	36.2	36.2	24.2	3.66
6	5.4	5.4	5.4	5.5	5.7	6	6.4	11.1	11.4	11.4	11.4	6.3	1.46
7	15	15.2	15.4	15.8	16.5	17.9	18.9	24.8	24.8	24.8	24.8	17.9	2.31
8	11.8	12	12.2	12.5	13.3	14.1	16.3	24.4	25.2	25.2	25.2	14.7	3.18
9	12	12.1	12.3	12.5	13.1	13.9	14.5	20.9	21.4	21.4	21.4	14	2.18
10	13.8	14	14.1	14.5	15.4	16.4	17.2	25.9	26.7	26.7	26.7	16.6	2.99
11	10.9	11	11.1	11.3	11.9	12.4	13.2	20.8	20.8	20.8	20.8	12.9	2.33
12	489	536	583	677	987	1133	1309	1590	1660	1660	1660	1117	308.46
13	27	30	32	36	50	56	67	80	80	80	80	56	13.69
15	85	85	85	86	87	88	89	99	100	100	100	88	3.53
16	282	306	331	361	540	616	707	853	889	889	889	605	164.81
17	0	3	6	26	36	48	56	75	80	80	80	45	18.7
18	151	153	155	159	165	182	192	240	245	245	245	180	22.37
19	13	19	24	31	56	67	91	140	148	148	148	73	35.29
GRUPO D													
1	16.5	18.8	19.5	20.6	23.1	24.4	25	25.3	25.4	25.5	25.5	23.7	1.82
2	12.9	13.7	13.8	13.9	14.2	14.8	15.8	16.3	16.6	16.9	17.3	15	0.89
3	0.59	0.6	0.6	0.61	0.62	0.63	0.65	0.66	0.67	0.67	0.69	0.63	0.02
4	0.57	0.63	0.64	0.66	0.73	0.8	0.82	0.84	0.84	0.85	0.85	0.77	0.07
5	27.6	29.9	30.6	31.7	35.2	36.2	36.9	37.3	37.4	37.5	37.5	35.5	2.1
6	6.2	8.2	8.8	9.4	10.9	12	13.1	13.6	13.7	13.8	13.8	11.7	1.57
7	20.3	21.3	22.1	22.6	23	23.7	24.6	25	25.5	25.8	26.2	23.8	1.02
8	16.9	19.6	20.6	21.6	24	25.6	26	26.3	26.4	26.4	26.4	24.8	1.98
9	14.7	16.9	17.6	18.7	20.7	21.9	22.3	22.6	22.7	22.7	22.7	21.3	1.56
10	18.8	21.2	21.9	22.9	25.6	27.2	28.1	28.5	28.7	28.7	28.8	26.5	2.05
11	14.3	16.3	16.9	17.9	20.1	21.1	21.7	22	22.1	22.2	22.2	20.5	1.53
12	365	389	412	437	467	529	644	786	844	952	1023	571	132.73
13	22	23	24	25	26	29	33	40	44	49	52	30	6.2
15	91	92	93	94	96	98	100	102	103	103	105	98	2.83
16	202	214	225	242	264	303	365	440	473	534	574	323	75.25
17	0	0	0	1	1	3	4	29	34	38	44	5	11.69
18	113	115	118	123	136	160	189	227	242	258	289	167	38.17
19	9	10	10	12	15	18	24	35	39	49	60	21	9.27
GRUPO E.1													
1	15	15.9	16.5	17.4	20.6	23.5	24.5	25.2	25.4	25.5	25.5	22.3	2.91
2	11.8	12.3	12.6	13.3	14.2	14.9	16	16.5	16.7	16.8	16.9	14.9	1.22
3	0.59	0.59	0.6	0.6	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.72	0.64	0.02
4	0.46	0.52	0.58	0.61	0.67	0.75	0.8	0.84	0.85	0.86	0.86	0.73	0.09
5	25.1	26	26.7	27.8	31.8	35.5	36.7	37.2	37.4	37.5	37.5	34	3.55
6	5.5	5.9	6.3	7.2	9.3	11	12.1	13.3	13.7	13.8	13.9	10.6	2.17
7	18.7	19.1	19.4	20.6	22.5	23.6	24.7	25.4	25.7	25.8	25.8	23.4	1.74
8	15.2	16.2	16.8	18.1	21.4	24.5	25.7	26.2	26.4	26.4	26.5	23.3	3.08
9	13.9	14.4	14.8	15.6	18.5	21.2	22	22.4	22.6	22.6	22.7	20.1	2.56
10	17.1	17.8	18.5	19.6	23.1	26.1	27.5	28.3	28.6	28.7	28.8	24.9	3.2
11	13.1	13.8	14.2	14.8	17.9	20.5	21.2	21.8	22	22.2	22.2	19.3	2.51
12	320	340	361	402	453	534	654	872	962	1023	1203	574	175.32
13	20	21	21	22	25	29	35	43	48	53	61	31	7.88

15	88	90	91	92	95	99	102	104	106	107	108	98	4.23
16	174	188	201	226	257	302	369	487	526	580	685	321	99.02
17	0	0	0	1	1	3	4	33	41	43	48	7	13.68
18	108	111	114	120	136	156	189	225	249	268	295	165	39.78
19	6	6	7	8	12	17	28	44	52	61	68	22	13.46
GRUPO E.2													
