



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**REGIONALIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA
DEL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN, PUEBLA,
CON BASE EN ESPECIES DE CACTÁCEAS COLUMNARES**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

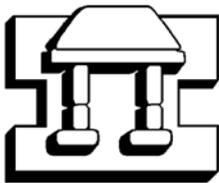
BIÓLOGO

PRESENTA:

BERNARDO SERRANO ESTRADA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MIGUEL MURGUÍA ROMERO



IZTACALA

Los reyes Iztacala, 2010



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.

Agradecimientos

A mis padres

Bernardo Serrano Mondragón y Dulce María Estrada Torres

por haber estado siempre conmigo, por haber estado siempre pendiente de mí, por haber inculcado y fomentado grandes valores, por creer en mí, por apoyarme en todo momento, por motivarme a continuar estudiando cuando estuve a punto de dejar la carrera, por respetarme y respetar mis decisiones aún cuando lo mío sea la música, por tenerme esa confianza, por enseñarme tantas cosas, por guiarme en la vida, por mostrarme que no existen imposibles si uno se lo propone, por darme consejos, por sacrificar muchas cosas por el hecho de yo esté bien, por regañarme cuando ha sido necesario, por no dejarme sólo en ningún momento, por sentirse orgullosos de lo que soy, por ser una motivación para mí, por ser unos modelos a seguir y por ser quienes son.

A mi hermana

Dulce Dafne Serrano Estrada

por su apoyo durante toda mi vida, por ayudarme a leer libros de literatura en preparatoria, por darme ánimos, por enseñarme a aferrarse a las cosas que uno ama y ser terco para conseguirlas, por sus porras y gritos en mis conciertos de rock, por hacerme sentir orgulloso de quien es y todo lo que ha logrado.

A mi familia

por darme un aliento más para continuar, por estar siempre atrás apoyándome y dándome ánimos, por felicitarme y estar orgullosos de mi esfuerzo.

A mis amigos de casa

Jorge “El gom”, Abraham “El caste”, Ariana “La güera”, Yunuen, Alan “Harry el sucio”, Norma “Normis” y Tatiana “Emily Rose”

por darme aliento a continuar estudiando, por los ánimos, por escucharme y darme consejos, por estar ahí siempre y no sólo cuando los necesitaba, por esas fiestas tan buenas, por esos momentos inolvidables y por ser del club de fans de los grupazos.

A mis amigos de mi grupo de rock KDNA Perpetua

Víctor “Shaman king”, David “Gayvid”, Roberto “El guapito” y Enrique “El primo” por el apoyo y la comprensión de estar estudiando biología, por la confianza que me tuvieron, por el tiempo, por sus consejos, por mostrarme que para lograr algo hay que hacer sacrificios, por esos momentos de triunfo y decepción, por esos maratones de desvelos y crudas, por esa amistad y por esos conciertazos.

A mis amigos de la universidad

Axel, Francisco “Paco”, Raúl “Rulas”, Cristian “Criss”, Tania “La enferma”, Lizbeth “Liz”.... y todo el clan

por su apoyo viéndome no sólo como un compañero de escuela sino como un amigo, por haber hecho que las clases y las prácticas de campo fueran divertidas, por cuidarme después de las fiestas y de las quemas de bata.

A mis amigos de mi grupo de electro-rock

por hacerme creer que las cosas son posibles si hay dedicación, compromiso y responsabilidad, por enseñarme a trabajar en equipo, por reconocerme como músico y como biólogo, por respetarme, por animarme a continuar a hacer un buen proyecto y por hacerme tener fe en las cosas.

A mi director de tesis

Dr. Miguel Murguía Romero

por estar siempre pendiente de mí, por haberme guiado durante toda mi tesis, por haberme enseñado tan valiosas cosas aunque no le correspondía y no fueran de la carrera, por darme esa confianza, por haberme apoyado en situaciones importantes para mí fuera de la escuela como el de echarme porras en los conciertos de KDNA Perpetua.

