



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

# **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**FES-Iztacala**

**“PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE  
LA FLORA EN EL VALLE DE ZAPOTITLÁN,  
POR EL MÉTODO DE MODELAJE  
BIOCLIMÁTICO”**

**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**

**RAFAEL ROCHA TREJO**

**DIRECTOR DE TESIS: Dr. Oswaldo Téllez Valdés**

**MÉXICO, D. F.**

**MARZO 2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## RECONOCIMIENTO

Esta tesis fue realizada gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), mediante la beca con número de registro 172990, durante el periodo de septiembre del 2002 a junio del 2004.

El comité tutorial que dirigió la presente tesis de Maestría, estuvo conformado por

Dr. Oswaldo Téllez Valdés      Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FESI) UNAM.

Dra. Patricia Dávila Aranda      Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FESI) UNAM.

Dr. Enrique Martínez Meyer      Instituto de Biología, UNAM.

*La ciencia y la tecnología no pueden resolver por sí mismas los problemas de la destrucción del ambiente. Después de todo, sólo son medios para un fin, una herramienta en nuestras manos, nos debemos determinar a nuestros fines y cómo utilizar esas poderosas herramientas para el bien de todos*

*S. S. Dalai Lama*

*Tengo, que ya aprendí a leer,  
tengo, que ya aprendí a estudiar y a pensar y a reír  
tengo, que ya tengo donde trabajar  
y ganar, lo que me tengo que comer  
tengo, lo que tenía que tener.*

*Pablo Milanes*

*Para que voy a tener hambre,  
Sí no tengo que comer*

*Niña Traumará*

## DEDICATORIA

*A Rosaura*

*Por que contigo e vivido la aventura del matrimonio, donde hemos compartido de una forma intensa, cada uno de las metas, de las esperanzas pero tambien de los tropiesos. Es por eso que eres mi amor para vivir.*

*A mis hijos Rafael, Emilia y Daniela Rocha González,*

*C con todo mi amor y esperando que esten orguyosos de su familia.*

*A mis padres, Agustín y Lulú*

*Al igual que a mis hermanos; Ramón, Joaquín y César*

*como un agradecimiento por formar parte de una obra real de la vida que es esta familia*

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Oswaldo Téllez Valdés por dirigir este proyecto de investigación, a quien le debo aspectos importantes de mi desarrollo académico y con quien he convivido de una forma cordial.

A la Dra Patricia Dávila Aranda, quien formo parte de mi comité tutorial, a demás de tener una colaboración de fondo en esta investigación, siempre con mucha paciencia y buen ánimo.

Al Dr Enrique Martínez Meyer, quien formo parte de mi comité tutorial y por sus acertadas recomendaciones, mismas que fueron fundamentales en esta investigación.

A la Dra. Susana Valencia y la Dra. Hilda Flores quienes fungieron como jurado en la presentación oral de esta tesis, a demás de tener una valiosa colaboración con sus sugerencias en el escrito final de esta tesis.

A mis compañeros en el campo y el laboratorio; Manuel, Isidro, Irvin y Carmen con quienes conviví de una forma cordial y con buena colaboración a través de toda esta investigación.

A mis amigos, Balfre, Cuahutemoc, Roció y Tania, que siempre han sido solidarios en las buenas y en las malas.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general. ....	5
Índice de cuadros. ....	6
Índice de figuras. ....	6
Resumen. ....	8
Introducción. ....	9
Antecedentes. ....	17
Hipótesis y objetivos. ....	19
Área de estudio. ....	19
Metodología. ....	24
Resultados. ....	28
Discusión. ....	38
<b>Apéndice 1:</b> Especies características que tuvieron mayor concurrencia en los sitios agrupados. ....	42
<b>Apéndice 2:</b> Matriz de datos de los los 16 parámetros (columnas) y todos los sitios de cada uno de los grupos (renglones). ....	44

<b>Bibliografía.</b> .....	<b>46</b>
----------------------------	-----------

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Algunas definiciones de nicho ecológico. ....	<b>12</b>
<b>Cuadro 2.</b> Asociaciones vegetales presentes en el Valle de Zapotitlán (Valiente <i>et al.</i> , 2000) .....	<b>23</b>
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros bioclimáticos (Mullen, 1998) .....	<b>26</b>
<b>Cuadro 4</b> Valores Eigen del análisis discriminante .....	<b>34</b>
<b>Cuadro 5</b> Estadística del análisis discriminante .....	<b>34</b>
<b>Cuadro 6</b> Estructura de las funciones discriminantes. ....	<b>35</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica del Valle de Zapotitlán Salinas. ....	<b>20</b>
<b>Figura 2.</b> Distribución geográfica de los sitios (puntos de muestreo) a través del Valle de Zapotitlán .....	<b>28</b>



<b>Figura 3.</b> Matriz de presencia-ausencia de datos de las especies por sitio de muestreo. ....	<b>29</b>
<b>Figura 4.</b> Clasificación de los sitios muestreados en el Valle de Zapotitlán Salinas .....	<b>31</b>
<b>Figura 5.</b> Grafica de dos vías .....	<b>32</b>
<b>Figura 6.</b> Diagrama de dispersión del análisis discriminante donde se muestra el agrupamiento de los sitios de las agrupaciones 9, 10 y 11 (grupo 4) .....	<b>36</b>
<b>Figura 7.</b> Distribución potencial del grupo florístico que representa a la Tetechera de <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> (grupo 4) para la de temperatura mínima promedio del período más frío (TMPPMF). ....	<b>37</b>
<b>Figura 8.</b> Distribución potencial del grupo florístico que representa al cardonal de <i>Cephalocereus columna-trajani</i> para la de temperatura mínima promedio del período más frío (TMPPMF). ....	<b>38</b>

## RESUMEN

Se realizó un estudio para predecir la distribución potencial de grupos de especies de la flora del Valle de Zapotitlán, Puebla. La distribución potencial está basada en el concepto de nicho ecológico. Se hizo un muestreo estratificado a través de la variación climática y topográfica. Se colectaron todas las especies de árboles y arbustos presentes en 55 cuadros de aproximadamente 0.5 ha. Estos datos y los de otros 22 sitios previamente obtenidos, conformaron una base de datos de donde se extrajeron los datos de distribución geográfica completamente referenciados (longitud, latitud y altitud). Con estos datos se estructuró una matriz de presencia-ausencia (sitios en columnas vs especies en renglones). Se practicó un análisis de conglomerados para agrupar los sitios de acuerdo con su semejanza florística, se usó el índice de Gower y se clasificaron usando el algoritmo UPGMA. Se aplicó un análisis discriminante para determinar cuales fueron los parámetros que mejor explican la asociación florística consistente. se encontró que la temperatura mínima promedio del período más frío, la temperatura promedio del cuatrimestre más seco, la temperatura promedio del cuatrimestre más frío, la temperatura promedio anual, la temperatura promedio del cuatrimestre más cálido, la temperatura máxima promedio del período más cálido, la estacionalidad de la precipitación, la temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso y la precipitación del cuatrimestre más cálido representan los atributos climáticos que ayudan a explicar las asociaciones florísticas mejor. Estos parámetros, se usaron para modelar la distribución potencial de cada uno de los grupos de especies.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han incrementado los esfuerzos dirigidos hacia la conservación biológica (IUCN, 1997). Estos esfuerzos requieren tanto del conocimiento *per se* de las especies, como de otros factores tales como los patrones y procesos de cambio del paisaje, la pérdida o fragmentación de los hábitat's originales (Burger, 2000) y las respuestas de las diferentes poblaciones silvestres que están inmersas en el proceso de deterioro ambiental, entre otras (Collinge, 2001).

Sin embargo, el conocimiento de los patrones de distribución geográfica de las especies, es el punto de partida para la realización de análisis florísticos y fitogeográficos necesarios para la elaboración de estrategias adecuadas para el uso sostenido y la conservación de los recursos vegetales. La posibilidad de proponer medidas para la conservación se definen en la disponibilidad y el análisis de la información biológica (florística, faunística, ecológica, etc.) y ambiental (clima, suelo, litología, etc.) adecuada.

Sin embargo, se ha puesto muy poca atención a la distribución geográfica de la riqueza vegetal mexicana. Aunque se ha discutido aspectos generales de la distribución de conjuntos de taxa al nivel de tipos de vegetación, de sus afinidades geográficas o reportado patrones de riqueza a escala local o regional a partir de estudios florísticos (Téllez y Dávila, 2003; Dávila *et al.*, 1993; Villaseñor y Téllez, 2003).

Tradicionalmente, los estudios florísticos han pretendido reconocer a las especies que habitan en una zona determinada, al menos, registrándolas sólo una vez. Por tal motivo, se han incorporado nombres de especies a listados florísticos sin que se incluyan registros acerca de su distribución geográfica todo se basó del área de estudio. Es decir, no se han registrado a las especies tantas veces como estas pudieran aparecer durante el muestreo en campo. Esta concepción dominante del inventariado no ha permitido reflejar la distribución real total de las especies de plantas que componen cualquier flora.

Lo anterior se debe a que los métodos de recolección o registro, en general, nunca han sido sistemáticos y ordenados, es decir, no han seguido un método de registro de las especies a través de su intervalo de distribución geográfica, así como del gradiente ambiental que ocupan. Estos métodos de recolecta han sido determinados en esencia por

la accesibilidad de los sitios de colecta, la disponibilidad de recursos económicos y el tiempo disponible.

Sin embargo, poco o nada se ha hecho para documentar el área total que una especie ocupa en la superficie del territorio nacional. Los escasos esfuerzos en esta dirección se reflejan en los mapas de distribución elaborados como un conjunto de puntos, cada uno de ellos representan la localidad donde la especie ha sido registrada (Villaseñor y Téllez, 2003). A partir de estos puntos, un límite es delineado y así se circunscribe un área que representa su distribución geográfica, pero sin seguir una metodología formal, sino con base principalmente en la experiencia del taxónomo (Rapoport, 1982; Skov, 2000). Otra forma de realizar esta determinación geográfica es utilizando los límites políticos (estados y municipios) o los cuadros de superficie definida (grados o minutos de latitud y longitud o hectáreas o kilómetros cuadrados).

No obstante, que los estudios florísticos y sinecológicos han sido ampliamente desarrollados en México, el papel que el ambiente y sus múltiples factores juegan en su modelación, distribución, funcionamientos y límites, es aún escasamente conocido. Afortunadamente en la actualidad estudios detallados acerca de la composición y la distribución del suelo, la distribución espacio-temporal de las variables climáticas y el papel que el relieve juega, aunado a conceptos novedosos y las herramientas tecnológicas disponibles, permiten establecer correlaciones entre el ambiente y las especies y a su vez explicar como el ambiente incide sobre la actividad biológica y su distribución.

Esto ha permitido, de forma general, reconocer la manera en que el ambiente físico impone los límites de la distribución de la biota (Box, 1981; Nix, 1986b; Woodward, 1987; Woodward y Williams, 1987) que en conjunto con otros factores como la competencia y disturbios ambientales, determinar la presencia o ausencia y la abundancia de las especies en una determinada área. En particular, es importante considerar al clima, como un factor clave que influencia a gran escala la distribución de las especies de plantas (Forman, 1964; Woodward, 1987), y de animales (Nix, 1986b; Lindenmayer *et al.*, 1991; Lindenmayer *et al.*, 2000). Debido a que este usualmente limita el intervalo de distribución de un taxón, los estudios de los ambientes climáticos pueden ayudar a entender la presencia de una especie en un determinado lugar (Lindenmayer *et al.*, 1991).

Se puede conocer la distribución de una especie identificando sus requerimientos ambientales y reconociendo la relación que se establece entre ella y su medio físico. Esto se puede lograr con la ayuda de métodos numéricos que consideren estos factores ambientales y su localización en determinadas zonas. Además de este marco de referencia es necesario considerar una serie de aspectos intrínsecos a las propias comunidades, el concepto de nicho ecológico y el de análisis de gradiente.

El concepto de comunidad asume que la distribución de las especies es mapeada a lo largo de un gradiente o complejo de gradientes ambientales comprendido de varios factores ambientales o características de ambientes complejos que cambia al mismo tiempo en el espacio (ver Whittaker, 1956). Entonces existen grupos de especies con distribuciones semejantes a los que se denomina comunidad, los cuales se remplazan a sí mismos a través del gradiente (diversidad beta " $\beta$ "), en donde el final de un grupo coincide con el comienzo de otro. En este sentido, la composición de comunidades cambia continuamente a través de gradientes ambientales inconspicuos o no apreciables y otros factores ecológicos, a este hecho se le denomina "continuo vegetacional" (Austin, 1985; Minchin, 1989).

El reconocimiento y uso de concepto de suma importancia en la botánica, como el de comunidades en ecología en contraste con el papel de la teoría de nicho ecológico en comunidades animales (Austin, 1985); así como otros conceptos relacionados con la distribución espacial de las comunidades como lo consideran Austin y Smith (1989) y Austin (1991), que es dependiente de los patrones del paisaje. Históricamente, el concepto de comunidad ha sido asociado con el concepto de comunidad y ha sido combinado por muchos ecólogos para formar el concepto "continuo individualístico" que se ha convertido en un paradigma prevaleciente en la ciencia moderna de la vegetación (Minchin, 1989), y una base para el modelaje de nichos ambientales en plantas.

El concepto de **nicho ecológico** se puede definir como un conjunto de relaciones y actividades propias de una especie, un "modo de vida" único y particular que cada especie tiene (cuadro 1). Este concepto es abstracto, y se refiere a la estrategia de supervivencia de cualquier especie, que engloba desde la manera por la cual una especie se alimenta, sus condiciones de reproducción, su tipo de morada, sus hábitos, sus

enemigos naturales y su competencia con otras especies para evitar ser comida. En otras palabras, es la función, “profesión” u “oficio” que cumple una especie animal o vegetal dentro del ecosistema. Se refiere no sólo al espacio físico ocupado por un organismo (nicho espacial o de hábitat), sino también a su papel funcional en la comunidad (nicho trófico) y a su posición en los gradientes ambientales de temperatura, humedad, pH, suelos, etc. (nicho multidimensional o de hipervolumen).

El nicho ecológico de un organismo depende de dónde vive, de lo que hace (cómo transforma la energía, se comporta, reacciona a su medio físico y biótico y lo transforma), y de cómo es influenciado por las otras especies. Aunque en ecosistemas semejantes, se pueden reconocer las mismas “profesiones”: polinizadores, fotosintetizadores, carroñeros, dispersores de semillas, descomponedores de materia orgánica, el papel que desempeñan los individuos de una especie es único en cualquier ecosistema dado.