1	15.6	16.4	17	17.8	19.1	20.4	23.2	24.6	25	25.2	26.3	20.9	2.51
2	11.7	13.1	13.6	14	14.3	14.7	15.1	16	16.4	16.6	17.3	14.8	0.82
3	0.6	0.61	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67	0.69	0.65	0.02
4	0.5	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.73	0.81	0.83	0.84	0.85	0.68	0.07
5	26.3	27	27.6	28.6	30	31.4	35.2	36.7	37	37.1	37.3	32.2	3
6	5.2	6.3	6.6	7	7.9	9	11.1	12.5	13.5	14	16.6	9.4	2.06
7	18.5	20.1	20.7	21.4	22.1	22.7	23.7	24.5	24.9	25.3	25.8	22.8	1.25
8	16.1	17.5	18.2	18.9	20.3	21.4	24.2	26.2	26.8	27.1	27.3	22.1	2.5
9	14	14.5	15	15.5	16.7	17.9	21	22	22.4	22.9	24.3	18.6	2.44
10	17.8	18.5	19.1	20	21.3	22.7	25.8	27.6	28.1	28.3	28.5	23.3	2.78
11	13.6	14.3	14.8	15.4	16.4	17.6	20.2	21.4	21.8	22	24.3	18.1	2.22
12	320	410	416	430	471	530	582	698	782	855	1216	546	107.65
13	20	24	25	25	28	30	33	38	42	44	62	31	4.95
15	89	91	92	94	96	98	100	102	103	104	116	98	3.1
16	175	204	227	232	245	268	318	402	442	477	692	292	67.62
17	0	0	0	1	1	3	4	5	30	33	50	3	8.7
18	108	125	129	137	157	177	196	217	231	240	270	177	28.54
19	4	8	11	11	13	15	18	29	37	46	70	18	8.9
GRUPO E.3													
1	17.6	17.7	17.8	18.1	18.8	19.6	20.8	23.4	23.8	23.9	23.9	19.9	1.73
2	12.4	13.4	13.6	14.1	14.5	14.9	15.3	16.5	16.8	17	17	15	0.92
3	0.63	0.63	0.63	0.64	0.66	0.66	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68	0.66	0.01
4	0.6	0.61	0.62	0.62	0.63	0.65	0.66	0.72	0.75	0.75	0.75	0.65	0.03
5	28.2	28.5	28.9	29.2	29.8	30.6	32	35.8	36.5	36.7	36.7	31.2	2.2
6	5.4	5.8	6.3	7.2	7.6	8.2	9.4	10.7	11.3	11.5	11.5	8.4	1.32
7	19.7	21	21.2	21.6	22.2	22.6	23.2	25	25.6	25.8	25.8	22.8	1.18
8	18.1	18.6	19	19.6	20	20.9	21.9	24.4	25	25.1	25.1	21.2	1.63
9	14.9	15.1	15.2	15.6	16.5	17.2	18.7	21.1	21.6	21.8	21.8	17.6	1.78
10	19.8	20	20.1	20.3	20.9	21.9	23.1	25.9	26.4	26.6	26.6	22.2	1.86
11	14.9	15.1	15.3	15.6	16.2	16.8	17.9	20.3	20.7	20.8	20.8	17.3	1.6
12	337	359	381	442	495	521	546	687	822	855	861	530	98.5
13	21	22	23	26	30	31	34	39	41	42	42	31	4.45
15	90	92	92	95	96	98	100	103	104	106	106	98	3.2
16	189	201	214	227	251	265	285	366	470	485	485	278	60.7
17	0	0	0	0	1	2	2	3	28	30	30	2	7.47
18	112	117	122	132	168	189	206	221	229	233	233	183	31.01
19	6	7	8	9	11	13	17	27	43	47	48	16	8.61
GRUPO E.4													
1	15	15.2	15.3	15.5	19.3	22.6	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	20.7	4.33
2	12.6	12.6	12.6	12.7	13.8	14	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	13.7	0.81
3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.63	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.63	0.02
4	0.56	0.56	0.57	0.57	0.65	0.73	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.11
5	25.5	25.6	25.8	26.1	30.3	34	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	31.9	4.89
6	6	6.1	6.2	6.4	9.2	10.9	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	10	3.18
7	19.5	19.5	19.6	19.6	21.4	22.9	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	21.9	1.75
8	15.2	15.4	15.5	15.8	19.9	23.6	26.1	26.3	26.3	26.3	26.3	21.3	4.74