A mis sinodales

Dr. Oswaldo Téllez Valdés, Dra. Patricia Dávila Aranda, Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza y Dr. Daniel Muñoz Iniestra

por haberme ayudado en mi tesis, por mostrarme mis errores, por motivarme a hacer las cosas bien, por haberse preocupado de que yo aprendiera y de que mi trabajo fuera de calidad.

A Ulises Guzmán

por su asesoría en la taxonomía de las cactáceas.

A la FES-Iztacala UNAM

por haberme brindado las herramientas necesarias en mi desarrollo profesional, por haber forjado los conocimientos necesarios para mi desempeño laboral, por una educación de alto nivel, por sus grandes exigencias en el estudio, por haber inculcado los valores tanto de compañerismo como de trabajo en equipo, por la motivación a superarse cada día tanto profesional como personalmente. También doy gracias a esta institución por hacerme sentir orgulloso por el simple hecho de haber estudiado en ella.

A los profesores

que a lo largo de la carrera estuvieron para guiarme y compartir su conocimiento,
por haber brindado un poco de su tiempo no sólo en el ámbito escolar sino
también personal y por preocuparse que la relación no fuera solamente profesor-
alumno sino amigo-amigo.

Al programa de becas "Por amor al planeta" PAPIIT IN212407

por el apoyo económico durante la elaboración de mi tesis.

¡Goya...! ¡Goya...!

¡Cachun, cachun, ra, ra!

¡Cachun, cachun, ra, ra!

¡Goya...! ¡¡UNIVERSIDAD!!

*como no te voy a querer
como no te voy a querer
si mi corazón azul es,
y mi piel dorada,
siempre te querré*

"Por mi Raza hablará el espíritu"

Índice

Resumen	7
1. Introducción	8
2. Antecedentes	13
3. Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos particulares	15
Hipótesis	15
Preguntas	15
4. Área de estudio	16
5. Método	17
Elaboración de bases de datos	17
Cartografía utilizada	17
Modelos de distribución potencial de las especies	20
Análisis de agrupamiento	21
Regionalización	23
6. Resultados	24
Elaboración de bases de datos	24
Cartografía utilizada	27
Modelos de distribución potencial de las especies	28
Análisis de agrupamiento	31
Regionalización	34
7. Discusión y conclusiones	44
Referencias	48

Resumen

La biogeografía estudia los patrones de distribución de las especies en el planeta. Esta ciencia, desde el punto de vista ecológico, toma en cuenta factores físicos como los gradientes latitudinales y longitudinales, variables ambientales y la fisiografía para establecer dichos patrones. Siendo las cactáceas columnares un grupo de plantas de amplia distribución en México y sobretodo en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC), Puebla, este trabajo tuvo por objetivo regionalizar al VTC con base en los patrones de distribución de las especies de cactáceas columnares y cuantificar la heterogeneidad del perfil altitudinal dentro y entre cada región para establecer posibles relaciones entre la altitud y la distribución de las especies. Para esto se recopiló una lista de las especies de cactáceas columnares en el VTC y se construyó una base de datos biogeográfica. Se elaboró un nuevo polígono del VTC dividiéndolo en UGOs. Se elaboraron modelos de distribución potencial (BIOCLIM) de las especies de cactáceas columnares y con base en ellos se construyó una matriz de presencia-ausencia para realizar un análisis de agrupamiento y obtener una regionalización biogeográfica del VTC. Se registraron 19 especies de cactáceas columnares, de las cuales 5 son consideradas endémicas al VTC. La regionalización del VTC formó 6 regiones bien definidas. El VTC con 11 de los 15 géneros de cactáceas columnares existentes en México, representa una de las zona con mayor riqueza de especies de este grupo de plantas. Se encontró que existe una correlación entre la riqueza y la altitud, la cual se refleja en ciertos patrones encontrados. La importancia de proponer una regionalización del VTC radicó en hacer una delimitación del territorio con algunas de sus características biológicas y de la altitud, la cual ha permitido revisar incluso algunas de las variables que determinan la distribución de las especies y grupos de éstos; al mismo tiempo ha permitido definir una delimitación que permite reconocer las unidades naturales que conforman el Valle. La regionalización del VTC es una herramienta de gran importancia, ya que puede ser usada para establecer estrategias en la conservación de las cactáceas columnares.