**Cuadro 1.** Algunas definiciones de nicho ecológico.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grinnell (1917) Condiciones ecológicas dentro de las cuales algunas especies son capaces de mantener poblaciones.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odum (1972) No sólo incluye un espacio físico (hábitat o nicho espacial) ocupado por un organismo, sino también su papel funcional en una comunidad (su posición trófica o nicho trófico) y una posición en un gradiente ambiental de temperatura, humedad y pH, solo en otras condiciones de su existencia (nicho multidimensional o hipervolumen).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Illies (1974) Influencia de factores como depredación, competencia y alimentación actuando sobre una determinada especie.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odum (1977) Papel que un organismo ejerce en un ecosistema; podemos decir que es un hábitat, o un “oficio”, o un nicho ecológico, o una “profesión”.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiley (1981) Nicho colectivo es una zona adaptativa. Utilizado por taxónomos evolutivos con relación a taxones supraespecíficos. Otros autores utilizan el mismo concepto de zona adaptativa como un lugar abiótico multidimensional en la naturaleza, que puede o no ser habitado por organismos (ver para discusión Mayr, 1980).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cox <i>et al.</i> (1986) modo de vida o “profesión” de una especie que practica en una parte particular del ambiente en que vive.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ab'Saber (1987) Papel ecológico de una especie en una comunidad; conceptualizado con espacio multidimensional, cuyas coordenadas son varios parámetros que constituyen una condición de existencia de la especie. Una restricción del nicho es dictada por la presencia de especies competidoras.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brown y Gibson (1987) Total de exigencias, para una especie de todos los recursos y condiciones físicas que determinan donde puede vivir, y su abundancia en cualquier lugar de su área de distribución.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ricklefs (1990). El concepto de nicho expresa una relación del individuo con todos los aspectos de su ambiente, en cuanto que a su dimensión (o amplitud) describe las condiciones físicas y calidad de recursos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Futuyma (1993) la variación de combinaciones de todas las variables ambientales sobre las cuales una especie y su población pueden persistir; Frecuentemente, de modo menos riguroso, usado para describir el “papel” de una especie y los recursos que ella utiliza.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hutchinson (1995a) Sugiere que el nicho ecológico puede ser visto como un hipervolumen multidimensional, esto es un espacio imaginario de múltiples dimensiones, donde cada dimensión representa una serie de condiciones ambientales tales como temperatura, humedad, salinidad y concentración de oxígeno, y también factores bióticos como depredación y recursos que requiere la especie.</li> </ul>

Las características críticas de la biología de las especies como son la fisiología, la ecología de nutrientes y el comportamiento reproductivo, sustentan el concepto del nicho ecológico (Resenzweig, en prensa citado por Peterson *et al.*, 1999) o sitio ecológico multidimensional.

Hutchinson (1995a) hizo una valiosa distinción entre el nicho “fundamental”, que es el rango de posibilidades teóricas que pueden ser ocupadas, y el nicho “real” o “concretado” (parte que actualmente es ocupada, junto con interacciones dadas con otras especies por su competencia). Aunque se puede discutir que solo el nicho “real” o “concretado” puede ser observado en la naturaleza, las posibilidades distribucionales de las especies estudiadas a través del conocimiento de su distribución geográfica total, pueden ser observadas en condiciones semejantes o contrastantes de varias comunidades, y de esta forma una vista del nicho ecológico fundamental se puede armar o ensamblar para ser predecible.

### **Modelos predictivos**

Así con estos marcos de referencia y teórico es necesario considerar una serie de aspectos que permitan superar la carencia de un conocimiento más preciso de la distribución geográfica de los organismos. Así se han propuesto modelos predictivos que ayudan a estimar la distribución potencial de las especies (Villaseñor y Téllez, 2003). La modelación de la distribución geográfica de especies y otros taxa (géneros y familias), ha permitido identificar patrones generales de riqueza de la biodiversidad, lo que ha facilitado la toma de decisiones acerca de las prioridades de conservación a gran escala (Chapman y Busby, 1994).

La mayoría de los modelos que predicen la probable presencia de una especie en un sitio no explorado, lo que generalmente hacen es correlacionar los sitios ya conocidos donde la especie prospera, a un conjunto de factores ambientales, especialmente climáticos similares a este espacio de la especie (Chapman y Busby, 1994).

En la actualidad, se conocen diversas técnicas desarrolladas para estimar la distribución potencial de una especie (Sánchez-Cordero *et al.*, 2001). Algunas utilizan métodos estadísticos, siendo los más comunes el análisis de regresión múltiple o multivariado

(Austin y Smith, 1989; Guisan y Zimmermann, 2000). Otros hacen uso de los sistemas de información geográfica, que realizan los análisis de discrepancia (“gap análisis”, Scott y Csuti, 1997) o los registros de presencia de las especies y la información ambiental para generar perfiles bioclimáticos, por ejemplo BIOCLIM (Nix 1986b; Lindenmayer *et al.*, 1991; Fischer *et al.*, 2001) o GARP (Anderson *et al.*, 2003).

### **El modelaje del hábitat**

El modelaje de hábitat es una herramienta cada vez más importante para investigar los requerimientos de las especies, la planeación de las reservas de conservación (Austin y Meyers, 1996; Scott *et al.*, 1997; Corsi *et al.*, 1999; Jarvis y Robertson, 1999 citados por Stockwell y Peterson, 2002) y la determinación de patrones de biodiversidad (Williams y Hero, 2001 citados por Stockwell y Peterson, 2002). En particular, se usan datos preexistentes georeferenciados de registros de sitios de muestreos que permiten modelar la distribución de las especies, orientando los esfuerzos de campo y reduciendo los costos de este tipo de estudios (Nicholls, 1989; Fielding y Bell, 1997 citados por Stockwell y Peterson, 2002). El modelaje de la distribución de las especies es esencial para asegurar la consistencia en una correlación entre el ambiente y las especies, reduciendo el tiempo y el costo de los estudios a gran escala acerca de la biodiversidad (Stockwell, 1993, 1997; Stockwell y Peters, 1999; Pearce y Ferrier, 2000 citados por Stockwell y Peterson, 2002).

Se debe considerar que, para realizar estudios florísticos regionales que puedan ser factibles y además proporcionar un muestreo representativo de la región de estudio, se debe tener objetivos explícitos y consistentes (Austin y Heyligers, 1989, 1991 y Braithwaite, 1991). La manera de obtener los muestreos representativos de múltiples factores ambientales que influyan en la composición y distribución de las especies es, a partir de diseñar muestreos que representen los diversos niveles de estratificación ambiental (Austin y Heyligers, 1989).

Generalmente, el estudio de las comunidades en relación con los fenómenos ambientales en gradientes, se realiza por medio del “análisis de gradiente”. Este análisis busca en una porción del paisaje, un patrón coherente y comprensible de la composición de la comunidad, en relación con los gradientes ambientales percibidos (Whittaker, 1973). El análisis de gradiente está basado en un muestreo estratificado, en el cual se puede



representar la composición de comunidades y de las características ambientales a través de diferentes puntos en el paisaje.

Este muestreo permite realizar el mapeo predictivo de la flora o del gradiente ambiental, es utilizado para determinar la distribución potencial de las especies vegetales. El mapeo predictivo puede ser definido como la predicción de la distribución geográfica de la composición de la flora a través del paisaje, a partir del mapeo de las variables ambientales (Franklin, 1995). El mapeo computarizado de este gradiente, se lleva a cabo con base a los mapas digitales de la topografía, y otras variables ambientales como el suelo, la geología y las variables climáticas, así como por el uso de los sistemas de Información Geográfica (SIG) para la manipulación y análisis de estos datos. Especialmente importante para el mapeo predictivo de la flora es la interpolación de las variables climáticas relacionadas con la tolerancia fisiológica de las plantas y las variables topográficas, relacionadas con la energía y balance hídrico de los sitios (Franklin, 1995). Este mapeo esta basado en la teoría del nicho ecológico y en el análisis de gradiente vegetacional. Por lo tanto tiene como premisa que la distribución de la flora puede ser predicha, a partir de la distribución espacial de variables ambientales que se correlacionen con la distribución real de dicha flora (Neave *et al.*, 1996).

La disponibilidad de mapas digitales, topográficos y variables ambientales como el suelo, geología y clima, aunado a los SIG para manipular estos datos, ha permitido el desarrollo de mapas predictivos de la distribución de la vegetación en los últimos 20 años. Esto ha incrementado el uso de mapas predictivos para la planeación y conservación de la biodiversidad (Haines-Yung, 1991), la restauración ecológica (Martínez *et al.*, 1992) y la evaluación del impacto del cambio climático en la distribución de la flora y la vegetación (Palmer y VanStanden, 1992; Tellez y Dávila, 2003; Téllez *et al.*, en prensa). Sin embargo, el potencial de esta representación espacial ha sido aceptada lentamente.

### **El modelaje bioclimático**

Actualmente existen diversos métodos y herramientas para determinar la distribución potencial de las especies o grupos de estas. En especial **el modelaje bioclimático** ha sido de gran ayuda para este fin (Nix, 1986a) no obstante que tuvo sus inicios hace 20 años, solo recientemente ha tenido más auge como una herramienta que responda a

problemáticas netamente biológicas. Este tipo de análisis puede proporcionar un conocimiento relacionando entre el clima y los patrones de distribución de las especies (Mackey, 1993).

El procedimiento del análisis bioclimático está basado en la utilización de técnicas que permiten la estimación de variables climáticas en algún punto del paisaje. Así, existen programas como BIOCLIM, el cual incorpora estimaciones matemáticas geocodificadas de promedios mensuales de temperatura y precipitación mínima y máxima (Lindenmayer *et al.*, 1991). Estas estimaciones permiten predecir los límites teóricos (nicho fundamental) de distribución de un taxón. Esta predicción está basada en el concepto de homoclima, es decir, la búsqueda de aquellos sitios que experimentan condiciones climáticas similares (Lindenmayer, 1991). El concepto de homoclima fue desarrollado por Koppen (1936). Posteriormente, Nix *et al.*, (1992) complementaron este concepto con métodos de modelaje climático y de terreno, los cuales permiten analizar la distribución de las especies (Nix, 1986a y b; Busby, 1986; Booth *et al.*, 1987). Así se utilizan las variables climáticas hasta definir el dominio bioclimático de un taxón usando las medias, rangos, extremos y estacionalidad de la temperatura y la precipitación (Nix, 1982). Por lo tanto el análisis bioclimático representa una dimensión importante hacia el entendimiento de la relación entre los organismos y su ambiente.

Las características para predecir la distribución derivada de un análisis bioclimático, están en función de la resolución espacial del modelo digital de elevación (DEM) que se utilice. Dependiendo de la resolución espacial que se utilice, se puede obtener estimaciones más generalizadas o más finas (Lindenmayer *et al.*, 1991). Si la resolución fina es de hasta 1 km x 1 km, por lo contrario en celdas mayores a esta distancia la resolución podría empezar a considerarse generalizada o grande.

Este tipo de modelaje, permite el análisis cuantitativo de los patrones de distribución potencial pasados, presentes y futuros de los organismos (Fischer *et al.*, 2001). Tales análisis pueden proporcionar información relevante sobre la relación climática de los organismos y sus patrones de distribución. Para la realización de estos análisis se requieren de dos tipos de registros: (1) datos de localización geográfica (latitud, longitud y elevación) de cualquier taxon; (2) datos climáticos digitales generados a una resolución espacial fina (con una resolución hasta de 50x50 m).

## **Análisis cuantitativo de los patrones de distribución**

Existen varios ejemplos de trabajos que han emprendido el modelaje de la distribución de las especies o grupos de ellas, que han permitido el análisis cuantitativo de sus patrones de distribución potencial (Fischer *et al.*, 2001). Tales estudios abarcan a las plantas (Busby, 1986; Booth *et al.*, 1987; Lindenmayer *et al.*, 1996; Mackey, 1993), los mamíferos (Menkahorst *et al.*, 1988; Lindenmayer *et al.*, 1991), los invertebrados (Nix, 1986b) y las aves (Pearce y Lindenmayer, 1991).

El análisis cuantitativo se basa en el uso de diversos algoritmos estadísticos que permiten establecer las correlaciones y las semejanzas entre el ambiente y la conducta biológica, así como determinar aquellas variables que explican tales correlaciones, existen diversos estudios como el de, Murguía y Villaseñor (2003) que evalúan nueve índices de similitud entre localidades y especies, contrastándolos con matrices de similitud (presencia-ausencia) para la clasificación biogeográfica de los géneros de Asteraceae de México, en el que concluyó los índice de Jaccard y de Sørensen-Dice son los más recomendables para las matrices de similitud. Este comportamiento de los coeficientes fue semejante al presentado por Habálek (1982). Vogiatzakis *et al.* (2003) utilizaron el análisis de correspondencia rectificado (DCA) y análisis de correspondencia canónica (CCA), que además permitieron identificar los factores ambientales ligados a la distribución de la comunidad. Otros autores (McCune y Mefford, 1999 y Sánchez y López, 2003) han realizados diversos ejercicios para correlacionar estadísticamente la composición de florística o vegetal y los factores climáticos que permite un ensamblaje en la comunidad, entre los logaritmos utilizados están los; análisis de agrupamiento (CA), análisis de Correspondencia Rectificada (DCA 'ordenación indirecta') y el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA 'ordenación directa').

## ANTECEDENTES

Existen numerosos estudios florísticos y sinecológicos realizados en el valle de Tehuacán-Cuicatlán, los cuales son en parte la base de esta propuesta. El principal objetivo de la mayoría de estos estudios, ha sido el registrar a las especies presentes en este Valle. Sin embargo se ha estudiado con cierta atención a grupos y comunidades particulares, brindando información acerca de la flora que las compone (Bravo, 1930, 1931, 1956 y 1978; Martínez, 1948; Miranda, 1948; Smith, 1965; Ledesma, 1979; Zavala, 1983; Meyrán, 1980; Goytia y Granados, 1981; Villaseñor, 1982; Villaseñor *et al.*, 1990; Jaramillo y González, 1983; Dávila, 1983 y Valiente *et al.*, 2000). No obstante lo anterior, el conocimiento de la distribución geográfica de los elementos de la flora es fragmentario y lejano a ser considerado adecuado.

Actualmente parte del conocimiento florístico se encuentra reflejado en 26 fascículos de diversas familias y géneros de la flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, y una gran cantidad de tesis de licenciatura y posgrado en las cuales se realizan trabajos de tipo florístico, sinecológico y ecológico. También existe, una base de datos con alrededor de 20,000 registros de plantas vasculares que incluye alrededor de 2,000 especies, con un promedio de 10 registros por cada una. Sin embargo, el conocimiento de la distribución de la flora es muy general y fragmentario, por consiguiente no se puede conocer con certeza la distribución real y total de las especies.

En algunos países de Europa, y en Canadá, Australia y México se han realizado trabajos utilizando modelos para reconocer la distribución potencial de las especies, por medio de modelos bioclimáticos (Booth *et al.*, 1987; Lindenmayer *et al.*, 1991; Naeve *et al.*, 1996), con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ARC/INFO y ARCVIEW (ESRI, 2000), ILWIS o IDRISI, así como de otros programas. En México, Peterson *et al.* (2000, 2001) y Téllez y Dávila (2003), han modelado la distribución potencial de diversas especies, aplicando el enfoque de nicho ecológico y un método de modelaje bioclimático.

Con base en todo lo anterior, se plantean a dos preguntas centrales para ser resueltas en esta investigación, las cuales son:

- 1) ¿Cuales son algunos de los factores climáticos que determinan como está la distribución de la flora del Valle de Zapotitlán Salinas?
- 2) Con base en el conocimiento de estos factores, ¿es factible modelar y predecir la distribución de la flora o grupos de esta?.

## **HIPÓTESIS**

La distribución de la flora esta determinada por algunas variables climáticas, por lo cual el reconocimiento y establecimiento de las correlaciones específicas entre estas variables y la flora, permitirá inferir la distribución potencial de la flora o grupos de esta.

## **OBJETIVO**

Proponer un método para predecir la distribución potencial de la flora o grupos de esta en el valle de Zapotitlán con base en el uso de métodos estadísticos y del modelaje bioclimático.

## **METAS**

1. Obtener una base de datos de las especies de plantas que caracterizan a las asociaciones vegetales del área de estudio.
2. Determinar los ensambles o grupos de especies que se agrupan estadísticamente, con consistencia.
3. Determinar estadísticamente los parámetros bioclimáticos que se correlacionan con las agrupaciones florísticas.
4. Modelar la distribución potencial de las agrupaciones florísticas con las coberturas de las variables bioclimáticas definidas estadísticamente.
5. Generar mapas de la distribución potencial de tales agrupaciones florísticas

### ÁREA DE ESTUDIO

El Valle de Zapotitlán Salinas (figura 1) se localiza entre las coordenadas  $18^{\circ}12'$ - $18^{\circ}25'$  de latitud N y  $97^{\circ}25'$ - $97^{\circ}40'$  de longitud W, en la sierra del mismo nombre y limita al este con las sierras de Atzingo y Miahuatepec, al norte por los cerros Chacateca y Pajarito, al sur por el cerro Corral de Piedra y al oeste por el cerro La Mesa (Zavala, 1982).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del Valle de Zapotitlán Salinas.