9	14.1	14.2	14.3	14.5	18.5	21.2	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	19.1	3.67
10	17.3	17.4	17.6	17.9	21.9	25.5	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	23.3	4.65
11	13.1	13.2	13.3	13.5	16.8	19.6	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	18	3.72
12	656	657	658	660	667	682	831	831	831	831	831	709	81.82
13	34	34	34	35	35	35	41	41	41	41	41	36	3.4
15	90	90	90	90	93	95	95	95	95	95	95	94	2.38
16	374	375	375	376	379	386	450	452	452	452	452	399	36.07
17	0	0	0	1	2	26	28	28	28	28	28	14	15.92
18	129	130	131	133	138	155	200	202	202	202	202	156	32.65
19	28	28	28	28	33	39	45	45	45	45	45	36	7.3
GRUPO F.1													
1	15	15.4	15.9	16.3	17.2	18.4	19.6	22.1	23.9	25.1	26.3	18.7	2.27

2	12.5	12.9	13.3	13.6	14	14.4	14.9	15.8	16.1	16.3	16.6	14.5	0.8
3	0.6	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.7	0.71	0.66	0.02
4	0.48	0.5	0.52	0.55	0.59	0.62	0.65	0.68	0.76	0.81	0.83	0.62	0.06
5	25.2	25.8	26.3	26.9	28	29.3	31	33.3	36.1	36.7	37.2	29.7	2.55
6	3.6	5	5.2	5.6	6.5	7.5	8.6	10.3	12.2	13.3	16.6	7.7	1.96
7	18.5	19.7	20.1	20.4	21.4	22	22.7	23.4	24	24.7	25.6	22	1.11
8	15.5	16	16.6	17.1	18.3	19.6	20.9	23.1	24.8	26.6	27.3	19.9	2.3
9	12.7	13.8	14	14.2	14.8	16.1	17.4	19.8	21.7	22.5	24.3	16.5	2.21
10	16.9	17.4	17.8	18.3	19.3	20.6	22	24.3	26.9	27.8	28.4	21	2.44
11	12.7	13.2	13.7	14	14.8	15.8	17.1	19.2	21	21.6	24.3	16.2	2.06
12	361	428	439	461	498	535	616	695	727	764	972	561	84.15
13	23	25	26	27	30	32	35	38	39	43	50	32	4
15	85	87	91	91	93	96	98	100	102	103	116	96	3.81
16	186	225	228	235	256	282	330	371	400	425	553	294	53.06
17	0	0	0	0	1	2	3	4	25	31	40	2	6.9
18	113	125	131	142	177	198	214	233	242	246	249	192	31.03
19	4	9	10	11	14	17	21	27	32	37	53	18	6.54
GRUPO F.2													
1	13.6	15.6	16.1	16.8	17.6	18.5	19.9	22.3	22.9	23.5	23.9	18.7	1.93
2	11.2	12.1	12.6	13.3	13.8	14.4	14.8	15.3	15.7	16	16.4	14.3	0.86
3	0.62	0.63	0.63	0.63	0.64	0.66	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.65	0.02
4	0.4	0.54	0.55	0.57	0.6	0.63	0.65	0.7	0.73	0.75	0.76	0.63	0.05
5	22.2	25.9	26.7	27.2	28.3	29.2	31.2	34.1	34.9	35.4	36.7	29.7	2.4
6	5.2	5.5	5.9	6.2	7	7.5	8.6	10.6	11.1	11.5	11.6	7.9	1.54
7	16.2	18.8	19.9	20.3	21.2	22.1	22.8	23.2	23.4	24.4	25.2	21.8	1.24
8	13.9	15.9	17.2	17.7	18.6	19.6	21.1	23.2	23.9	24.7	24.9	19.8	1.96
9	13.1	14	14.2	14.5	15.3	16.2	17.7	20.9	21.5	21.8	21.9	16.8	2.07
10	15.2	17.4	18.2	18.9	19.7	20.6	22.2	24.9	25.5	26.2	26.7	21	2.12
11	12.2	13.4	14	14.3	15	15.9	17.3	19.4	19.9	20.5	20.8	16.2	1.71
12	469	474	479	489	520	582	693	839	1046	1174	1393	628	162.26
13	27	27	28	29	31	34	38	42	54	62	70	35	6.89
15	83	86	89	91	93	96	98	100	101	101	101	95	3.66
16	235	238	241	247	266	308	377	446	617	690	762	336	100.1
17	0	0	0	1	2	4	7	35	41	50	69	8	15.69
18	137	140	143	148	174	198	213	235	248	260	267	195	29.78
19	11	12	12	13	15	19	29	52	65	74	112	25	17.13
GRUPO G													
1	14.1	14.8	15.4	16.3	17.3	19.1	22.3	24.5	24.9	25.1	25.3	19.7	3.05
2	10.9	11.7	11.9	12.5	13.9	14.5	15.2	16.2	16.4	16.7	17	14.4	1.23