Palabras clave: Regionalización, Biogeografía, cactáceas columnares.

1. Introducción

La biogeografía es el estudio de los patrones de distribución de los organismos en el espacio y en el tiempo (Barry *et al.*, 1976). Ésta relaciona a cada especie con los patrones de variación de sus poblaciones sobre la Tierra (Brown y Lomolino, 1998; Lomolino *et al.*, 2006), es decir, pretende responder a la pregunta ¿por qué un lugar puede tener más especies o menos que otros lugares? (Espinosa y Llorente, 1993).

La biogeografía, desde el punto de vista histórico, es una ciencia que estudia sistemas que han seguido la misma trayectoria evolutiva. Bajo este contexto, la distribución de las especies debe deducirse a partir de su historia, es decir, a partir de una escala de tiempo geológico, y no de los factores geográficos actuales nada más (Rojas, 2007).

Desde el punto de vista ecológico, las clasificaciones bióticas que realiza la biogeografía se basan en la composición taxonómica de las áreas geográficas y las agrupa de acuerdo a las especies o taxones que comparten entre sí, tomando en cuenta su semejanza.

En los últimos años también se ha enfocado a la definición de áreas prioritarias para la conservación, con base en el uso de algoritmos que permiten elaborar modelos de predicción de los patrones espaciales de la biodiversidad (Rojas, 2007). Algunos ejemplos de estos algoritmos son GARP (Algoritmos Genéticos para la Producción de conjunto de Reglas, por sus iniciales en inglés; Stockwell y Peters, 1999), GAP (Grupos, Algoritmos y Programación, por sus iniciales en inglés; Butler, 1991) y BIOCLIM (Sistema de Predicción Bioclimática; Busby, 1986, 1991), entre otros. Los modelos BIOCLIM muestran la distribución potencial de las especies mediante un análisis de la distribución de los registros de colecta sobre cada variable ambiental que la limita (Naoiki *et al.*, 2006). Este algoritmo, mediante perfiles bioclimáticos, asigna las localidades donde se presenta la combinación de las condiciones para las especies con la finalidad de generar un mapa (Villaseñor y Téllez, 2004).

Hay grandes controversias entre distintos autores acerca de los conceptos y existencia de la biogeografía ecológica y la histórica. Algunos autores, como

Hengeveld (1990), consideran que no existe la biogeografía histórica. Este autor concibe a la biogeografía como una forma de ecología a gran escala, y por tanto sustenta que toda la biogeografía debe ser ecológica.

Bajo otro enfoque, algunos investigadores como Myers y Giller (1988) están de acuerdo con la existencia tanto de la biogeografía ecológica como de la histórica, ya que la única diferencia entre ambas es el nivel de escala en el tiempo a la que trabajan, y por ende, las dos tienen validez en sus respectivos enfoques. De acuerdo con esto, la biogeografía ecológica estudia los hechos relacionados con la distribución individual de cada especie, principalmente a escala local, suponiendo que la distribución opera en un corto plazo y su naturaleza es netamente ecológica. A diferencia de la biogeografía ecológica, la histórica estudia los patrones de distribución pero a escala globales, es decir, toma en cuenta los intervalos evolutivos y considera que los factores que los producen son de naturaleza histórica (Myers y Giller, 1988).

A pesar de la diferencia de opiniones de los autores acerca de los distintos enfoques de la biogeografía, en la actualidad la biogeografía ecológica ha resultado ser una forma válida de estudiar la distribución espacial de los organismos.