### *Clima*

Las características climáticas del área de estudio, se estimaron a partir de las superficies climáticas generadas con ayuda del programa BIOCLIM (Hutchinson, 1995a y b):

Parámetros	valores
Temperatura promedio anual	22.1-25.3 °C
Oscilación diurna	13.8-16.9 °C
Isotermalidad	0.60-0.66°C
Estacionalidad de la temperatura	0.70-0.84 %
Temperatura máxima promedio del periodo más cálido	33.5-37.2 °C
Temperatura mínima promedio del periodo más frío	10.1-13.7 °C
Oscilación anual de la temperatura	22.8-25.7 °C
Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	22.9-26.5 °C
Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	19.7-22.7 °C
Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	24.6-28.4 °C
Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	19.3-22 °C
Precipitación anual	307-773 mm.
Precipitación del periodo (semana) más lluvioso	19-40 mm.
Precipitación del periodo más seco	0 mm.
Estacionalidad de la lluvia	93-105 %
Precipitación del cuatrimestre más lluvioso entre	176-438 mm.
Precipitación del cuatrimestre más seco entre	0-29 mm.
Precipitación del cuatrimestre más cálido	113-226 mm.
Precipitación del cuatrimestres más frío	5-38 mm.

### *Fisiografía*

El valle de Zapotitlán Salinas se localiza dentro de la barrera del trópico seco en la región de la Sierra Madre del Sur. Esta sierra es uno de los sistemas montañosos más complejos y antiguos del país por la variedad de rocas y estructuras que lo forman. Tiene una extensión aproximada de 269 km<sup>2</sup> y presenta en general una topografía heterogénea, con una variación altitudinal que va desde los 1440 msnm. en la parte más baja (desembocadura del río Zapotitlán), hasta los 2600 msnm. en las cimas de algunos de los cerros. Presenta 9 sistemas terrestres o tipos de unidades de paisajes, diferenciadas por su origen, forma o patrón geomorfológico, ritmo topográfico y tipo de hidrología superficial (Barrera, 2001). El valle muestra un relieve montañoso que recorre en sentido noreste y sur, declinando hacia el centro donde alcanza su menor altura (Rivas, 2003).



## *Geología*

La geología del valle de Zapotitlán es compleja, Barrera (2001) la describe de la siguiente manera:

En el Paleozoico superior se forma el complejo Acatlán de origen meta-ígneo, el cual evolucionó a partir del metamorfismo y las manifestaciones magmáticas. En la zona se encuentra la formación Matzitzi de edad Pensilvánica, la cual guarda una relación no clara con esquistos del complejo Acatlán y rocas cataclásticas quizá del Pensilvánico hasta el Jurásico tardío, la zona se plegó y emergió para ser después cubierta por mares. La formación Mapache de edad Jurásico Tardía sobreyace discordantemente a la formación Matzitzi, teniendo una relación estratigráfica con la formación Zapotitlán del Cretácico Inferior, durante el Darremiano Tardío existen intrusiones plutónicas principalmente en la formación Zapotitlán. Hay un arqueamiento en la formación creando una paleobahía donde se depositan las formaciones Agua del Burro y del Cordero. La fracción conglomerítica es conocida como miembro Agua del Cordero y la fracción calcárea como miembro Agua del Burro, ésta última de edad del Barremiano Tardío. La formación Agua del Cordero es una secuencia de conglomerados y areniscas pertenecientes a la formación Zapotitlán. El ambiente de depósito era marino costero ubicándose en la zona de mareas entre los arrecifes y la línea de la costa. Descansa concordantemente sobre la formación Agua del Burro y sobre la formación Zapotitlán.

Durante el Cuaternario se presentaron procesos erosivos muy intensos que permitieron la acumulación de depósitos aluviales, principalmente en las zonas bajas cerca del cauce de los ríos, como producto de la erosión de unidades preexistentes de cantos subredondeados a redondeados de calizas, areniscas, lutitas calcáreas y clastos de andesitas, con cierta consistencia debido a la acentuación fluvial.

## *Suelos*

El Valle de Zapotitlán presenta un relieve complejo, una gran variación topográfica y un clima seco, lo que ha favorecido la presencia de suelos jóvenes, poco profundos, pedregosos y muy basificados. Se han descrito cuatro grupos mayores de suelo y cinco unidades edáficas: Leptosol rendzico, Leptosol lítico, Fluvisol calcárico, Regosol calcárico y Feozem calcárico (Barrera, 2001). La heterogeneidad edáfica del valle de Zapotitlán es

consecuencia de la dinámica pedogenética que ha ocurrido a través del tiempo geológico. La mayor parte de los suelos son residuales, es decir, están formados directamente de la roca. Sin embargo, también se presentan superficies aluviales o remontantes en el fondo del Valle, formadas por procesos de erosión y una depositación posterior de grandes volúmenes de sedimentos. Característico del suelo de la región es su carácter calcáreo, consecuencia directa del material parental del que se deriva (calizas, margas y lutitas), y sobre todo de un clima que favorece la acumulación de los carbonatos (Rivas, 2003).

### *Hidrología*

El Valle de Zapotitlán pertenece a la Región Hidrológica (Rh28) de la cuenca alta del río Papaloapan, particularmente a la subcuenca Fluvial del Río Salado. El Río Zapotitlán se forma hacia el oeste de la subcuenca hidrográfica de Zapotitlán, de la parte alta corre hacia la subcuenca baja en dirección este, pasando por el poblado de Zapotitlán, y al salir de la subcuenca se une al río Tehuacán en el Valle del mismo nombre para formar el Río Salado, el cual es uno de los principales afluentes del Río Papaloapan. La subcuenca hidrográfica de Zapotitlán se subdivide en doce microcuencas, de acuerdo a los parteaguas, a las barrancas y a aquellos escurrimientos que reciben el mayor número de tributarios. Dicha subcuenca se encuentra en la madurez de su evolución, por lo cual la respuesta al escurrimiento y a la precipitación es rápida (Neri, 2000).

### *Vegetación*

La heterogeneidad ambiental dada principalmente por eventos históricos de erosión y depositación durante el Cuaternario, constituyen uno de los rasgos ecológicos que caracterizan al Valle de Zapotitlán (Osorio, 1996a y b). Esta característica aunada a las condiciones climáticas y a los afloramientos litológicos, han permitido el establecimiento de un mosaico de comunidades vegetales en el Valle. La clasificación más reciente reconoce y describe 29 tipos de asociaciones vegetales diferentes para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán con base en criterios fisonómicos, estructurales y florísticos (Valiente *et al.*, 2000). De los cuales 13 se presentan en el Valle de Zapotitlán (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Asociaciones vegetales presentes en el Valle de Zapotitlán (Valiente *et al.*, 2000)

<p><b>Mezquital de <i>Prosopis laevigata</i></b>, se le encuentra en suelos aluviales profundos localizados principalmente en las porciones más bajas del Valle que corresponde con la presencia de ríos. Frecuentemente se encuentran tres cactáceas columnares: <i>Myrtillocactus geometrizans</i>, <i>Pachycereus marginatus</i> y <i>Stenocereus pruinosus</i>. De las especies arbustivas se encuentra a <i>Celtis pallida</i>, <i>Castela tortuosa</i>, <i>Maytenus phyllantoides</i>, <i>Caesalpinia melanadenia</i>, <i>Cercidium praecox</i> y <i>Vallesia glabra</i> y especies halófitas como <i>Distichlis spicata</i> y <i>Atriplex pueblensis</i>.</p>
<p><b>Izotal de <i>Beaucarnea gracilis</i></b>, esta vegetación puede ser observada en la cima de los cerros calizos y en distintas partes de Zapotitlán, las especies que predominan son <i>Ipomea arborescens</i>, <i>Acacia constricta</i>, <i>Mimosa luisana</i>, <i>Cercidium praecox</i>, <i>Pedilanthus cymbiferus</i>, <i>Cnidoscopus tehuacanensis</i> y en forma aislada y con baja densidad <i>Cephalocereus columna-trajani</i>.</p>
<p><b>Tetechera de <i>Neobuxbaumia tetetzo</i></b>, se encuentra principalmente en laderas con lutitas entre los 700 y los 1500 m. Las principales especies de este tipo de vegetación son <i>Mimosa luisana</i>, <i>Agave karwinskii</i>, <i>A. Marmorata</i>, <i>Bursera aloexylon</i>, <i>Ceiba parvifolia</i>, <i>Acacia coulteri</i>, <i>Cordia curassavica</i>, <i>Fouquieria formosa</i>, <i>Calliandra eriophylla</i>, <i>Ipomea arborescens</i>, <i>Caesalpinia melanadenia</i>, <i>Castela tortuosa</i>, <i>Ruellia hirsuto-glandulosa</i> y <i>Shiphonoglossa ramosa</i>. Cactáceas de tipo arborescente presentes en este tipo de vegetación son <i>Myrtillocactus geometrizans</i> y <i>Pachycereus hollianus</i>.</p>
<p><b>Cardonal de <i>Cephalocereus columna-trajani</i></b>, se desarrolla sobre laderas con suelos sobre rocas calizas entre los 1500 y los 1700 m. Las especies que destacan son: <i>Mimosa luisana</i>, <i>Hechtia podantha</i>, <i>Agave peacockii</i>, <i>A. macroacantha</i>, <i>Caesalpinia melanadenia</i>, <i>Euphorbia antisiphylitica</i>, <i>Fouquieria formosa</i>, <i>Mascagnia parvifolia</i>, <i>Lippia graveolens</i>, <i>Ipomea arborescens</i>, <i>Beaucarnea gracilis</i>, <i>Karwinskia humboldtiana</i> y <i>Morkillia mexicana</i>.</p>
<p><b>Cardonal de <i>Mitrocereus fulviceps</i></b>, se encuentra entre los 1700 y los 1900 m. en laderas de cerros con roca caliza, su estrato arbustivo está bien desarrollado y el arbóreo ausente. Especies comunes son: <i>Acacia subangulata</i>, <i>A. constricta</i>, <i>Mimosa luisana</i>, <i>Caesalpinia melanadenia</i>, <i>Cercidium praecox</i>, <i>Ageratina spinosarum</i>, <i>Ruellia hirsuto-glandulosa</i>, <i>Senna wislizeni</i>, <i>Solanum tridynamum</i>, <i>Ipomoea arborescens</i>, <i>Agave potatorum</i> y <i>Morkillia mexicana</i>.</p>
<p><b>Matorral rosetófilo y matorral de <i>Gochnatia hypoleuca</i></b>, en la primera asociación vegetal predominan plantas con hojas arrosadas con o sin tallos evidentes, se localiza entre los 1700-1900 m de altitud. Especies predominantes son <i>Dasylium serratifolium</i>, <i>D. acrotriche</i> y <i>Nolina longifolia</i>, también se encuentran algunos como <i>Agave kerchovei</i>, <i>A. peacockii</i> y <i>A. potatorum</i>, en menores densidades podemos encontrar <i>Salvia candicans</i>, <i>Calia secundiflora</i>, <i>Perymenium discolor</i>, <i>Hechtia podantha</i>, <i>Painteria elachistophylla</i>, <i>Salvia thymoides</i>, <i>Ephedra compacta</i>, <i>Gochnatia hypoleuca</i>, <i>Brickellia veronicifolia</i>, <i>Bouvardia erecta</i>, <i>Ageratum tehuacanum</i>, <i>Gymnosperma glutinosum</i> y <i>Echeveria heterocephala</i>. En la segunda asociación predomina <i>Gochnatia hypoleuca</i>, <i>Salvia candicans</i>, <i>S. thymoides</i>, <i>Pedilanthus aphyllus</i>, <i>P. cymbiferus</i>, <i>Acacia subangulata</i>, <i>Stevia salicifolia</i>, <i>Yucca periculosa</i>, <i>Bouvardia longiflora</i>, <i>Lithospermum calcicola</i> y <i>Brongniartia oligosperma</i>.</p>
<p><b>Matorral de arbustos esclerófilos perenifolios (mexical)</b>, se ubica entre los 1900 y los 2400 m de altitud, las especies dominantes son: <i>Quercus sebifera</i>, <i>Rhus virens</i>, <i>R. standleyi</i>, <i>Cercocarpus fothergilloides</i>, <i>Vauquelinia australis</i>, <i>Comarostaphylis polifolia</i>, <i>Xerospirea hartwegiana</i>, <i>Amelanchier denticulata</i>, <i>Brahea nitida</i>, <i>Ferocactus heamatacanthus</i>, <i>Agave stricta</i>, <i>Bursera fagaroides</i> y <i>Croton hypoleucus</i> entre las más importantes, llegan a dominar de manera local <i>Brahea nitida</i> y <i>B. dulcis</i>.</p>
<p><b>Bosque de encinos</b>, se encuentra por arriba de la cota altitudinal de los 2200 m, las especies dominantes son <i>Quercus glaucophylla</i>, <i>Q. sebifera</i>, <i>Q. glaucoides</i>, <i>Q. magnoliifolia</i>, <i>Q. liebmannii</i> y <i>Arbutus xalapensis</i>, en estos árboles crecen una gran cantidad de especies epifitas de los géneros <i>Tillandsia</i>, <i>Echeveria</i> y <i>Piperomia</i>.</p>
<p><b>Matorral espinoso con espinas laterales</b>, dominan los arbustos espinosos caducifolios y se encuentra en los cerros con cima plana alrededor de los 1500 m de altitud. Se distingue por la ausencia de cactáceas columnares aunque se encuentran las mismas especies arbustivas que en</p>

la tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo*, especies dominantes son: *Mimosa luisana*, *Cordia curassavica*, *Caesalpinia melanadenia*, *Bursera schlechtendalii*, *B. aloexylon*, *Fouquieria formosa*, *Jatropha neopauciflora*, *Ipomea arborescens*, *Ferocactus latispinus* y *Solanum tridynamum*.

**Tetechera cardonal**, se encuentra entre los 1250-1400 m de altitud, no se especifican las especies presentes en este tipo de vegetación.

**Cardonal de *Stenocereus stellatus***, esta asociación se encuentra en suelos con rocas volcánicas (andesitas alteradas por hidrotermalismo), con otras cactáceas columnares, como *Myrtillocactus geometrizans* y *Stenocereus pruinosus* otras especies son: *Mimosa luisana*, *Acacia constricta*, *Cercidium praecox*, *Senna wislizeni*, *Cordia curassavica*, *Ipomoea arborescens*, *Prosopis laevigata*, *Aeschynomene compacta*, *Solanum tridynamum* y *Opuntia pilifera*.

**Selva baja caducifolia**, se encuentra en las cimas planas del cerro Cutá, predominando las especies arbóreas que no sobrepasan los 10 m de altura. Las especies predominantes son *Mimosa luisana*, *M. polyantha*, *Ceiba parvifolia*, *Stenocereus stellatus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Pereskiaopsis oaxacana*, *Gyrocarpus mocinoi* y *Hechtia spp.*

## METODOLOGÍA

### Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete se centró en el análisis de la información básica disponible, tanto ambiental como biológica. Esta actividad incluyó: 1) la revisión de la información climática característica del área de estudio y 2) la revisión de la información acerca de la flora y su distribución en la zona de estudio.