3	0.6	0.6	0.61	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.7	0.71	0.71	0.65	0.02
4	0.45	0.48	0.5	0.54	0.58	0.63	0.72	0.81	0.83	0.84	0.85	0.65	0.1
5	23.3	24.3	25.8	26.7	28.2	30	33.9	36.5	36.9	37.1	37.3	30.8	3.66
6	4.4	4.8	5.2	5.7	6.9	7.9	10.8	12.5	13.1	13.3	13.5	8.7	2.41
7	17.4	17.9	18.4	19.6	21.4	22.4	23.3	24.1	25	25.5	25.9	22.1	1.79
8	14.3	15	15.8	17	18.3	20.1	23.1	25.6	26.1	26.3	26.5	20.7	3.18
9	13.3	13.7	14	14.4	15.4	16.9	20.6	22	22.4	22.5	22.7	17.8	2.78
10	15.8	16.7	17.4	18.4	19.4	21.4	25	27.4	28	28.2	28.4	22.1	3.38
11	12.4	13	13.5	14.1	15.1	16.6	19.4	21.2	21.6	21.8	21.9	17.1	2.62
12	320	337	355	391	497	606	720	1082	1299	1418	2240	669	262.5
13	20	21	22	25	30	34	41	55	64	69	106	37	12.41
15	81	87	89	91	94	96	99	101	102	104	107	96	4
16	177	184	192	207	251	319	389	596	727	767	1191	365	149.42
17	0	0	1	2	4	9	13	42	55	65	138	10	21.11
18	103	108	113	123	154	189	226	255	264	288	652	191	55.92
19	6	7	7	8	12	19	33	63	97	109	161	28	23.69
GRUPO H.1													
1	15.7	15.9	16.1	16.5	17.6	18.5	19.2	19.8	20.1	20.3	20.3	18.3	1.16
2	12.6	12.8	13.4	13.5	14.1	14.7	15.5	16	16.2	16.5	16.5	14.7	0.9
3	0.63	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.71	0.71	0.71	0.67	0.02
4	0.49	0.5	0.51	0.55	0.56	0.6	0.63	0.64	0.64	0.66	0.66	0.59	0.04
5	26	26.3	26.5	27.4	28.6	29.5	30	31	31.5	31.8	31.8	29.2	1.32
6	5	5.2	5.4	5.7	6.5	7.4	7.8	8.9	9	9.1	9.1	7.2	1.07
7	19.9	20.2	20.4	20.5	21.4	22.1	22.7	23.2	23.8	24.1	24.1	22	0.98
8	16.3	16.5	16.7	17.4	18.9	19.8	20.5	21	21.2	21.3	21.3	19.5	1.32
9	14	14.2	14.3	14.7	15.4	16.2	17	17.5	17.8	17.9	17.9	16.1	1.05

10	17.7	17.9	18.1	18.7	19.7	20.6	21.4	22.2	22.5	22.6	22.6	20.4	1.22
11	13.7	13.8	14	14.3	15.3	16	17	17.5	17.8	17.9	17.9	16	1.1
12	440	454	468	479	504	563	648	710	731	745	748	579	87.53
13	28	28	29	30	32	33	38	40	43	44	44	34	3.89
15	88	90	91	93	94	96	99	100	103	104	104	96	3.34
16	228	232	237	245	263	305	349	375	392	410	417	303	49.98
17	0	0	0	0	1	1	2	2	3	26	26	0	3.51
18	145	160	175	182	195	206	226	239	244	256	256	209	22.65
19	11	11	12	12	14	16	21	25	27	35	36	18	4.86
GRUPO H.2													
1	17.2	17.6	18.3	18.7	19.3	19.9	20.2	20.5	20.6	20.7	20.7	19.7	0.75
2	13.5	14	14.3	14.4	14.7	14.8	14.9	15	15	15.1	15.2	14.7	0.24
3	0.64	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67	0.66	0
4	0.58	0.6	0.61	0.63	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	0.64	0.01
5	27.8	28.2	29	29.6	30.3	31	31.3	31.6	31.7	31.7	31.8	30.7	0.83
6	6.7	6.9	7.1	7.5	7.9	8.3	8.8	8.9	9.1	9.2	9.5	8.3	0.56
7	21	21.1	21.6	21.9	22.4	22.6	22.6	22.8	22.8	22.8	22.9	22.4	0.36
8	18.7	18.9	19.5	20.1	20.7	21.2	21.5	21.8	21.8	21.9	21.9	21	0.7
9	14.9	15.3	15.7	16.3	16.8	17.5	17.8	18.1	18.2	18.3	18.3	17.3	0.75
10	19.2	19.7	20.4	20.9	21.4	22.1	22.5	22.6	22.8	22.9	23	21.9	0.78
11	14.9	15.2	15.6	16.1	16.6	17.3	17.6	17.7	17.9	17.9	18	17	0.67
12	440	445	450	460	474	499	520	537	545	558	658	497	31.39
13	27	27	27	28	28	30	32	33	34	36	40	30	2.25
15	94	96	97	97	98	99	100	101	101	102	102	99	1.5
16	221	223	225	229	238	248	261	271	274	292	354	251	17.94