Debido a la disponibilidad de un gran número de datos, la biogeografía ecológica ha incorporado herramientas y métodos informáticos para analizarlos de manera más eficaz (Crovello, 1981). Se apoya en la biogeografía cuantitativa, que es un conjunto de técnicas de análisis, que constituyen en realidad un método y no una ciencia en sí (Murguía y Rojas, 2001). La biogeografía cuantitativa emplea métodos cuantitativos y usa programas de computadoras para realizar análisis univariados y multivariados, gráficas y estadísticas (Crovello, 1981); muchas de esas técnicas son tomadas directamente de la taxonomía numérica, concebida desde el punto de vista de Sneath y Sokal (1973).

Los análisis biogeográficos cuantitativos pueden ser de modo Q o de modo R. Los análisis de modo Q exploran las relaciones entre las subregiones del área de estudio o también llamadas UGO (Unidad Geográfica Operativa; Crovello, 1981; Murguía y Llorente, 2003), a partir de los taxones que en ellas se

distribuyen, mientras que los de modo R exploran las relaciones entre taxones a partir de sus datos de distribución (Murguía y Rojas, 2001).

La biogeografía cuantitativa incluye técnicas como los índices de similitud, matrices de presencia-ausencia y matrices de similitud, también utiliza métodos de agrupación. Esta última es una aproximación fenética, es decir, realiza un análisis con base en la similitud de los patrones de distribución de las especies entre regiones; los fenogramas y las regionalizaciones brindan esquemas útiles al biogeógrafo.

Existen varios criterios para comparar dos o más regiones, uno de ellos es expresado en los índices de similitud, que son una manera de medir la semejanza entre dos conjuntos de áreas, taxones o biotas. Esto implica construir una matriz de presencia y ausencia de los taxones en cada una de las UGOs (Murguía y Llorente, 2003). Así se muestran todas las combinaciones de taxones contra cada UGO. Se llena cada entrada o celda de la matriz con un `0´ indicando que la especie está ausente en esa UGO y con un `1´ si está presente. Posteriormente, con el apoyo de software especializado (v.gr. Murguía, 1998), la matriz de presencia-ausencia se procesa para generar la matriz de similitud (Murguía y Rojas, 2001). La matriz de similitud se analiza por medio de la aplicación de algoritmos definidos, con la finalidad de generar un dendrograma, por ejemplo, aplicando métodos de agrupamiento (Sneath y Sokal, 1973). Este dendrograma no muestra relaciones filogenéticas o cladísticas, sino las relaciones de similitud de los taxones o las UGOs que han sido previamente calculadas en términos de porcentaje de similitud. Como la comparación se realiza utilizando similitud global, es decir, fenéticamente, a dichos dendrogramas se les denomina fenogramas (Crovello, 1981).

Así, uno de los aspectos que se pretende conocer es la similitud biogeográfica entre dos UGOs; teniendo en cuenta que mientras mayor sea el porcentaje de especies en común que contienen dos áreas, mayor será su similitud (Murguía y Rojas, 2001). La finalidad de estos análisis es generar una regionalización, que consiste en la división de un territorio en áreas menores con características comunes, en la que se incluye toda la heterogeneidad ecológica

que prevalece dentro de un determinado espacio geográfico (CONABIO, 2004). Para que un estudio biogeográfico sea lo más cercano a la realidad también se deben tomar en cuenta variables tales como son la latitud, altitud y la fisiografía, mejor conocidas como variables predictoras seleccionadas, ya que se consideran causantes de la distribución de las especies (Guisán *et al.*, 1999 en De Pando y Peñas, 2007).

Este trabajo tiene como objeto de estudio a las cactáceas columnares, para analizar la relación de la altitud con el patrón de distribución de sus diferentes especies.