### Trabajo de SIG

Los ejercicios en el laboratorio de SIG, fungieron como una herramienta clave para el diseño del proyecto y del trabajo en campo para seleccionar los sitios de muestreo. Así,

las actividades se centraron en: **A)** la depuración y análisis de la base de datos de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO), con el propósito de revisar las localidades y los registros de colectas previos en la zona de estudio bajo los siguientes criterios: 1) No se consideraron las especies secundarias, introducidas o exóticas. 2) sólo se consideraron las especies perennes (árboles arbustos y suculentas) debido a que la presencia muy irregular de lluvias en el valle no permitiría tener un registro equivalente en todos los sitios, y 3) sólo se incluyeron sitios con más de 10 especies, ya que ese es en promedio el número de especies arborescentes, arbóreas o arbustivas presentes casi en cualquier localidad del Valle. **B)** revisión de la distribución de los registros de las plantas, con respecto a su variación climática. **C)** Desarrollo de trabajo en campo. Durante el mismo, se registraron las localidades determinadas en el laboratorio de SIG y se marcaron puntos de registro dentro de 8 transectos, los cuales se definieron con criterios climáticos y topográficos.

#### Estimación de variables y parámetros climáticos

Las estimaciones climáticas se obtuvieron a partir de los archivos digitales disponibles para México, los cuales incluyen datos de precipitación y temperatura a partir de la información de más de 7000 estaciones meteorológicas de México, sur de Estados Unidos y norte de Centroamérica (Téllez *et al.*, manuscrito no publicado). Fueron generados por el método de interpolación propuesto por Hutchinson (1991, 1995a, 1995b, 1997); Hutchinson y Gessler, (1994), los cuales permitieron generar las superficies climáticas (formato raster) de la zona de estudio (Tellez y Dávila, 2003).

Los archivos resultantes incluyen valores de promedio mensual de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. A partir de la combinación de estos valores, se produjeron los archivos en formato raster para 19 parámetros climáticos (cuadro 3) con significado biológico o parámetros bioclimáticos, (Houlder *et al.*, 2000). Todos los archivos digitales de variables climáticas fueron producidos en formato de ARCINFO ASCII GRID por medio del programa ArcView versión 3.2.

**Cuadro 3.** Parámetros bioclimáticos (Mullen, 1998)

No.	CLAVE	PARÁMETRO
1.	TPA	Temperatura Promedio Anual
2.	ODT	Oscilación Diurna de la Temperatura
3.	ISO	Isotermalidad
4.	ET	Estacionalidad de la Temperatura
5.	TMPPMC	Temperatura máxima promedio del período más caliente
6.	TMPPMF	Temperatura mínima promedio del período más frío
7.	OAT	Oscilación anual de la temperatura
8.	TPCMH	Temperatura Promedio del cuatrimestre más lluvioso
9.	TPCMS	Temperatura Promedio del cuatrimestre más seco
10.	TPCMC	Temperatura Promedio del cuatrimestre más caliente
11.	TPCMF	Temperatura Promedio del cuatrimestre más frío
12.	PA	Precipitación Anual
13.	PPH	Precipitación del período más húmedo (semana más lluviosa)
14.	PPS	Precipitación del período más seco
15.	EP	Estacionalidad de la precipitación
16.	PCH	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso
17.	PCS	Precipitación del cuatrimestre más seco
18.	PCC	Precipitación del cuatrimestre más caliente
19.	PCF	Precipitación del cuatrimestre más frío

Selección del método de muestreo (transecto de gradiente)

Se utilizó el método de gradiente (Booth *et al.*, 1987; Lindenmayer *et al.*, 1991; Naeve *et al.*, 1996; Fischer *et al.*, 2001). Este método permite registrar la variación florística específica a través de la variación ambiental. El método presupone que la variación ambiental promueve la variación biológica, a través de un gradiente ambiental y con base en los parámetros bioclimáticos ya indicados (Cuadro 3).

Trabajo de campo

El trabajo de campo fue una de las actividades centrales del proyecto. Se realizaron recolecciones en los sitios de muestreo predeterminados (8 transectos) por medio del SIG. La información de las especies se integró a una base de datos, que permitió conformar una matriz de datos de presencia-ausencia. En las colectas de campo se registraron los siguientes atributos; latitud, longitud y altitud (por medio de un Sistema de Posicionamiento Global - GPS), forma biológica, morfología, fenología y características del hábitat de las especies registradas.

### Análisis estadístico

Con el fin de sustentar cuantitativamente este estudio, se aplicaron las siguientes pruebas estadísticas: 1) Análisis de conglomerados, con el fin de agrupar a los sitios de muestreo de acuerdo con su semejanza florística. Para este análisis se eligió el índice de Gower (Gower, 1971), el cual permite utilizar datos cualitativos (matriz de presencia-ausencia). La clasificación de los sitios se hizo por medio del método UPGMA del programa PATN (Belbin, 1995); 2) Análisis discriminante, con el fin de determinar los parámetros bioclimáticos que mejor explican la distribución de las asociaciones vegetales, las cuales serán empleadas para modelar la distribución potencial de los grupos de especies determinados por el análisis de conglomerados.

### Modelaje bioclimático

El modelaje bioclimático proporciona una estimación de la relación entre el clima y los patrones de distribución de las especies (Mackey, 1993) a partir de patrones bioclimáticos. Asimismo, ayuda a interpretar gráficamente los perfiles bioclimáticos generados de los datos climáticos. Por su parte, los perfiles son utilizados para predecir los límites teóricos de las especies (nicho fundamental). Esa predicción está basada en el principio de homoclima (Booth *et al.*, 1987), con el cual se identifican las áreas con valores climáticos similares a cada perfil bioclimático.

Se utilizó el programa BIOCLIM del paquete ANUCLIM 5.1 (Houlder *et al.*, 2000), el cual asocia los registros por sus coordenadas, a las coberturas climáticas referidas. De esta manera se genera un perfil bioclimático con base en la acumulación de los valores de las celdas (raster) en que éstos ocurren para cada uno de los 19 parámetros bioclimáticos (cuadro 3). El módulo BIOMAP del mismo paquete ANUCLIM 5.1, permitió el reconocimiento homoclimático en cinco niveles de interpolación con rangos porcentuales de perfiles bioclimáticos: valores extremos mínimos y máximos (entre 0 y 100%) y menos extremos en el mismo (de 2.5 - 97.5%, 5 - 95%, 10 - 90% y de 25% a 75%). Lo anterior significa una reducción en los registros extremos hacia condiciones más propicias para el establecimiento y desarrollo de los individuos y poblaciones; normalmente uno de los intervalos coincide con el grueso de los datos usados para generar el modelo, que es interpretado como aquel intervalo del perfil “en donde se dan las condiciones



preferenciales”, sin dejar de considerar que en los otros intervalos del perfil también está presente la especie. De esta forma solo se utilizó el valor del intervalo “preferencial” que se asocian más con los registro conocidos y que se interpeta como parte del nicho real. Este perfil o intervalo se proyecto a un escenario geográfico, generándose así la cartografía digital en formato raster ARCINFO ASCII GRID, a una resolución espacial con celdas de 50 x 50 m. (2,500 m<sup>2</sup>).

## RESULTADOS

Se realizaron ocho salidas de campo, en donde se hicieron 1,332 registros de todas las especies de plantas en los 55 sitios seleccionados (Figura 2), la cual se complementó con 22 sitios más de estudios previos y con datos disponibles en la base de datos de la UBIPRO-FES Iztacala. Con los datos depurados se estructuró una matriz de presencia-ausencia con 77 sitios (columnas) vs 126 especies ( renglones) (figura 3). A esta matriz se aplicó el análisis de conglomerados, con el fin de agrupar a los sitios de acuerdo con su semejanza florística y determinar aquellos grupos de especies que se asocian consistentemente.

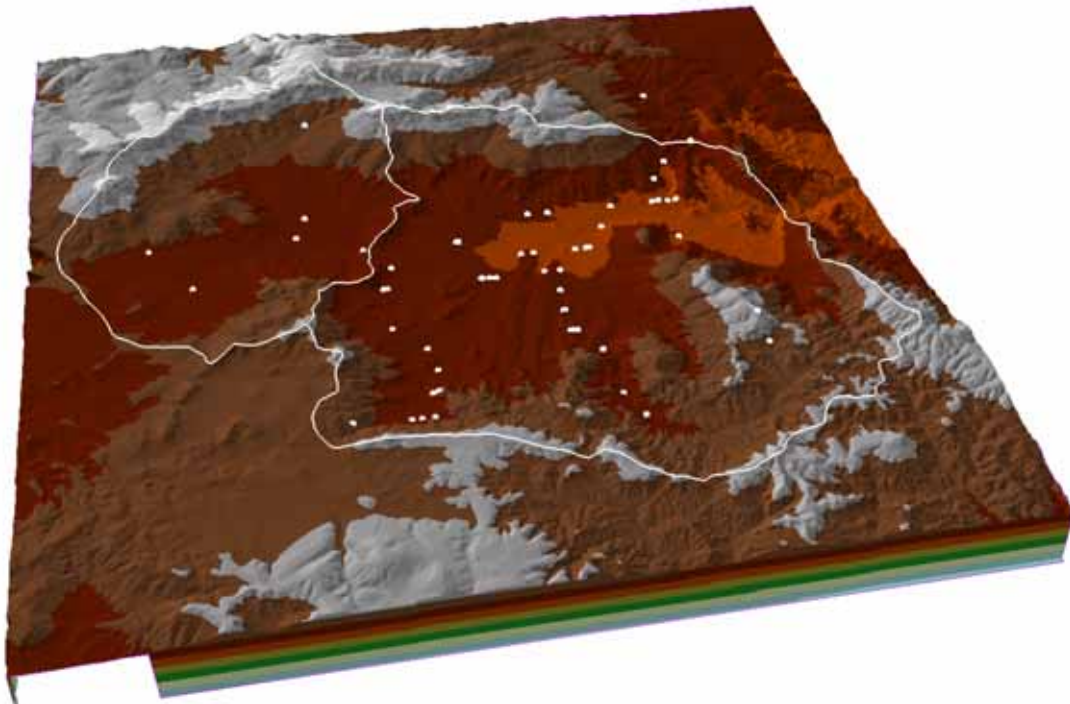


Figura 2. Distribución geográfica de los sitios (puntos de muestreo) a través del Valle de Zapotitlán, con referencia al modelo digital de elevación tridimensional.

	A1	A2	A3	Aa	Ab	Ac	A4	Ad	11	12	13	B1	Ba	Bb	B2	Bc	B3	B4	Bd	Be	B5	B6	
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
12	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 3. matriz de presencia-ausencia de datos de las especies por sitio de muestreo.

El análisis de conglomerados dio como resultado la clasificación de los sitios representados en el fenograma de la figura 4. Este muestra 7 grupos de los sitios de acuerdo con su semejanza florística. A partir de esta clasificación se determinaron a las especies características de cada grupo de especies (apéndice 1), es decir, las que tuvieron mayor concurrencia en los sitios agrupados, además de fungir como especies primarias. De los grupos clasificados, los grupos 1, 2, 5, 6 y 7 muestran incongruencia en cuanto a su asociación florística, ya que además de no representar a algún tipo de vegetación según Valiente et al. (2000), estos fueron agrupados en el análisis por tener especies similares pero sin consistencia, esto se pone de manifiesto en la gráfica de dos vías (fig. 5). Por lo tanto solo se modelaron los grupos 3 y 4.

El grupo 1, contiene 36 sitios, sin embargo es uno de los más inconsistentes, ya que esta compuesto por especies que representan a una gama de tipos de vegetación de acuerdo con Valiente et al. (2000). Entre las especies están: *Agave kerchovei* que se encuentra en el matorral de *Gochnatia hypoleuca*, así como *Cephalocereus columna-trajani* que forma

parte del Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* y del Izotal de *Beaucarnea gracilis*. También está el caso de *Ferocactus latispinus* integrante del matorral espinoso con espinas laterales, como *Ipomoea arborescens* que forma parte de los cardonales de *Mitrocereus fulviceps* y *Stenocereus stellatus*, finalmente como *Ipomoea arborescens* integrante de los matorrales rosetófilo y de *Gochnatia hypoleuca*. Por tal motivo, este grupo no se considero para modelar su distribución.

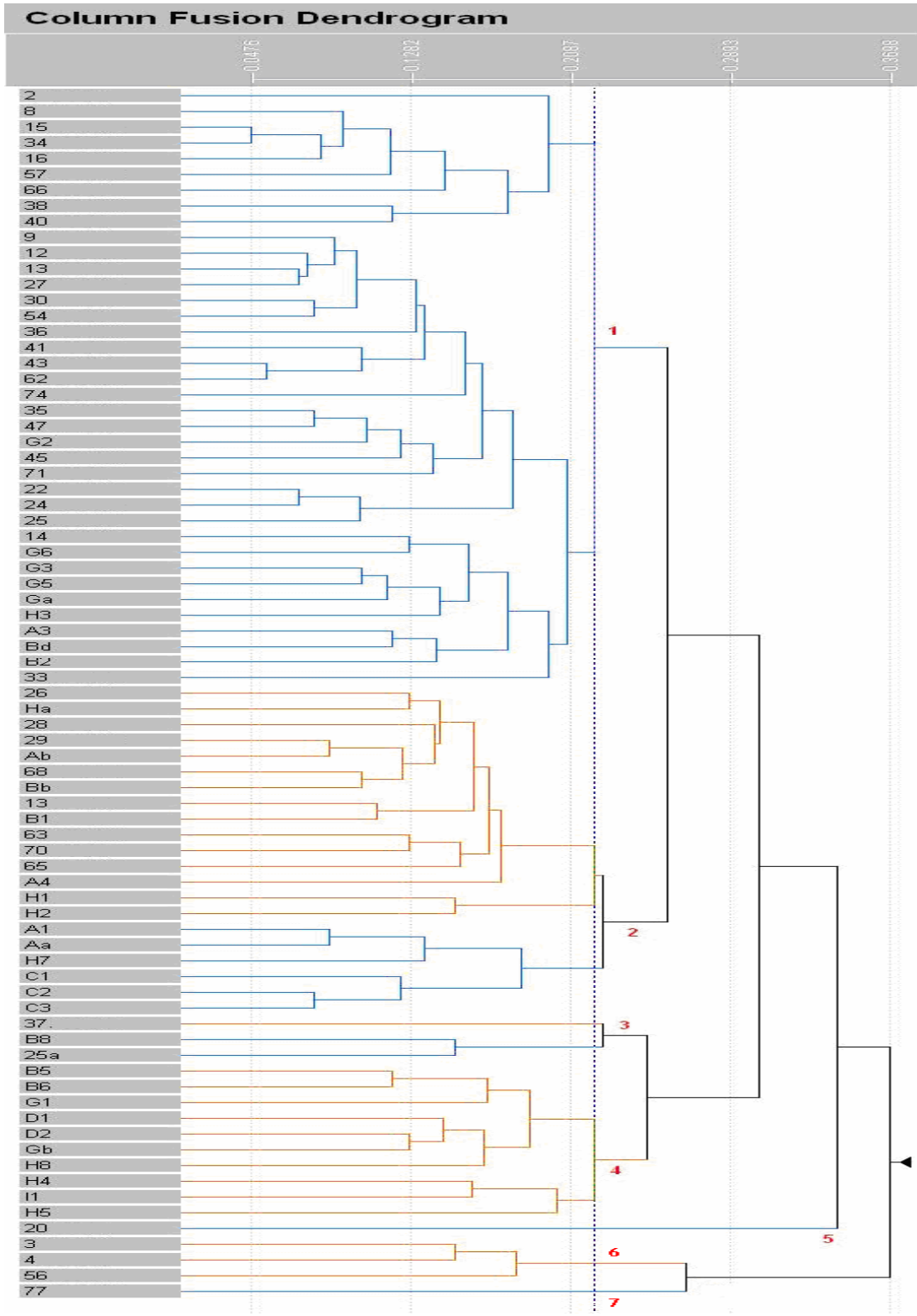
El grupo 2 con un total de 20 sitios y al igual que el grupo anterior, reúne sitios que no son consistentes a una asociación vegetal, como en el caso anterior representan una mezcla de especies perteneciente a varios tipos de vegetación. Entre las especies están: *Acacia subangulata* que se encuentra en el cardonal de *Mitrocereus fulviceps* y en los matorrales rosetófilo y de *Gochnatia hypoleuca*; así como *Gochnatia hypoleuca* y *Brongniartia oligosperma* integrantes del matorral de *Gochnatia hypoleuca*, y finalmente *Ferocactus latispinus* que forma parte del matorral espinoso con espinas laterales. De esta forma al igual que el grupo 1, este grupo no fue adecuado, con base a sus especies características para ser modelado.