17	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	25	0	1.86
18	156	158	159	163	170	182	194	203	213	220	251	183	16.4
19	11	11	11	11	11	12	14	15	16	17	27	13	1.78
GRUPO H.3													
1	16.1	16.4	16.8	17.1	17.6	18.8	19.6	20.1	20.3	20.4	20.4	18.6	1.17
2	13.6	13.8	13.8	13.8	14.3	14.7	14.9	15.1	15.1	15.1	15.1	14.6	0.4
3	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0
4	0.54	0.58	0.58	0.58	0.61	0.63	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.62	0.03
5	26.5	27.1	27.4	27.7	28.6	29.8	30.7	31.2	31.4	31.5	31.5	29.6	1.33
6	6	6.2	6.3	6.4	6.8	7.7	8.1	8.6	8.8	8.9	8.9	7.5	0.79
7	20.4	20.8	20.9	21	21.7	22.3	22.6	22.7	22.8	22.8	22.8	22.1	0.64
8	17.1	17.9	18.4	18.6	19.1	20.2	21	21.5	21.7	21.8	21.8	20.1	1.13
9	14	14.3	14.5	14.8	15.2	16.4	17.2	17.8	17.9	18	18	16.2	1.14
10	18.1	18.6	18.9	19.1	19.7	21	21.8	22.4	22.5	22.6	22.6	20.8	1.22
11	14	14.2	14.5	14.8	15.1	16.3	17	17.5	17.6	17.7	17.7	16.1	1.03
12	455	462	465	467	473	507	526	537	541	543	544	502	25.86
13	28	28	28	28	30	31	32	33	34	34	34	31	1.75
15	92	93	93	94	96	97	99	100	101	101	101	97	2.03
16	230	233	235	236	245	255	266	272	274	275	275	254	13
18	163	166	169	174	189	197	204	208	212	220	220	195	12.44
19	11	11	12	12	13	14	14	16	17	18	19	14	1.51
GRUPO I.1													
1	14.2	14.8	14.9	15	15.5	16.2	16.9	17.8	18.5	19.3	19.4	16.3	1.07
2	12.4	12.7	12.9	13.2	13.6	14.4	15.5	16.1	16.4	16.6	16.9	14.5	1.11
3	0.62	0.63	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.71	0.71	0.71	0.67	0.02
4	0.41	0.49	0.5	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.65	0.66	0.66	0.58	0.05
5	24.7	25	25.3	25.8	26.3	27	28	28.8	29.4	30.3	30.7	27.2	1.23
6	3.6	3.6	3.7	3.8	4.5	5.9	6.5	7.3	7.6	7.7	7.8	5.6	1.23
7	18.3	19.3	19.6	20	20.5	21.6	22.5	23.2	23.6	23.9	24.3	21.5	1.24
8	14.8	15.4	15.6	15.9	16.4	17.3	18.3	19.3	19.9	20.8	20.9	17.4	1.26
9	12.1	12.6	12.7	12.9	13.7	14.2	14.9	15.8	16.5	16.8	16.9	14.3	1.03
10	16.2	16.8	16.9	17	17.5	18.4	19.1	20.2	20.9	21.4	21.6	18.4	1.16
11	12.1	12.6	12.7	12.8	13.4	13.9	14.7	15.5	16.1	16.7	16.8	14.1	0.98
12	446	452	458	470	504	566	663	726	761	786	876	580	94.11
13	24	25	25	26	28	33	36	38	39	43	45	32	4.51
15	84	84	85	87	89	92	95	97	98	99	99	92	3.83
16	229	231	233	238	251	280	351	379	417	443	471	299	57.53
17	0	0	0	0	1	2	3	4	26	36	38	2	7.94
18	119	136	142	155	181	195	214	236	248	253	253	195	27.34
19	13	13	13	14	16	19	25	30	37	38	39	21	6.26

GRUPO I.2													
1	13.6	14.6	15.1	15.4	16.1	17.1	18.5	19.8	20.4	21	21.3	17.3	1.6
2	11.2	12	12.3	12.5	13.3	14.1	14.8	15.6	16	16.2	16.3	14	1.09
3	0.62	0.63	0.63	0.63	0.65	0.66	0.67	0.69	0.69	0.7	0.7	0.66	0.02
4	0.4	0.48	0.51	0.53	0.56	0.6	0.63	0.64	0.66	0.67	0.7	0.59	0.05
5	22.2	24.8	25.4	25.8	26.7	27.9	29.5	30.7	31.6	32.4	32.9	28.1	1.89
6	3.6	3.8	4.1	5.3	6.1	6.7	7.6	8.4	9.5	9.7	9.8	6.8	1.29
7	16.2	18.4	19.2	19.6	20.3	21.4	22.3	23.1	23.4	23.6	23.7	21.3	1.31
8	13.9	15.2	15.6	16	16.9	18	19.8	20.9	21.4	21.7	21.9	18.3	1.79
9	12.1	12.6	13.3	13.7	14.4	15.3	16.3	17.6	18.8	19.3	19.6	15.4	1.47
10	15.2	16.6	17.1	17.5	18.2	19.4	20.7	21.9	22.7	23.3	23.7	19.5	1.69