La familia *Cactaceae* comprende alrededor de 82 géneros con 1438 especies (Hunt *et al.*, 2006). Es una familia de plantas muy diversa que expone gran variedad de formas y tamaños en toda su área geográfica (Altesor y Ezcurra, 2003 en Valverde *et al.*, 2006). Están distribuidas ampliamente desde Canadá, cruzando Estados Unidos hasta el sur de México, incluyendo las islas Galápagos y llegando hasta América del Sur (Anderson, 2001 en Dawn y Lynn, 2008). Crecen principalmente en ambientes áridos y semiáridos, siendo capaces de adaptarse gracias a sus características fisiológicas tal como la vía fotosintética, el Metabolismo del Ácido de las Crasuláceas (CAM), o la eficiencia en el uso de agua, a través de sus rasgos morfológicos tales como los tallos suculentos, costillas, espinas y pubescencia apical (Valverde *et al.*, 2006). También se pueden encontrar en zonas subtropicales y tropicales húmedas (Bravo y Scheinvar, 1995), hacia donde su diversidad disminuye drásticamente (Hernández y Godínez, 1994).

México es considerado el mayor centro de diversidad de la familia *Cactaceae* cubriendo alrededor del 48% del territorio mexicano (Goettsch y Hernández, 2005). Recientemente se han registrado 63 géneros y 913 especies de cactáceas (Guzmán *et al.*, 2003), estimando que el 73% de los géneros y el 78% de las especies son endémicas (Hernández y Godínez, 1994). La Convención sobre Comercio Internacional de Especies en Peligro de Extinción (CITES) estima que muchas están amenazadas (SEMARNAT, 2001) y 36 especies se encuentran en peligro de extinción (CITES, 1990). Esto se debe a las presiones del desarrollo humano como la sobreexplotación de las poblaciones

naturales de estas plantas (Álvarez y Montaña, 1997; Arriaga *et al.*, 2000), al saqueo y comercio ilegal, además de la destrucción de su hábitat (Hernández *et al.*, 2007). Se estima que 197 especies mexicanas de esta familia, es decir, el 35% del total, están amenazadas (Hernández y Godínez, 1994). En particular la región de Tehuacán-Cuicatlán representa una de las áreas más afectadas por este problema. En esta región se han estimado 82 especies de cactáceas (Dávila *et al.*, 1993), de las cuales 21 son endémicas (Méndez *et al.*, 2006).

Esta riqueza incrementó el interés para la conservación de cactáceas en toda la reserva y en regiones cercanas, donde algunas comunidades están directamente implicadas en el conocimiento y uso de los recursos, tales como las cactáceas columnares (Guízar *et al.*, 2005). En México este grupo está representado por 15 géneros y 62 especies, de las cuales 46 especies son endémicas (Arias *et al.*, 1997; Mourelle y Ezcurra, 1997; Guzmán *et al.*, 2003), mientras que en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC) existen 11 géneros y 20 especies, de las que 18 se destinan a uno o más usos y 5 son consideradas endémicas (Dávila *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2006). Casi todos los géneros de cactáceas columnares de México están presentes en el VTC, a excepción de *Backebergia*, *Carnegiea*, *Lophocereus* y *Pterocereus* (Guzmán *et al.*, 2003).

2. Antecedentes

A pesar de que México es el país con la mayor diversidad de cactáceas en el mundo, existen pocos estudios biogeográficos acerca de sus patrones de distribución, aunque se han realizado estudios analizando la distribución de la riqueza de especies de cactáceas columnares de México. Ezcurra (1997), determinó la asociación entre la riqueza de especies de cactáceas columnares y las variables ambientales que afectan su distribución. El autor obtuvo tres centros de alta diversidad de especies de cactáceas columnares, uno de ellos está localizado en la franja de la Depresión del Balsas y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el cual posee un alto grado de endemismo. De manera que estas regiones del sur deben de ser prioritarias para la conservación de las cactáceas columnares.

En otro trabajo (Dávila *et al.*, 2002) estudiaron la fitogeografía de las cactáceas columnares, considerando sus patrones de distribución en relación con la riqueza de especies y los niveles de endemismo. Se obtuvo que la mayoría de las especies de este grupo se distribuye en México hacia la región de la Depresión del Balsas y Valle de Tehuacán-Cuicatlán, siendo una zona de gran endemismo.