Los grupos 5 y 7 (fig. 4) están representados por sólo un sitio de muestreo cada uno, sitios 20 y 77 respectivamente. Circunstancia que hace evidente la necesidad de incorporar más registros de sitios que puedan ser asociados a estos dos grupos y representar suficientes datos para su modelaje, ya que si bien estos sitios fueron discriminados en la clasificación por no tener semejanza con ningún otro sitio y que pudiera indicar un tipo de vegetación particular, un solo sitio no es adecuado para modelar.

Por ultimo, el grupo 6 de acuerdo con sus especies características, refleja incongruencia para determinar un tipo de vegetación particular, esto es por que las especies que lo componen pertenecen a varios tipos de vegetación según Valiente *et al.* (2000): Entre las especies están: *Acacia constricta* que forma parte del Izotal de *Beaucarnea gracilis* y del cardonal de *Stenocereus stellatus*; otro caso es el de *Karwinskia humboldtiana* que se asocia con el cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*; así como *Aeschynomene compacta* que forma parte del cardonal de *Stenocereus stellatus* y finalmente *Yucca periculosa* que pertenece a los matorrales rosetófilo y de *Gochnatia hypoleuca* que son de

amplia distribución y fueron clasificadas por esa característica más que por amalgamar una asociación vegetal consistente, y por tal motivo no fue modelado

Figura 4. clasificación de los sitios muestreados en el Valle de Zapotitlán Salinas



Predicción de la distribución de la flora en el Valle de Zapotitlán, por el método de modelaje bioclimático

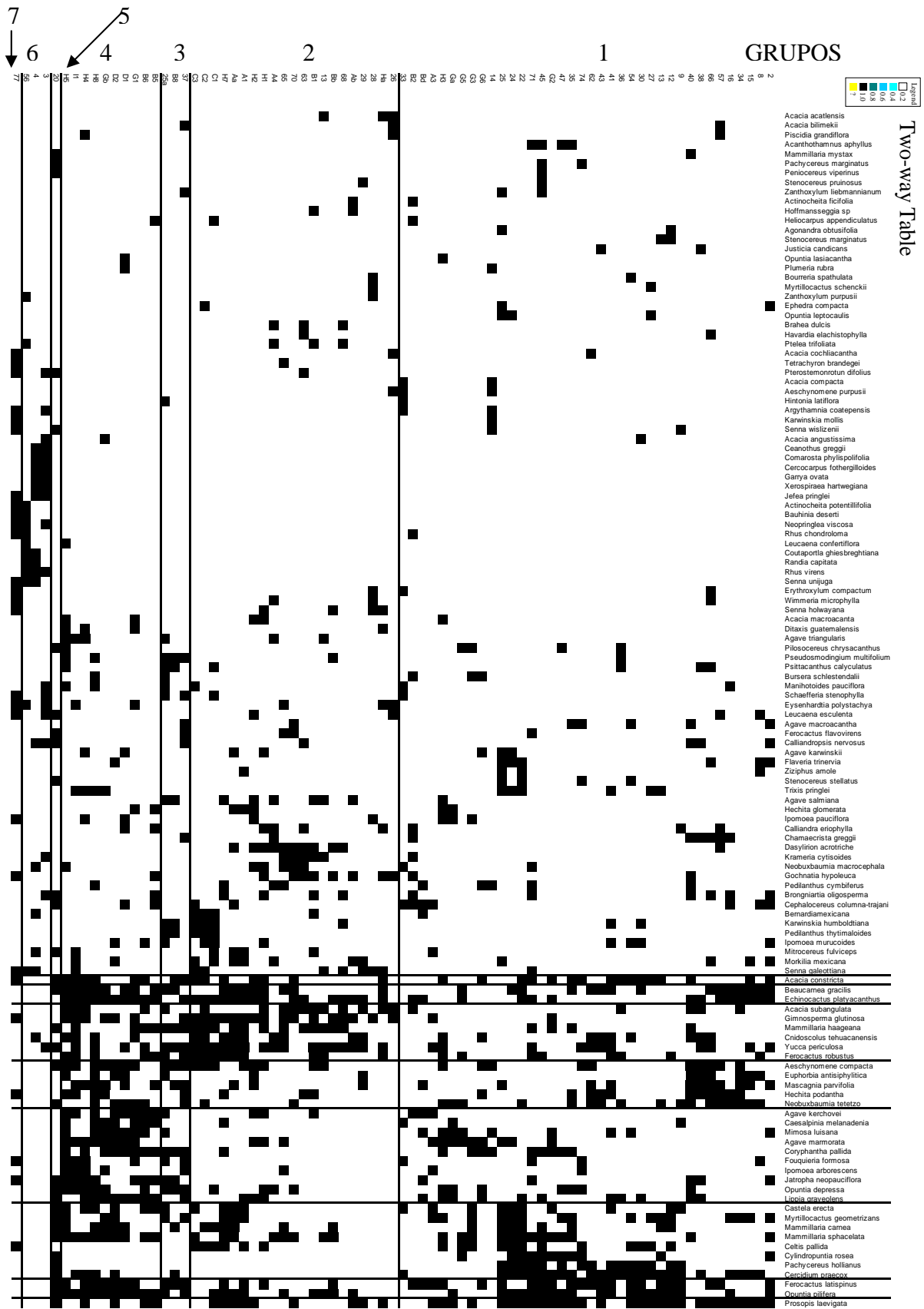


Fig. 5. Grafica de dos vías

En la gráfica de dos vías (figura 5), la cual es una forma de representación gráfica similar al análisis de componentes principales (ACP), se muestra como se agrupan las variables ambientales con relación a como se conforman los grupos de especies. En la gráfica se muestra al grupo 4, el cual está bien definido, por tener una alta consistencia entre los sitios y las especies características. Estas especies representan a la Tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo* según la descripción de Valiente *et al.* (2000), este nombre se debe a la especie dominante *Neobuxbaumia tetetzo* localmente llamada tetechera o tetecho. Esta variante de vegetación se encuentra principalmente en laderas con rocas lutitas entre los 700 y los 1500 m., se le encuentra asociada con la vegetación arbolada en la región central del valle de Zapotitlán. Las especies características son las siguientes: *Mimosa luisana*, *Agave karwinskii*, *A. Marmorata*, *Acacia constricta*, *Cordia curassavica*, *Caesalpinia melanadenia*, *Castela tortuosa*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia depressa*, *Opuntia pilifera*, *Pachycereus hollianus*, *Ferocactus latispinus*, *Ferocactus robustus*, *Ferocactus latispinus*, *Ferocactus robustus* y *Mascagnia parvifolia*

El otro grupo que tiene congruencia con base a sus especies características de los sitios (apéndice 2) es el grupo 3, el cual, representa al cardonal de *Cephalocereus columnarajani* según los tipos de vegetación determinados por Valiente *et al.* (2000) con especies como: *Mimosa luisana*, *Hechtia podantha*, *Agave peacockii*, *Caesalpinia melanadenia*, *Lippia graveolens*, *Ipomea arborescens*, *Beaucarnea gracilis*, *Karwinskia humboldtiana* y *Morkillia mexicana*. Esta asociación vegetal se desarrolla sobre laderas con suelos sobre rocas calizas entre los 1500 y los 1700 m. Se ubica en el centro del valle de Zapotitlán (fig. 8), también es llamado "cardon o viejito" se le puede encontrar asociado con matorrales.

Para cada uno de los grupos obtenidos en el análisis de conglomerados, se generó un nuevo perfil bioclimático, con base en los 19 parámetros bioclimáticos (Cuadro 3), con el fin de generar el modelo de distribución potencial de cada uno de ellos. Estos perfiles fueron también generados en formato de ARCINFO ASCII GRID, el cual fue importado para el programa ArcView 3.2.

Posteriormente, se generó una matriz de datos (apéndice 2) con los promedios de solo 16 parámetros (columnas) ya que tres de ellos no eran estadísticamente significativos y todos los sitios de cada uno de los 7 grupos (renglones). Con base en esta matriz se



realizó un análisis discriminante, utilizando el paquete estadístico SPSS, para determinar los parámetros bioclimáticos que se correlacionan positivamente con la agrupación de las especies características entre los sitios.

Los valores Eigen de las dos primeras funciones que resultan de este análisis, explican la variación en un 74.4% (cuadro 4). A demás los valores de nivel de significancia “*p*”, confirman que las dos primeras funciones están bien representadas, con una  $p = 0.000$  para la primera función y  $p = 0.032$  para la segunda (cuadro 5).

**Cuadro 4** Valores Eigen del análisis discriminante

Función	Eigenvalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	5.351(a)	56.8	56.8	.918
2	1.650(a)	17.5	74.4	.789
3	.912(a)	9.7	84.0	.691
4	.626(a)	6.7	90.7	.621
5	.458(a)	4.9	95.6	.561
6	.252(a)	2.7	98.2	.449
7	.114(a)	1.2	99.5	.320
8	.052(a)	.5	100.0	.222

**Cuadro 5** Estadística del análisis discriminante

Funciones	Wilks' Lambda	Chi-square	grados de libertad	p
1	.009	219.387	128	.000
2	.057	133.426	105	.032
3	.150	88.114	84	.358
4	.287	57.985	65	.719
5	.467	35.376	48	.912
6	.682	17.828	33	.985
7	.854	7.366	20	.995
8	.951	2.346	9	.985

La estructura de las funciones discriminantes explica aquellos parámetros bioclimáticos para la primera función en orden de importancia. Así los resultados obtenidos son: 1) temperatura mínima promedio del período más frío, 2) temperatura promedio del cuatrimestre más seco, 3) temperatura promedio del cuatrimestre más frío, 4) temperatura promedio anual, 5) temperatura promedio del cuatrimestre más caliente, 6) temperatura

máxima promedio del período más caliente, 7) estacionalidad de la precipitación, 8) temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso y 9) precipitación del cuatrimestre más caliente. y en la segunda función la oscilación diurna de la temperatura (cuadro 6).

**Cuadro 6** Estructura de las funciones discriminantes, los asteriscos (\*) muestran los parámetros que mejor explican la discriminación en el análisis.

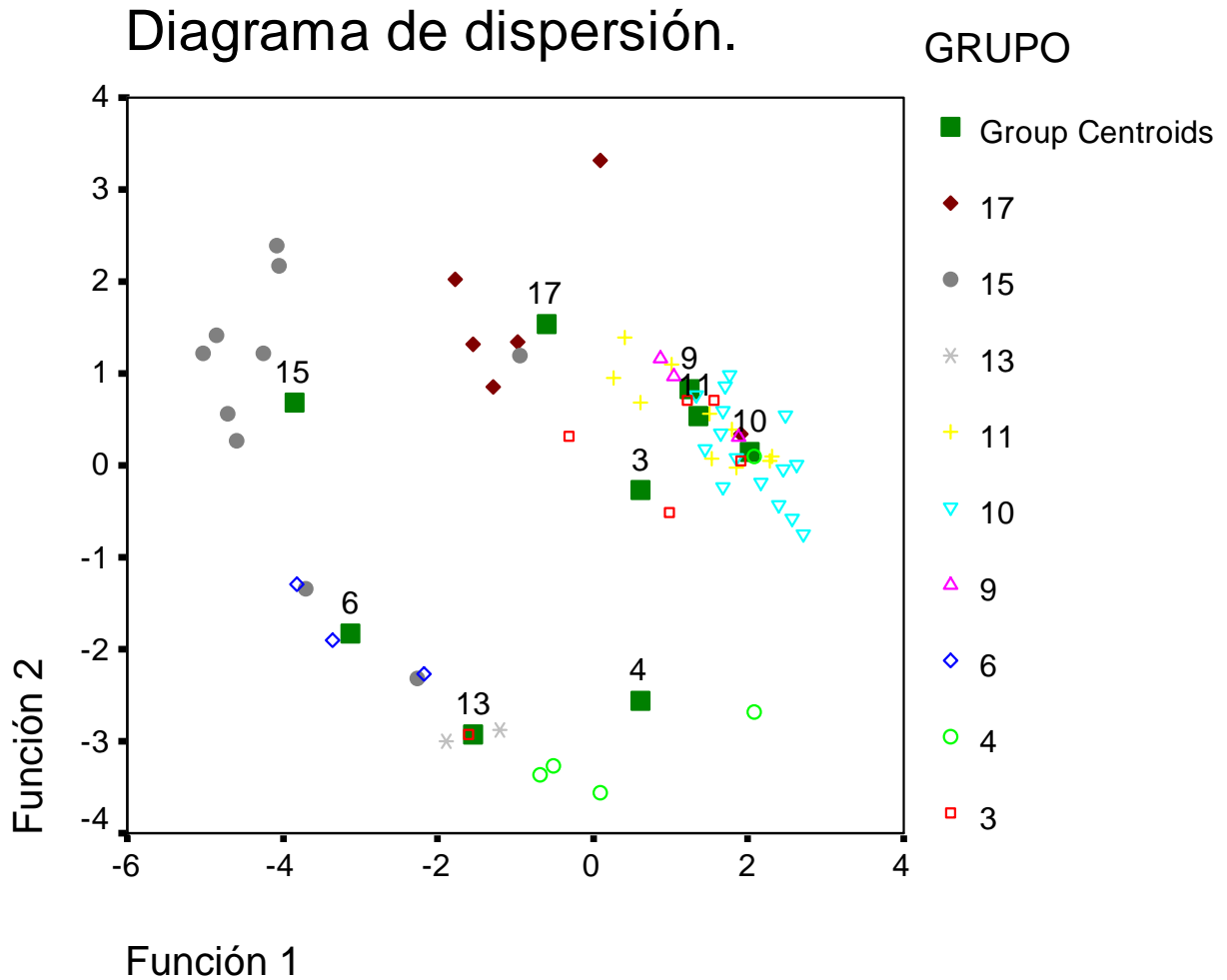
Parámetros	Clave	Función							
		1	2	3	4	5	6	7	8
TMPPMF	V6	.673(*)	.103	.099	-.232	-.176	-.153	.021	.049
TPCMS	V9	.653(*)	.126	.180	-.308	-.298	-.167	.075	.018
TPCMF	V11	.646(*)	.094	.165	-.314	-.287	-.122	.016	.040
TPA	V1	.621(*)	.031	.198	-.331	-.326	-.113	.005	.002
TPCMC	V10	.608(*)	.021	.197	-.343	-.339	-.117	.034	.001
TMPPMC	V5	.564(*)	.008	.244	-.371	-.364	-.104	.037	-.008
EP	V15	.563(*)	.286	.210	-.286	-.185	-.089	-.011	-.031
TPCMH	V8	.550(*)	-.009	.231	-.335	-.326	-.070	-.008	.002
PCC	V18	-.376(*)	-.219	-.333	.373	-.045	.358	.002	-.209
PA	V12	-.021	-.037	-.524	.655(*)	.147	.417	.172	-.039
PCH	V16	.001	.115	-.527	.615(*)	.166	.426	.151	-.089
PCS	V19	-.376	.018	-.317	.525(*)	.304	.277	.195	.021
ET	V4	.255	-.353(*)	.355	-.253	-.527(*)	-.151	.028	-.108
OAT	V7	.196	-.133	.380	-.430	-.471(*)	.021	.058	-.089

El diagrama de dispersión (figura 6) del análisis discriminante, indica la distribución de los grupos con base a las dos primeras funciones (figura 4). En este diagrama se observa que la primera función discrimina mejor para los parámetros bioclimáticos mencionados en el cuadro 6, en donde los subgrupos 9, 10 y 11 (grupo 4 en el análisis de conglomerados), muestran una sola agrupación, de acuerdo con su composición florística (apéndice 1). Esta composición incluye especies características de la Tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo*, entre las que se registran a: *Neobuxbaumia tetetzo*, *Yucca periculosa*, *Beaucarnea gracilis*, *Acacia constricta*, *A. subangulata*, *Hechtia podantha*, *Ipomoea pauciflora* y *Lippia graveolens*.