11	12.1	12.5	12.9	13.4	13.9	14.9	16	17.1	17.8	18.3	18.6	15	1.42
12	428	439	450	472	533	599	693	859	1002	1217	1393	635	168.6
13	24	26	27	29	31	34	37	46	51	64	70	36	7.52
15	83	85	88	90	93	95	98	100	101	102	103	94	3.94
16	230	233	237	243	262	310	372	468	587	692	762	337	102.53
17	0	0	0	1	2	4	6	30	39	51	69	6	13.87
18	114	128	133	139	162	197	214	235	241	254	275	190	34.21
19	12	13	13	14	16	20	29	44	65	77	112	25	15.83
GRUPO I.3													
1	15.9	15.9	16	16	16.3	16.5	16.8	17	17	17	17	16.5	0.34
2	13	13	13	13.1	13.3	13.4	13.5	13.6	13.6	13.6	13.6	13.3	0.19
3	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0
4	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.6	0.6	0.61	0.61	0.61	0.61	0.59	0.01
5	26.7	26.7	26.8	26.8	27.3	27.5	27.9	28	28	28	28	27.5	0.45
6	6.4	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.5	0.11
7	20.3	20.4	20.4	20.4	20.8	21	21.2	21.4	21.4	21.4	21.4	20.9	0.34
8	16.1	16.1	16.1	16.2	16.6	16.8	17.2	17.3	17.3	17.3	17.3	16.8	0.4
9	15.1	15.1	15.1	15.2	15.3	15.4	15.6	15.8	15.8	15.8	15.8	15.4	0.22
10	18.2	18.3	18.3	18.3	18.7	18.9	19.2	19.3	19.3	19.3	19.3	18.8	0.35
11	13.8	13.9	13.9	13.9	14.2	14.4	14.6	14.7	14.7	14.7	14.7	14.3	0.28
12	745	746	746	747	750	759	789	836	836	836	836	768	30.36
13	40	40	40	40	40	40	40	42	42	42	42	40	0.67
15	93	93	93	93	96	97	97	97	97	97	97	96	1.64
16	426	426	426	427	428	432	440	464	464	464	464	435	12.75
17	0	0	0	0	1	2	3	27	27	27	27	3	9.5
18	121	122	123	124	151	152	153	154	154	154	154	146	13.5
19	31	31	31	32	32	34	39	44	44	44	44	35	4.48

10. BIBLIOGRAFIA

- ❖ Beaumont, L. J. and Hughes, L. 2002. Potential changes in the distributions of latitudinally restricted Australian butterfly species in response to climate change. *Global Change Biology* 8 (10): 954-
- ❖ Brereton, R., Bennet, S. and Manserg, I. 1995. Enhanced greenhouse climate change and its potential effect on selected fauna of southeastern Australia: A trend analysis. *Biological Conservation* 72 (3): 339-354.
- ❖ Cantú, C., Gerald, W. R., Michael S. J., and Strandc, E. 2004. Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation* 115: 411–417.
- ❖ Casas, A., Valiente B, A., Viveros J, L., Caballero J., Certes L., Davila P., Lira R., and Rodriguez I. 2001. Plant resources of the Tehuacan Valley, Mexico. *Economic botany* (55) 1: 129-166.
- ❖ Collinge, S.K. 2001. Spatial ecology and biological conservation. *Biological Conservation* 100 (1): 1-2.
- ❖ CONANP. 2000. Áreas Naturales Protegidas de México. México, D.F. 107 pp.
- ❖ Cunningham, D, C., Anderson, E. R. and Walsh, K. B. 2002. Ecology and biogeography of *Cassia brewsteri*: Assessment of potential sites for cultivation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42 (8): 1071-1080.
- ❖ Dávila, A. P., Villaseñor, J. L., Medina, R., Ramírez, R. A., Salinas, T. A. Sánchez-Ken, J., y Tenorio, L. P. 1993. Listados florísticos de México X. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. México: Instituto de Biología, UNAM.