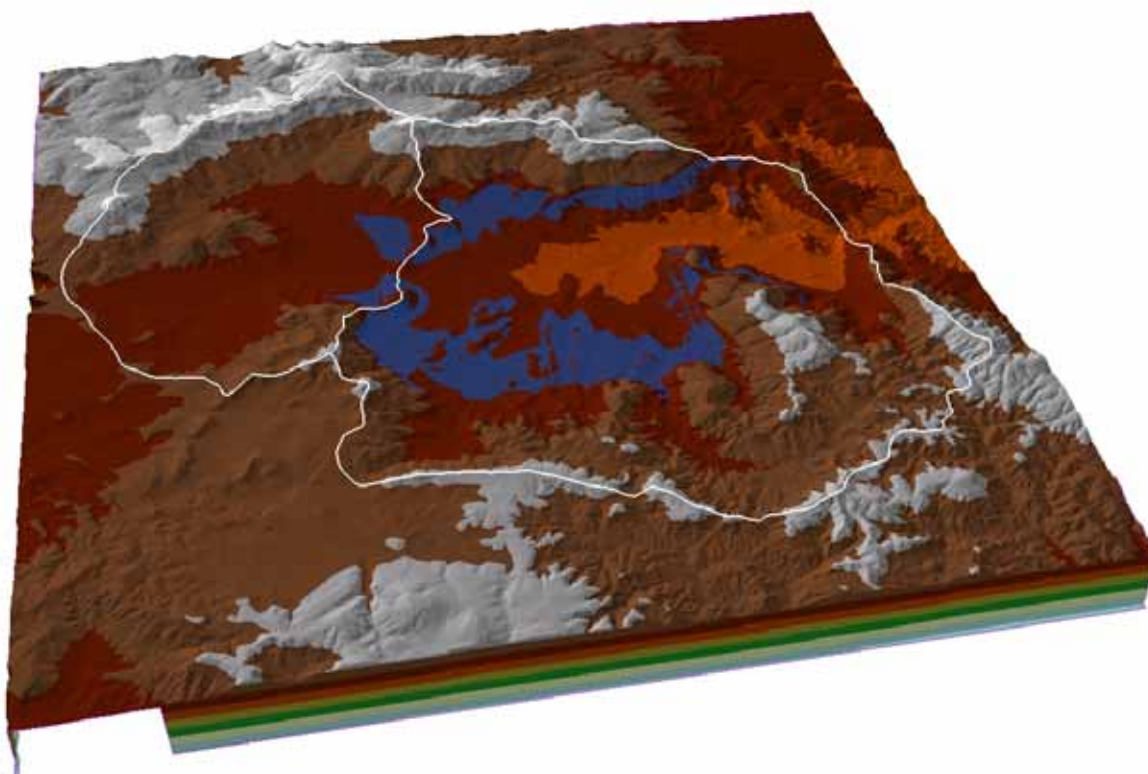
Aunado a lo anterior, el diagrama también discrimina a la agrupación 4 (grupo 3 en el análisis de conglomerados), en donde según sus especies características puede ser considerado como una variación del Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*, donde se establecen especies como: *Cephalocereus columna-trajani*, *Acacia constricta*, *Agave*

*kerchovei*, *Beaucarnea gracilis*, *Brongniartia oligosperma*, *Caesalpinia melanadenia*, *Castela erecta*, *Celtis pallida*, *Cnidoscolus tehuacanensis*, *Coryphantha pallida*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus latispinus*, *Ferocactus robustus*, *Hechtia glomerata*, *Jatropha neopauciflora*, *Lippia graveolens*, *Mammillaria carnea*, *Mammillaria haageana*, *Mammillaria sphacelata*, *Mascagnia parvifolia*, *Mitrocereus fulviceps*, *Morkillia mexicana*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia pilifera*, *Prosopis laevigata* y *Yucca periculosa*

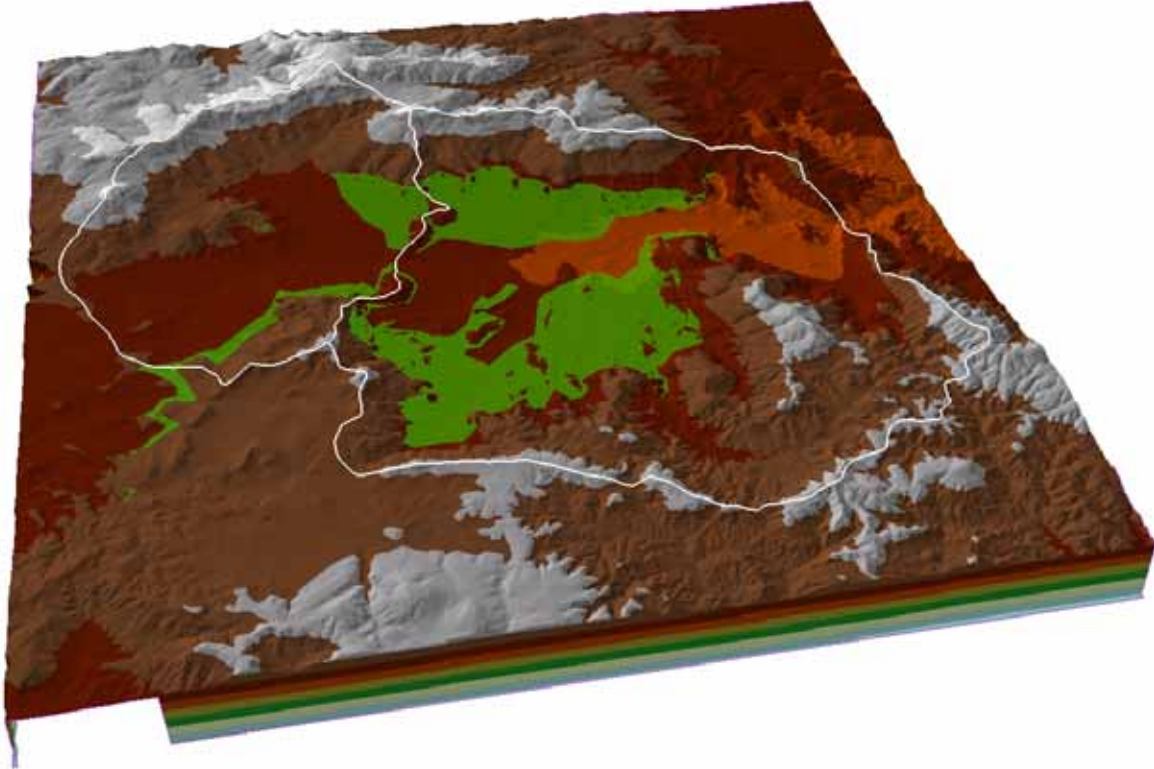
**Figura 6.** Diagrama de dispersión del análisis discriminante donde se muestra el agrupamiento de los sitios de las agrupaciones 9, 10 y 11 (grupo 4).



Finalmente, con base en los resultados de los análisis estadísticos, se generaron los modelos de distribución potencial de los grupos de especies, en el Valle de Zapotitlán, tomando en consideración exclusivamente al parámetro bioclimático más importante determinado por “la función 1” del análisis discriminante, que fue la temperatura mínima promedio del período más frío (TMPPMF). Estos modelos se produjeron en formato ArcInfo y posteriormente importados al programa ArcView 3.2, para su manejo y edición.



**Figura 7.** Distribución potencial del grupo florístico que representa a la Tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo* (grupo 4 – en color azul) en la cuenca de Zapotitlán (polígono blanco) basado en la temperatura mínima promedio del período más frío (TMPPMF), con referencia al modelo digital de elevación tridimensional.



**Figura 8.** Distribución potencial del grupo florístico que representa al cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* (grupo 3 – en color verde), en la cuenca de Zapotitlán (polígono blanco), basado en la temperatura mínima promedio del período más frío (TMPPMF), con referencia al modelo digital de elevación tridimensional.

## DISCUSIÓN

No obstante, que los resultados muestran que algunos de los ensambles de especies pueden ser determinados efectivamente por medio del análisis de conglomerados como ocurren en la naturaleza, lo cual coincide con el estudio de Valiente et al. (2000) acerca de las asociaciones vegetales en esta zona de estudio. Así como sucede con los grupos que se muestran en el fenograma (grupos 3 y 4) y que corresponden a grupos de especie que consistentemente componen a la Tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo* y al Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* respectivamente. Desafortunadamente, los resultados también han mostrado las inconsistencias que no han permitido ver reflejada la composición consistente de los grupos o ensambles de especies (traducidos como

asociaciones vegetales) en su totalidad como era esperado y como estos ocurren de forma natural en el Valle de Zapotitlán, específicamente como lo representan los grupos 1, 2, 5, 6 y 7, en donde es evidente una subrepresentación de sitios de muestreo.

Este ejercicio ha permitido aprender más de las inconsistencias registradas que de los resultados consistentes encontrados. Entre estas inconsistencias, la más importante es la subrepresentación de los ensambles florísticos (asociaciones vegetales?) debida al reducido número de muestras (sitios) incluidas. Sólo un escaso número de grupos fueron sustentados robustamente, y numerosos sitios permanecieron “aislados”, mostrando que se requerirían numerosos sitios más para obtener grupos sustentados por un mayor número de sitios con una composición florística semejante o prácticamente igual (como lo refleja la Tetechera de *N. tetetzo*) y así, poder ver reflejadas las distintas asociaciones vegetales presentes en la zona de estudio.

Afortunadamente, este sesgo permite reconocer la necesidad de un diseño del trabajo en campo más cuidadoso. No obstante, que los sitios de muestreo seleccionados estuvieron distribuidos a través del área de estudio de acuerdo con la variación ambiental del área (método de gradiente), se ha encontrado que hay asociaciones más dominantes y posiblemente en consecuencia con una distribución más amplia (p.e. como la ya señalada Tetechera de *N. tetetzo*), que ocupan distintas “unidades ambientales” o simplemente condiciones ambientales más variadas. Lo cual aparentemente no ocurre con otras asociaciones como la selva baja caducifolia, que no obstante estar presente, se encuentra distribuida en sitios muy particulares en sus condiciones ambientales.

También, no obstante que el número de sitios de muestreo parece razonable para el objetivo propuesto, finalmente ha resultado ser un número de sitios no adecuado. Sin embargo, no es el número de sitios lo que ha provocado un sesgo importante en los resultados, sino más bien el desconocimiento de la relación que existe entre los diversos factores ambientales que inciden en el área de estudio, la composición y distribución de las asociaciones vegetales. Esto anterior se ve reflejado en que las diferencias dentro del gradiente ambiental a través del cual se ubicaron los sitios de muestreo, no son lo suficientemente significativas para provocar una diferencia en la variación florística, en consecuencia, algunos de los grupos están conformados por sitios con una composición florística semejante en muchos casos (tetechera). Esto anterior, se considera que ha sido

debido a un deficiente diseño del muestreo en campo al haberse tomado numerosos registros de sitios con la misma o semejante composición florística (posiblemente misma asociación vegetal), y el no haber estado representados otros grupos o ensamblajes de especies comunes a otras condiciones ambientales.

No obstante lo anterior, los resultados se interpretan como una guía inicial que permitirá reconocer cuáles de los parámetros climáticos se encuentran principalmente asociados con la topografía del área, así como con la distribución de los grupos de especies o incluso con las asociaciones vegetales, lo cual permitirá diseñar un muestreo estratificado a través de la variación topográfica y climática con un cierto conocimiento de estas variables y de las especies y grupos de especies, y por lo tanto más efectivo, y que además refleje la correlación entre las variaciones ambiental y biológica no solo esperadas, sino evidentes en el área de estudio.

Es importante señalar que el apoyo dado por los métodos numéricos aplicados, ha permitido sustentar a los grupos conformados (análisis de conglomerados) y la determinación de los parámetros (análisis discriminante) que se encuentran primordialmente correlacionados y explican la conformación y distribución de los grupos de flora que se han asociado consistentemente, como ha sido documentado con otros métodos por Valiente et al. (2000). Este sustento señalado es el que ha permitido, al menos, para los grupos de especies que se conforman consistentemente intentar modelar su distribución con el uso de él o los parámetros que explican la conformación de tales agrupaciones. Así ha sido el caso del modelaje con la cobertura de temperatura mínima promedio del periodo más frío del año, la cual se considera un parámetro con significado biológico que influye en la distribución de las especies de plantas y en consecuencia permite discriminar entre zonas y grupos de especies que la soportan y aquellas que no (Nix, 1986; Lindenmayer *et al.*, 1995).

No obstante, que en la actualidad el modelaje del nicho ecológico ha adquirido popularidad, sobre todo porque representa una fuente extra de datos que brindan la posibilidad de realizar análisis más completos y más complejos, este ha sido aceptado lentamente. Parece pertinente concluir que no obstante, que estos métodos muestran aún cierto grado de incertidumbre y algunas debilidades, como el no incorporar la capacidad de dispersión de las especies, la influencia de las interacciones bióticas que



ocurren en la naturaleza, así como eventos históricos, resultan ser un elemento que incorpora datos que pueden ser manejados, discutidos y presentados de una forma objetiva. Por lo anterior, existen estudios que consideran al modelaje bioclimático como una herramienta promisorio, con gran utilidad sobre todo ante la carencia de registros adecuados que reflejen la distribución de las especies (Téllez *et al.*, 2003; Téllez *et al.*, 2004; Villaseñor & Téllez, 2004; Martínez, 2005).

Finalmente, también se concluye que las inconsistencias encontradas permitirán rediseñar objetivamente el muestreo estratificado y determinar la distribución de los sitios de muestreo con mayor sustento, y considerando, de ser factible, un mayor número de parámetros ambientales. Se espera que este nuevo diseño refleje con un número razonable, pero adecuado de muestras, los grupos de especies y a su vez estos a los grupos de flora (asociaciones vegetales), que eventualmente permitan realizar un ejercicio de modelaje que permita predecir la distribución de estos ensambles de especies sustentados por datos cuantitativos razonables.

## Apéndice 1

Especies características que tuvieron mayor concurrencia en los grupos de sitios determinados por su composición florística determinado por el análisis de conglomerados.