- ❖ Dimitriadis, S and Cranston, P, S. 2001. An Australian Holocene climate reconstruction using Chironomidae from a tropical volcanic maar lake. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 176 (4): 109-131.

- ❖ Eeley, H. C., Lawes, M. J. and Piper, S. E. 1999. The influence of climate change on the distribution of indigenous forest in KwaZulu-Natal, South Africa. *Journal of Biogeography* 3: 595-617.
- ❖ Espinosa, O. D., Aguilar, Z. C. y Escalante, E. T. 1994. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. En: Llorente B, J. (Ed.) Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teoría, conceptos, métodos y aplicaciones. México. UNAM. Ed. Prensas de ciencias.
- ❖ Fischer, J., Lindenmayer, D. B., Nix, H. A., Stein, J. L. and Stein, J. A. 2001. Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography* 28 (3): 293-304.
- ❖ Flores, H. N., Valiente-Banuet A., Dávila A, P. y Villaseñor J,L. 1999. La vegetación esclerófila perennifolia del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y sus similitudes con la vegetación esclerófila de climas mediterráneos. *Bol. Soc. Bot. México* 64: 41-55.
- ❖ García, O. F. 1986. Estudios ecogeográficos de las comunidades vegetales en Zapotitlán Salinas, estado de Puebla. Tesis licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- ❖ García, Q. D. 1987. Clasificación fisonómica de la vegetación del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- ❖ Godert, W. J. van Lynden and Stephan Mantel. 2001. The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 3 (1):61-68.
- ❖ Guisan, A. and Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model* 135: 147–186.
- ❖ Hochstrasser, T., Kroëel-Dulayw Gy., Petersz D.P.C., and Gosz, J.R. 2001. Vegetation and climate characteristics of arid and semi-arid grasslands in North America and their biome transition zone. *Journal of Arid Environment* 51: 55–78.

- ❖ Holdridge, L. R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. 216 p.
- ❖ Hutchinson, M.F. 1991. The application of thin-plate smoothing splines to continent-wide data assimilation. **In:** Jasper, J.D. (ed.), BMRC Research Report Series, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia, pp. 104-113.
- ❖ Hutchinson, M.F. 1995a. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International Journal of Geographic Information Systems* 9: 385-403.
- ❖ Hutchinson, M.F. 1995b. Stochastic space-time weather models from ground-based data. *Agricultural and Forest Meteorology* 73: 237-264.
- ❖ Hutchinson, M.F. 1997. ANUSPLIN. Version 4.1. User guide, Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra. Australian Capital Territory.
- ❖ Hutchinson, M.F. 1998. Interpolation of rainfall with thin plate smoothing splines: I. Two-dimensional Smoothing of Data with Short Range Correlation. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2: 152—167.
- ❖ Hutchinson, M.F., and P.E. Gessler 1994. Splines – more than just a smooth interpolator. *Geoderma* 62: 45-67.
- ❖ Jackson, S. M. and Claridge, A. 1999. Climatic modelling of the distribution of the mahogany glider (*Petaurus gracilis*), and the squirrel glider (*P. Norfolcensis*). *Australian Journal of Zoology* 47 (1): 47-57.
- ❖ Llorente, B. J., Luna, V. I., Soberón, M. J. Y Bojorquez, T. L. 1994. Biodiversidad, su inventario y conservación: teoría y práctica en la taxonomía alfa contemporánea. En: Llorente B, J. (Ed.) Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teoría, conceptos, métodos y aplicaciones. México. UNAM. Ed. Prensas de ciencias.
- ❖ Lovera, S. 2003. Ir a la Raíz del problema: las causas de la deforestación y de la degradación forestal. Actas del congreso Bosques para el planeta. XII Congreso Forestal Mundial. Quebec, Canadá. Pp.504.

- ❖ McAuliffe, J. R., Sundt, P. C., Valiente, B. A., Casas A, and Viveros, A. J. L. 2001. Pre-columbian soil erosion, persistent ecological changes, and collapse of a subsistence agricultural economy in the semi-arid Tehuacán Valley, Mexico's 'Cradle of Maize' *Journal of Arid Environments* 47: 47–75.
- ❖ Miller, R. 1994. Mapping the Diversity of Nature. Chapman and Hall. Pp 218.
- ❖ Montaña, C. and Valiente, A. 1998. Floristic and life-form diversity along an altitudinal gradient in an intertropical semiarid Mexican region. *Southwestern Naturalist* 43 (1): 25-39.
- ❖ Neave, H. M. and Norton, T. W. 1998. Biological inventory for conservation evaluation IV. Composition, distribution and spatial prediction of vegetation assemblages in southern Australia. *Forest Ecology and Management* 106(2-3): 259-281.