### Grupo 1

*Agave kerchovei*  
*Agave marmorata*  
*Castela erecta*  
*Cephalocereus columna-trajani*  
*Echinocactus platyacanthus*  
*Ferocactus latispinus*  
*Ipomoea arborescens*  
*Jatropha neopauciflora*  
*Lippia graveolens*  
*Mascagnia parvifolia*  
*Mimosa luisana*  
*Mitrocereus fulviceps*  
*Morkilia mexicana*  
*Myrtillocactus geometrizans*  
*Pedilanthus cymbiferus*  
*Prosopis laevigata*  
*Yucca periculosa*

### Grupo 2

*Acacia subangulata*  
*Agave salmiana*  
*Brongniartia oligosperma*  
*Calliandra eriophylla*  
*Cnidoscolus tehuacanensis*  
*Dasyllirion acrotriche*  
*Echinocactus platyacanthus*  
*Ferocactus robustus*  
*Gochnatia hypoleuca*  
*Gymnosperma glutinosa*  
*Krameria cytisoides*  
*Mammillaria haageana*  
*Mammillaria sphacelata*  
*Morkilia mexicana*  
*Opuntia pilifera*  
*Prosopis laevigata*  
*Ptelea trifoliata*  
*Senna galeottiana*  
*Yucca periculosa*

### Grupo 3

*Acacia constricta*  
*Agave kerchovei*

*Beaucarnea gracilis*  
*Brongniartia oligosperma*  
*Caesalpinia melanadenia*  
*Castela erecta*  
*Celtis pallida*  
*Cephalocereus columna-trajani*  
*Cnidoscolus tehuacanensis*  
*Coryphantha pallida*  
*Echinocactus platyacanthus*  
*Ferocactus latispinus*  
*Ferocactus robustus*  
*Gymnosperma glutinosa*  
*Hechtia glomerata*  
*Jatropha neopauciflora*  
*Lippia graveolens*  
*Mammillaria carnea*  
*Mammillaria haageana*  
*Mammillaria sphacelata*  
*Mascagnia parvifolia*  
*Mitrocereus fulviceps*  
*Morkilia mexicana*  
*Myrtillocactus geometrizans*  
*Opuntia pilifera*  
*Prosopis laevigata*  
*Yucca periculosa*

### Grupo 4

*Acacia constricta*  
*Acacia subangulata*  
*Acanthothamnus aphyllus*  
*Aeschynomene compacta*  
*Agave marmorata*  
*Beaucarnea gracilis*  
*Brongniartia oligosperma*  
*Castela erecta*  
*Celtis pallida*  
*Cercidium praecox*  
*Cnidoscolus tehuacanensis*  
*Coryphantha pallida*  
*Cylindropuntia rosea*  
*Chamaecrista greggii*  
*Echinocactus platyacanthus*  
*Euphorbia antisiphylitica*

*Ferocactus latispinus*  
*Ferocactus robustus*  
*Hechtia glomerata*  
*Hechtia podantha*  
*Ipomoea pauciflora*  
*Jatropha neopauciflora*  
*Lippia graveolens*  
*Mammillaria carnea*  
*Mammillaria sphaelata*  
*Mascagnia parvifolia*  
*Mimosa luisana*  
*Myrtillocactus geometrizans*  
*Neobuxbaumia tetetzo*  
*Opuntia depressa*  
*Opuntia pilifera*  
*Pachycereus hollianus*  
*Prosopis laevigata*

#### **Grupo 5**

*Acacia constricta*  
*Aeschynomene compacta*  
*Bernardia mexicana*  
*Celtis pallida*  
*Cnidoscolus tehuacanensis*  
*Echinocactus platyacanthus*  
*Ferocactus robustus*  
*Gymnosperma glutinosa*  
*Ipomoea muruoides*  
*Karwinskia humboldtiana*  
*Mammillaria carnea*  
*Mammillaria haageana*  
*Morkilia mexicana*  
*Pedilanthus thytimaloides*  
*Senna galeottiana*  
*Yucca periculosa*

#### **Grupo 6**

*Acacia cochliacantha*  
*Actinocheita potentillifolia*  
*Argythamnia coatepensis*  
*Bauhinia deserti*  
*Calliandropsis nervosus*  
*Ceanothus greggii*  
*Cercocarpus fothergilloides*  
*Comarosta phylispolifolia*  
*Coutaportlaghies breghtiana*  
*Erythroxylum compactum*  
*Eysenhardtia polystachya*  
*Garrya ovata*  
*Gochnatia hypoleuca*

*Gymnosperma glutinosa*  
*Ipomoea pauciflora*  
*Jefea pringlei*  
*Leucaena esculenta*  
*Neopringlea viscosa*  
*Pterostemon rotundifolius*  
*Randia capitata*  
*Rhus chondroloma*  
*Rhus virens*  
*Senna galeottiana*  
*Senna holwayana*  
*Senna unijuga*  
*Wimmeria microphylla*  
*Xerospiraea hartwegiana*  
*Zanthoxylum purpusii*

#### **Grupo 7**

*Acacia cochliacantha*  
*Argythamnia coatepensis*  
*Bauhinia deserti*  
*Erythroxylum compactum*  
*Eysenhardtia polystachya*  
*Gochnatia hypoleuca*  
*Gymnosperma glutinosa*  
*Ipomoea pauciflora*  
*Jefea pringlei*  
*Leucaena esculenta*  
*Neopringl viscosa*  
*Senna galeottiana*  
*Senna unijuga*

## Apéndice 2.

Matriz de datos de los los 16 parámetros (columnas) y todos los sitios de cada uno de los grupos (renglones), para generar el análisis discriminante.

Donde gpo = grupo TPA = Temperatura Promedio Anual, ODT = Oscilación Diurna de la Temperatura, ET = Estacionalidad de la Temperatura, TMPPMC = Temperatura máxima promedio del período más caliente, TMPPMF = Temperatura mínima promedio del período más frío, OAT = Oscilación anual de la temperatura, TPCMH = Temperatura Promedio del cuatrimestre más lluvioso, TPCMS = Temperatura Promedio del cuatrimestre más seco, TPCMC = Temperatura Promedio del cuatrimestre más caliente, TPCMF = Temperatura Promedio del cuatrimestre más frío, PA = Precipitación Anual, PPH = Precipitación del período más húmedo, EP = Estacionalidad de la precipitación, PCH = Precipitación del cuatrimestre más lluvioso, PCC = Precipitación del cuatrimestre más caliente y PCF = Precipitación del cuatrimestre más frío

gpos	sitios	TPA	ODT	ET	TMPPMC	TMPPMF	OAT	TPCMH	TPCMS	TPCMC	TPCMF	PA	PPH	EP	PCH	PCC	PCF
1	30	19.9	14.8	0.65	31	8.5	22.5	21.4	17.6	22.2	17.3	487	29	100	244	177	12
1	40	18.6	14.6	0.63	29.6	7.5	22.1	20	16.4	20.8	16.1	532	33	97	269	199	15
1	38	19.3	14.7	0.64	30.3	7.9	22.4	20.7	17	21.5	16.7	520	32	98	263	192	14
1	34	18.9	14.6	0.63	29.9	7.7	22.2	20.3	16.6	21.1	16.3	531	33	98	269	197	15
1	16	20	14.6	0.65	30.9	8.6	22.3	21.4	17.6	22.2	17.3	479	29	100	239	170	12
1	15	20	14.6	0.65	30.9	8.6	22.3	21.4	17.6	22.2	17.3	480	29	100	240	171	12
1	8	19.8	14.6	0.65	30.7	8.5	22.2	20.7	17.5	22.1	17.2	484	29	99	241	171	12
1	G2	19.7	14.9	0.64	30.9	8.2	22.7	21.2	17.4	21.9	17.1	517	32	99	262	193	13
1	71	19.5	15	0.64	30.7	8	22.7	21	16.9	21.7	16.9	514	32	98	260	193	13
1	47	20.1	14.9	0.64	31.2	8.5	22.7	21.5	17.7	22.3	17.4	490	30	100	247	180	12
1	35	19.8	14.8	0.64	30.8	8.3	22.5	21.2	17.4	22	17.1	501	30	99	253	183	12
1	43	20.1	14.8	0.65	31.1	8.5	22.6	21.5	17.7	22.3	17.4	486	29	100	244	177	12
1	41	19.7	14.8	0.64	30.8	8.3	22.5	21.2	17.4	22	17.1	496	30	99	249	181	12
1	45	20.2	14.9	0.65	31.3	8.7	22.7	21.7	17.9	22.5	17.6	479	29	100	241	174	11
1	27	20.3	14.8	0.65	31.3	8.7	22.6	21.7	17.9	22.5	17.6	474	28	101	238	171	11
1	25	20.3	14.8	0.65	31.3	8.7	22.6	21.7	17.9	22.5	17.6	473	28	100	237	170	11
1	24	20.3	14.8	0.65	31.4	8.8	22.6	21.8	17.9	22.6	17.6	468	28	101	235	169	11
1	22	20.4	14.8	0.65	31.4	8.8	22.6	21.8	18	22.6	17.6	466	28	101	233	167	11
1	13	20.4	14.8	0.65	31.5	8.9	22.6	21.8	18	22.7	17.7	457	28	101	229	162	11
1	12	20.4	14.7	0.65	31.4	8.9	22.5	21.3	18	22.7	17.7	458	28	101	229	162	11
1	9	20.4	14.7	0.65	31.4	8.9	22.5	21.3	18	22.7	17.7	457	28	101	229	162	11
1	H3	19	14.8	0.63	30	7.6	22.4	20.4	16.4	21.2	16.4	539	34	98	275	204	15
1	Ga	19.8	14.9	0.64	30.9	8.2	22.7	21.2	17.4	22	17.1	514	32	99	261	192	13
1	G6	20	14.8	0.64	31.1	8.5	22.6	21.5	17.7	22.3	17.4	489	30	100	246	178	12
1	H7	20.1	14.9	0.65	31.2	8.5	22.7	21.5	17.7	22.3	17.4	491	30	100	247	180	12
1	2	18.8	14.4	0.63	29.6	7.7	21.9	20.2	16.5	21	16.2	514	30	97	256	184	14
1	62	19.8	14.9	0.64	30.9	8.2	22.7	21.2	17.4	22	17.1	510	31	99	258	190	13
1	66	19.6	14.9	0.64	30.8	8.1	22.7	21.1	17.3	21.8	17	513	32	98	259	192	13
1	G3	20.1	14.9	0.64	31.2	8.5	22.7	21.5	17.7	22.3	17.4	494	30	100	249	181	12
1	G5	19.9	14.9	0.64	31	8.4	22.6	21.4	17.6	22.1	17.3	499	30	99	252	183	12
1	A3	18.1	14.5	0.63	29	7.1	21.9	19.6	15.5	20.3	15.5	522	30	94	257	209	15
1	Bd	17.6	15.1	0.65	28.8	6.2	22.6	19.2	15	19.8	14.9	512	29	92	252	211	16
1	36	19.6	14.7	0.64	30.6	8.2	22.5	21	17.3	21.8	17	508	31	99	257	186	13
1	33	20.8	15.1	0.66	32	9.1	22.9	22.3	18.4	23.1	18.1	444	27	102	224	161	10
1	14	19.9	14.6	0.65	30.9	8.6	22.3	21.4	17.6	22.2	17.3	480	29	100	240	171	12

Predicción de la distribución de la flora en el Valle de Zapotitlán, por el método de modelaje bioclimático

1	<b>B2</b>	16.3	15.1	0.62	27.5	5.1	22.4	17.9	13.9	18.4	13.8	468	27	91	234	196	16
1	<b>57</b>	18.7	14.7	0.63	29.8	7.5	22.3	20.3	16.2	20.9	16.2	535	34	98	273	204	15
1	<b>54</b>	19.3	14.8	0.63	30.4	7.9	22.5	20.8	17	21.6	16.7	535	34	98	273	201	14
2	<b>C1</b>	16.9	14.8	0.63	28	5.8	22.2	18.5	14.4	19	14.3	502	29	91	247	208	17
2	<b>28</b>	17.7	14.3	0.61	28.5	6.9	21.6	19.3	15.3	19.9	15.3	523	32	96	264	199	15
2	<b>H1</b>	18.3	14.6	0.62	29.3	7.2	22.1	19.9	15.8	20.5	15.8	524	33	97	268	202	15
2	<b>70</b>	17.7	14.3	0.6	28.5	7	21.6	19.3	15.4	19.9	15.3	483	31	97	249	209	14
2	<b>65</b>	18.1	14.5	0.61	29.1	7.1	22	19.7	15.7	20.3	15.7	511	32	97	261	220	14
2	<b>C2</b>	17.1	14.8	0.63	28.2	6	22.2	18.8	14.6	19.3	14.6	508	29	92	250	209	16
2	<b>26</b>	18.3	14.4	0.62	29.3	7.3	22	19.7	16.1	20.5	15.8	544	34	97	275	203	16
2	<b>Aa</b>	18.2	14.5	0.63	29	7.1	21.9	19.6	15.5	20.3	15.5	522	30	94	257	208	15
2	<b>A1</b>	18.5	14.4	0.63	29.4	7.5	21.9	20	15.9	20.7	15.9	515	30	96	255	185	14
2	<b>C3</b>	17.7	14.7	0.64	28.7	6.6	22.1	19.2	15.1	19.9	15.1	519	30	93	255	211	16
2	<b>68</b>	17.4	14.9	0.62	28.6	6.3	22.3	19.1	15	19.6	14.9	457	28	95	232	199	13
2	<b>29</b>	18.3	14.5	0.62	29.2	7.2	22	19.7	15.8	20.5	15.8	532	33	97	268	200	15
2	<b>Ha</b>	18.2	14.5	0.62	29.2	7.2	22	19.8	15.8	20.4	15.7	515	33	97	263	221	15
2	<b>Bb</b>	16.1	14.9	0.59	27.1	5.1	22	17.6	13.7	18.2	13.7	464	27	90	233	192	17
2	<b>B1</b>	16.1	15	0.6	27.3	5.1	22.1	17.7	13.8	18.2	13.7	464	27	90	233	193	17
2	<b>13a</b>	16.2	15	0.61	27.3	5.1	22.2	17.8	13.8	18.3	13.8	465	27	90	233	194	17
2	<b>A4</b>	17.1	14.6	0.63	28.1	6.2	22	18.6	14.6	19.3	14.6	515	29	92	253	211	17
2	<b>Ab</b>	17.7	14.6	0.63	28.6	6.6	21.9	19.1	15.1	19.8	15.1	522	30	93	257	211	16
2	<b>63</b>	18.1	14.5	0.61	29	7.1	21.9	19.7	15.7	20.2	15.6	510	32	97	261	220	14
2	<b>H2</b>	18.6	14.7	0.62	29.6	7.4	22.2	20.2	16	20.8	16	530	34	97	271	203	15
3	<b>B8</b>	18.4	14.9	0.65	29.4	7	22.3	19.9	15.7	20.6	15.7	530	30	93	260	213	15
3	<b>25</b>	20.3	14.8	0.65	31.3	8.7	22.6	21.7	17.9	22.5	17.6	473	28	100	237	170	11
3	<b>37</b>	18.7	14.6	0.63	29.7	7.5	22.2	20.2	16.5	20.9	16.2	532	33	97	269	199	15
4	<b>H8</b>	19.9	14.9	0.64	31	8.4	22.6	21.4	17.6	22.2	17.3	496	30	99	250	182	12
4	<b>D2</b>	19.4	14.3	0.65	30	8.2	21.8	20.2	17	21.6	16.7	523	31	96	261	201	14
4	<b>G1</b>	19.8	14.9	0.64	31	8.2	22.7	21.2	17.5	22	17.2	518	32	99	263	193	13
4	<b>Gb</b>	19.8	14.8	0.64	30.9	8.3	22.6	21.3	17.5	22.1	17.2	502	31	99	254	185	12
4	<b>D1</b>	17.8	14.5	0.63	28.7	6.8	21.9	19.3	15.2	20	15.2	529	30	93	260	211	16
4	<b>I1</b>	18.4	14.5	0.62	29.4	7.3	22	19.8	15.9	20.6	15.9	535	33	97	270	200	15
4	<b>B5</b>	18.2	14.9	0.65	29.2	6.9	22.4	19.7	15.5	20.4	15.5	525	30	93	258	212	15
4	<b>B6</b>	18.7	14.7	0.65	29.7	7.4	22.2	20.3	16.1	20.9	16.1	534	30	94	261	212	15
5	<b>20</b>	20.3	14.8	0.65	31.3	8.8	22.5	21.7	17.9	22.5	17.6	469	28	100	235	168	11
6	<b>4</b>	15.8	13.6	0.51	26	6.1	19.9	16.6	14.1	17.7	13.9	592	33	91	307	193	24
6	<b>3</b>	16.1	13.6	0.54	26.4	6.1	20.3	17.1	14	18	14	540	31	92	274	189	19
6	<b>56</b>	19.8	14.9	0.64	31	8.3	22.7	21.3	17.5	22.1	17.2	519	32	99	264	193	13
7	<b>77</b>	19.2	15.1	0.64	30.4	7.7	22.7	20.8	16.6	21.4	16.6	508	32	98	260	218	13

## BIBLIOGRAFÍA

- Ab'Saber, A. (1987)** *Glossário de Ecologia*. São Paulo, Publicação ACIESP nº57: 271pp.
- Anderson, R. P.; Lew D. y. Peterson. A. T. (2003)**. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Austin, M. P. (1985)** Continuum concept, ordination methods and niche theory. *Ann. Ecol. Syst.* 16:39.
- Austin, M. P (1991)** Vegetation: data collection and analysis. In Margules C. R., Austin, M. P. (Eds.) Nature Conservation: Cost Effective Biological and Data Analysis. *CSIRO*. Australia, pp. 37-41.
- Austin, M. P. y Heyligers, P.C. (1989)** Vegetation survey design for conservation: Gradsect sampling of forests in north-eastern New South Wales. *Biol. Conserv* 50, 13-32.
- Austin, M. P. y Heyligers, P. C. (1991)** New approach to vegetation survey design: gradsect sampling. In: Margules, C.R., Austin, M.P. (Eds.), Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis. *CSIRO*, Australia, pp. 31-36.
- Austin, M. P. y Smith, T. M. (1989)** A new model for the continuum concept, *Vegetatio*, 83, pp. 35-47.
- Austin, M. P. y Meyers, J. A. (1996)** Current approaches to modelling the environmental niche of eucalypts: Implications for management of forest biodiversity. *For. Ecol. Manage* 85, 95-106.
- Barrera, C. C. (2001)** *Descripción y regionalización fisiográfica del Valle de Zapotitlán, Puebla*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México Campus Iztacala. México. 90 p.
- Belbin, L. (1995)** PANT Pattern analysis package user's guide, CSIRO Division of Wildlife and Ecology Canberra.
- Booth, H. T.; Nix, A. H. y Hutchinson, F. M. (1987)** Grid Matching: a new method for homoclimate analysis, *Agricultural and Forest Meteorology*, 39 241-255.
- Box, E. O. (1981)** Macroclimate and plant form: an introduction to predictive modelling in phytogeography. In: Tasks for Vegetation Science 1. *Dr. W. Junk Publishers*, The Hague, 258 pp
- Bravo, H. H. (1930)** Las cactáceas de Tehuacán. *Anales del Instituto de Biología UNAM. Serie Botánica* 1: 87-124.
- Bravo, H. H. (1931)** *Contribución al conocimiento de las cactáceas de Tehuacán*, Tesis Licenciatura, Ciencias, UNAM, México D. F. 51pp.
- Bravo, H. H. (1956)** Iconografía de las cactáceas mexicanas *Neobuxbaumia tetetzo*, *Cactaceas y suculentas mexicanas* 1: 15-16
- Bravo, H. H. (1978)** *Las cactáceas de México*. Vol. I. Universidad nacional Autónoma de México. México. 743 pp
- Braithwaite, R. W. (1991)** Fauna and habitat surveys as ecological pathfinders. In: C. R. Margules and M. P. Austin (Editors), Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis. *CSIRO*, Australia, pp. 23-28.
- Brown, J. H. y Gibson, A. C. (1983)** Biogeography, *St. Louis: C. V. Mosby Company* 643pp.
- Busby, J. R. (1986)** A biogeoclimatic analysis of *Nothofagus cusninghamii* (Hook.) Oesrt. In southeastern Australia, *Aust J. Ecol.* 11: 1-7

- Burger, J. (2000)** Integrating environmental restoration and ecological restoration: long-term stewardship at the department of energy. *Environmental Management* 26(5): 469-478.
- Chapman, A. D. y Busby, J. R. (1994)** Linking plant species information to continental biodiversity inventory, climate modeling and environmental monitoring. En: Miller, R. I. (editor). Mapping the diversity of nature. *Chapman y Hall. London* 179-195.
- Collinge, S. (2001)** Spatial ecology and biological conservation. *Biological Conservation* 100: 1-2.
- Cox, C. B.; Healey, I. N. y Moore, P. D. (1986)** Biogeography: an ecological and evolutionary approach, 3ª Ed. Oxford: Blackwell Scientific Publ. 234 pp.
- Dávila, A. P. (1983)** Flora genérica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Tesis. Maestro en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. 694 p.
- Dávila, A. P.; Villaseñor, J.; Medina, R.; Ramírez, A. Salinas, A.; Sánchez-Ken, J. y Tenorio, P. (1993)** Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Listados florísticos de México, Instituto de Biología UNAM, México, D. F. 195 p.
- ESRI (Environmental Scientific Research Institute) (2000)** ArcView 3.2. ESRI. Redlands. California. U.S.A.
- 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.
- Forman, R. T. T. (1964)** Growth under controlled conditions to explain the hierarchical distributions of a moss, *Tetraphis pellucida*. *Ecological Monographs* 34, 1-25.
- Franklin, J. (1995)** Predictive vegetation mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients, *Progress in Physical Geography* 19, 4: 474-499.
- Futuyma, D. J. (1993)** Biología evolutiva, 2ª Ed. Ribeirao Preto: Sociedade Brasileira de Genética/ CNPq 646 pp.
- Gotilla, M. A. y Granados, D. S. (1981)** Estudio florístico-sinecológico del Valle de Tehuacan, Puebla. VIII Congreso Mexicano de Botánica, Resúmenes de Contribuciones Personales 178.
- Gower, J. C. (1971)** A general coefficient of similarity and some of its properties, *Biometric*, 27: 857-874.
- Guisan, A. y Zimmermann, N. E. (2000)** Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model* 135: 147-186.
- Habálek, Z. (1982)** Coefficients of association and similarity, based on binary (presence-absence) data: an evaluation. *Biol. Rev.* 57: 669-689.
- Haines-Yung, R. (1991)** Biogeographic, *Progress in Physical Geography* 15: 101-13.
- Houlder, D. J., M. F. Hutchinson, H. A. Nix y J. P. McMahon. (2000)** ANUCLIM 5.1 User guide, Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National university, Canberra, Australian Capital Territory.
- 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 groundbased 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. y Gessler, P. E. (1994)** Splines—more than just a smooth interpolator., *Geoderma* 62: 45-67.
- IUCN (1997)** *Red List of threatened plants*, (ed's) Walter, S. K. y Guillet, J. H., IUCN-The World Conservation Union 1998.
- Illies, J. (1974)** Introduction to Zoogeography, *London: Macmillan Press*, 120pp.
- Jaramillo, V. y González, F. (1983)** Análisis de la vegetación arbórea en la provincia florística de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 45:49-64.
- Koppen, W (1936)** Das Geographisches System der Klimate. *Berlin Gerbruder Borntraeger*.
- Ledesma, M. A. R. (1979)** *Tipos de vegetación y algunas características ecológicas en que se desarrolla, en los municipios de Caltepec y Zapotitlán Salinas. Puebla. México* Tesis de licenciatura Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
- Lindenmayer, D. B.; Nix, H. A.; McMahon, J. P.; Hutchinson, M. F. Tanton, M. T. (1991)** The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus liedbeati* (McCoy): a case study of the bioclimatic modelling, *Journal of Biogeography* 18, 371-383.
- Lindenmayer, D. B., Mackey B. G. y Nix, H. A. (1996)** The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from south-eastern Australia. *Australian Forestry* 59: 74-89.
- Lindenmayer, D. B., Mackey, B. G.; Cunningham, R. B.; Donnelly, C. F.; Mullen, I. C.; McCarthy, M. A. y Gill, A.M. (2000)** Factors affecting the presence of the cool temperate rain forest tree myrtle beech (*Nothofagus cunninghami*) in southern Australia: integrating climatic, terrain and disturbance predictors of distribution patterns. *Journal of Biogeography* 27(4): 1001-1010.
- McCune, B. y Mefford, M. J. (1999)** *PC-ORD. Multivariate Analysis of ecological data, version 4.* MJM Software, Gleneden Beach.
- Mackey, B. G. (1993)** Predicting the potential distribution of rain-forest structural characteristics. *Journal of Vegetation Science* 4: 43-54.
- Martínez, M. (1948)** Algunas observaciones relativas a la flora de Cuicatlán, Oaxaca. *Anales del Instituto de Biología, UNAM* 19: 333-364.
- Martínez, T. A.; Ruiz, P, M.; Mestre, I. y Fortenza, V. (1992)** prediction of potential submerged vegetation in a silted coastal marsh, Albufera of Majorca, Balearic Islands. *Journal of Environmental Management* 35: 1-12.
- Meyrán, G. J. (1980)** Guía botánica de Cactáceas y Otras suculentas del valle de Tehuacán. *Sociedad Botánica de Cactología, México*.
- Minchin, P. R. (1989)** Montane vegetation of the Mt. Field massif, Tasmania: A test of some hypotheses about properties of community patterns, *Vegetation* 83, pp. 97–110
- Miranda, F. (1948) Datos sobre la vegetación en la Cuenca alta del Papaloapan. *Anales del Instituto de Biología. UNAM* 19:333-364.
- Mullen, I. (1998)** Mathematical definition of BIOCLIM variables. *Manuscrito no publicado*, ANU. Australia.
- Murguía, M. y Villaseñor, J. (2003)** Estimating the effect of the similarity coefficient and the cluster algorithm on biogeographic classifications, *Ann. Bot. Fennici* 40: 415-421.
- Neave, H. M.; Norton, W. T. y Nix, A. H. (1996)** Biological inventory for conservation evaluation I. Design of the field survey for diurnal, terrestrial birds in southern Australia, *Forest Ecology and Management* 85 107-122.
- Neri, G. D. M, (2000)** *Caracterización Hidrología de la Subcuenca baja del Río Zapotitlán, Puebla.* Tesis de Licenciatura. UNAM, Iztacala Tlalnepantla, Edo. de Méx.



- Nix, H. A. (1982)** Environmental determinants of biogeography and evolution in Terra Australis, *Adelaide Peacock Press* pp. 47-66.
- Nix, H. A. (1986a)** BIOCLIM - a bioclimatic analysis and prediction system. *CSIRO Division of water and land resources, Camberra*, pp 59-60.
- Nix, H. A. (1986b)** A Biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: R. Longmore (ed.) *Atlas of the Elapid snakes of Australia, Flora and Fauna 7*: 4-15.
- Nix, H. A.; Stein J. A. y Stein J. L. (1992)** Developing an environmental geographic information system for Tasmania: An application for assessing the potential for hardwood plantation forestry. Consultancy report to the land Resources Division and Bureau of Rural Resources and Environmental Studies. *The Australia National University. Camberra, Australia*. 174 p.
- Odum, E. P. (1972)** Ecología. *Nueva Editorial Interamericana. México. D.F.* México 639 págs.
- Odum, E. P. (1977)** Ecología. *São Paulo, 3ª ed. Livraria Pioneira* 201pp.
- Osorio, B. O. (1996a)** Descripción de la vegetación en los alrededores del cerro Cutac en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Edo. de Puebla, Tesis de licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Osorio, B. O. (1996b)** Tipos de Vegetación y diversidad en el Valle de Zapotitlán de las Salinas Puebla, México., *Boletín de la sociedad Botánica de México* 59: 35-58
- Palmer, A. R. y Van Staden, J. M. (1992)** Predicting the distribution of plant communities using annual rainfall and elevation: an example from southern Africa, *Journal of Vegetation Science* 3: 261-66
- 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 Dawson, T. P. (2003)** Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12: 361-371
- Peterson, T. A.; Soberón, J. y Sánchez, C. V. (1999)** Conservatism of ecological niches in evolutionary time, *Science* 285: 1265-1267.
- Peterson, T. A.; Egbert, S. L.; Sánchez, C. V. y Price, K. P. (2000)** Geographic analysis of conservation priorities using distributional modeling and complementarity: Endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biol. Conser.* 93: 85-94.
- Pearson, R. G. y Vieglais, A. D. (2003)** Predicting species invasion using ecological niche modeling: New approaches from bioinformatics attack a pressing problem, *Biocience* vol. 15 5: 363-371.
- Peterson, T. A.; Cordero, S. V.; Soberón, J. B.; Buddemeier, W. R. y Singuenza, N. A. (2001)** Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae, *Ecological Modelling* 144: 21-30.
- Rapoport, E. H. (1982)** Areography, *Geographical strategies of species. Pergamon Press., Oxford*.
- Ricklefs, R. E. (1990)** Ecology. 3ª ed. *New York. W. H. Freeman and Co.*, 896 pp.
- Rivas, R. A. (2003)** Levantamiento edafológico semidetallado de la porción norte del Valle de Zapotitlán, Puebla, Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Sánchez, C. V.; Peterson, A. T. y P. Escalante, P. (2001)** El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández, H. M., A. N. García A., F. Alvarez y M. Ulloa (compiladores). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. *Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México*, P. 359-379.
- Sánchez, G. A y López, M. L. (2003)** Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal, *Anales del Instituto*

- de Biología, *Universidad Nacional Autónoma de México. México, Serie Botánica* 74 (1): 47-71.
- Scott, J. M.; Davis, F.; Csuti, B. y Noss, R. (1997)** Gap analysis – a geographical approach to protection of biological diversity, *Wildlife Monographs* 123: 1-41.
- Scott, J. M.; y Csuti, B. (1997)** Gap analysis for biodiversity survey and maintenance. En: Reaka-Kudla, M. L., D. E. Wilson y E. O. Wilson (editores). Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources, *Joseph Henry Press. Washington, D. C. P.* 321-340.
- Skov, F. (2000)** Potential plant distribution mapping based on climatic similarity, *Taxon* 49: 503-515.
- Smith, C. E. (1965)** Flora Tehuacán Valley, *Fieldiana Botany* 31: 101-143.
- Stockwell, B. B. R y Peterson, T. A. (2002)** Effects of sample size on accuracy of species distribution models, *Ecological Modelling* 148: 1-13.
- Téllez, V. O. y Dávila, A. P. (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; Huerta, C. Y. M.; Gómez, T. C. A. y Gutiérrez, G. M. V. (2004)** Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: Estudio de cuatro especies de *Pinus*, *Rev. Cien. Forest. Méx.*, Vol 29 95: 100 p.
- Téllez, V. O; Dávila A. P.; Louis, S. J. y Lira, S. R. (manuscrito no publicado)** Sistema de Información Climática de la Reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán
- Valiente, B. A.; Casas, A.; Alcantara, A.; Davila, A. P., Flores, H. N.; Arizmendi, C. M.; Villaseñor, J. y Ortega, R. J. (2000)** La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 67: 24-74.
- Villaseñor, J. P. (1982)** Las Compositae del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Flora genérica. Ciencias. UNAM. México.* 174 pp.
- Villaseñor, J.; Dávila, A. P. y Chiang, F. (1990)** Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 50: 135-149.
- Villaseñor, J. L y Téllez V. O. (2003)** la distribución potencial de algunas especies vegetales de México
- Vogiatzakis, I. N.; Griffiths, G. H. y Mannion, A. M. (2003)** Environmental factors and vegetation composition, Lefka Ori Massif, Crete, S. Aegean., *Global Ecology y Biogeography* 12: 131-146.
- Whittaker, R. H. (1956)** Vegetation of the Great Smoky Mountains, *Ecol. Monogr* 26, pp. 1–80.
- Whittaker, R. H. (1973)** Direct gradient analysis: results. In: Whittaker, R.H. (Ed.), Ordination and Classification of Communities, *Dr. W. Junk Publishers, The Hague*, pp. 33–51.
- Woodward, F. I. (1987)** Climate and Plant Distribution. 1. Vegetation and Climate, *Cambridge University Pres. Cambridge* 174 pp.
- Woodward, F. I. y Williams, B. G. (1987)** Climate and plant distribution at global and local scales, *Vegetatio* 69: 189-197.
- 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.