- ❖ Neave, H. M., Norton, T. W. and Nix, H. A. 1996. Biológica I inventory for conservation evaluation II. Composition, functional relationships and spatial prediction of bird assemblages in southern Australia. *Forest Ecology and Management* 85 (1) 3: 123-148.
- ❖ Nix, H.A. 1986. A Biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: R. Longmore (ed.). Atlas of the Elapid snakes of Australia. *Flora and Fauna* 7: 4-15.
- ❖ Ochoa, T. V. 2001. Geomorfología, clima y vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán Pue-Oax. México. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- ❖ Panetta, F. D. y Mitchell, N. D. 1991. Bioclimatic prediction of the potential distributions of some weed species prohibited entry to New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 34 (3): 341-350.
- ❖ Pearce, J. y Lindenmayer, D. 1991. Bioclimatic Analysis to Enhance Reintroduction Biology of the Endangered Helmeted Honeyeater (*Lichenostomus melanops cassidix*) in Southeastern Australia. *Restoration Ecology* 6 (3): 238-243.

- ❖ Pearson, R. G. y Dowson, T. P. 2003. Predicting the impacts on the distribution of species: are bioclimatic envelope models useful?. *Global Ecology and Biogeography*. 12: 361-371.
- ❖ Peterson, T. A., Cordero, S. V. Soberón, J., Bartley, J., Buddemeier, W. R. y Singuenza, N. A. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144: 21-30.
- ❖ Podger, F. D., Mummery, D.C., Palzer, C.R. and Brown, M.J. 1990. Bioclimatic analysis of the distribution of damage to native plants in Tasmania by *Phytophthora cinnamomi*. *Australian Journal of Ecology* 15 (3): 281-289.
- ❖ Pozo y Llorente, 2001. Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Edits. Llorente, B.J. y Morrone, J.J. Las Prensas de Ciencias, Fac. Ciencias, UNAM.
- ❖ Ramamoorthy, T.P. 1993. Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. Ed. New York. Oxford University. 812 pp.
- ❖ Rapoport, E. H. y Monjeau, J. 1994. Areografía. En: Llorente B, J. (Ed.) Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teoría, conceptos, métodos y aplicaciones. México. UNAM. Ed. Prensas de ciencias.
- ❖ Richardson, D. M. and McMahon, P. C. 1992. A bioclimatic analysis of *Eucalyptus nitens* to identify potential planting regions in southern Africa. *South African Journal* 88 (7): 380-387.
- ❖ Rzedowki J. 1978. La vegetación de México. Limusa. México. 432 pp.
- ❖ Sanchez, C. V., Peterson, A. T., y Escalante, P. P. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández, H. M. *et al* (Ed). Enfoques contemporaneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de biología. U.N.A.M. Ed. Fondo de Cultura Económica. Pp 359 - 379.
- ❖ Téllez, V. O. and Dávila P, A. 2003. Protected Areas and Climate Change: a Case Study of the Cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere reserve, México. *Conservation Biology* 17(3): 1-19.

- ❖ Téllez, V. O; Dávila A. P.; Louis, S. J. y Lira, S. R. 2001. (manuscrito no publicado) Sistema de Información Climática de la Reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán.
- ❖ Téllez, V. O, Hutchinson, M., Nix, H y Jones, P. (manuscrito no publicado). El desarrollo de una base de datos climática para México.
- ❖ Tivy, J. 1993. Biogeography. A study of plants in the ecosphere. Ed. Longman Scientific & technical. New York. Pp.452.
- ❖ Toledo, V. 1998. La diversidad biológica de México. *Ciencias* 34: 43-59.
- ❖ Valiente, B. A., Casas A., Alcantara A., Davila P., Flores H, N., Arizmendi C, M., Villaseñor J. and Ortega R, J. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bol. Soc. Bot México*. 67: 24-74.
- ❖ Vázquez, Y. C. y Batis A, I. 1996. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Bol. Soc. Bot. México* 58: 75-84.
- ❖ Velázquez, A., Durán, E., Ramírez, I., Masa, J., Boccob, G., Ramírez, G., and Palacio J. 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse áreas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13: 175–184.
- ❖ Villaseñor, J. L., Dávila, A. P. y Chiang F. 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bol. Soc. Bot. México*. 50: 135-149.
- ❖ Walter, H. 1978. Zonas de vegetación y clima Ed. Ediciones Omega, S.A.
- ❖ Withmore, T. C. and Sayer J. A. 1992. Tropical deforestation and especies extinction. The world Conservation Union. Ed. Chapman & Hall. Great Britain.
- ❖ Zavala, H. J. 1982. Estudios ecológicos e el Valle semiárido de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. I. Clasificación Numérica de la vegetación basada en Atributos Binarios de presencia o ausencia de las especies. *Biotica* 7(1): 99-120.