En un estudio más reciente (Méndez *et al.*, 2006) propusieron el establecimiento de zonas prioritarias dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), ya que este territorio posee una gran riqueza de especies y endemismos. Se propusieron cuatro zonas núcleo en la RBTC basadas en la riqueza de las familias de plantas *Asteraceae*, *Cactaceae*, *Leguminosae* y *Poaceae*. Estas cuatro zonas núcleo representan sólo el 21.8% del área total de la reserva pero incluyen a la mayoría de las especies (72.54%) y de los endemismos (67.8%).

Otro trabajo relacionado con la biogeografía de cactáceas columnares es el de Mourelle y Ezcurra (1997), en el cual se fundamenta la idea de que los rangos geográficos de distribución de las especies aumentan desde los trópicos hacia los polos. Este es un estudio comparativo que muestra la relación entre la latitud media y el rango latitudinal de las áreas de distribución de las especies de cactáceas columnares en el norte y sur de América, conocida como la regla de

Rapoport. Para el norte de América se utilizaron las especies de México y para el sur las de Argentina, encontrando que en las mexicanas existe una correlación significativa entre su área de distribución media y la latitud media y el ancho continental medio, mientras que en las argentinas no se presentó una asociación lineal significativa. Se concluyó que, tanto en el norte como en el sur, las variaciones de los rangos latitudinales disminuyen significativamente hacia el ecuador.

3. Objetivos

Objetivo general

Regionalizar al Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC) con base en los patrones de distribución de las especies de cactáceas columnares y cuantificar la heterogeneidad del perfil altitudinal dentro y entre cada región para establecer posibles relaciones entre la altitud y la distribución de las especies.

Objetivos particulares

- 1) Generar una propuesta de regionalización del VTC, y la descripción de cada región mediante un perfil que incluya aspectos generales, tanto bióticos como abióticos.
- 2) Cuantificar la heterogeneidad del VTC, de acuerdo con la altitud que puede afectar la distribución de las cactáceas columnares.

Hipótesis

Si la distribución de las especies de cactáceas columnares se debe a la interacción de factores físicos como el gradiente latitudinal, altitudinal y otras variables como la fisiografía, entonces, una regionalización del territorio con base en la distribución de estas especies producirá regiones con mayor homogeneidad ambiental en su interior que entre ellas.

Preguntas

- 1) ¿Qué regiones se forman considerando la similitud de la presencia de las especies de cactáceas columnares en el VTC?
- 2) ¿Qué tanto se correlacionan las variables ambientales con la distribución de las especies de cactáceas columnares en el VTC?
- 3) ¿Qué tan heterogénea u homogénea es la zona del VTC, de acuerdo a estas variables?

4. Área de estudio

El 18 de septiembre de 1998 se decretó dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC; Fig. 1), que está localizada entre las latitudes 17° 39' y 18° 53' y longitudes 96° 55' y 97° 44', cubriendo una superficie de 490,187 ha y con una altitud que varía entre los 600 y 2950 msnm (Gutiérrez, 2007).

La provincia fitogeográfica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán abarca 10,000 km²; pasa por las Sierras de Juárez, Zongolica y Tecamachalco en la parte sureste-noroeste, en la parte sureste del estado de Puebla y noroeste del de Oaxaca. Fisiográficamente, forma parte de la provincia Mixteca-Oaxaqueña. El clima que predomina es semiárido. Comprende distintos tipos climáticos, cálidos con precipitación anual de 700-800 mm (Teotitlán, Dominguillo y Cuicatlán); semicálidos con precipitación de 400-500 mm (Tehuacán, Zapotitlán); y templados con precipitación anual de 600 mm en la sierra de Tecamachalco. El tipo de roca y los suelos son someros, pedregosos, halomórficos con diferente alcalinidad y salinidad (cambisoles y xerosoles cálcicos; Téllez *et al.*, 2007).

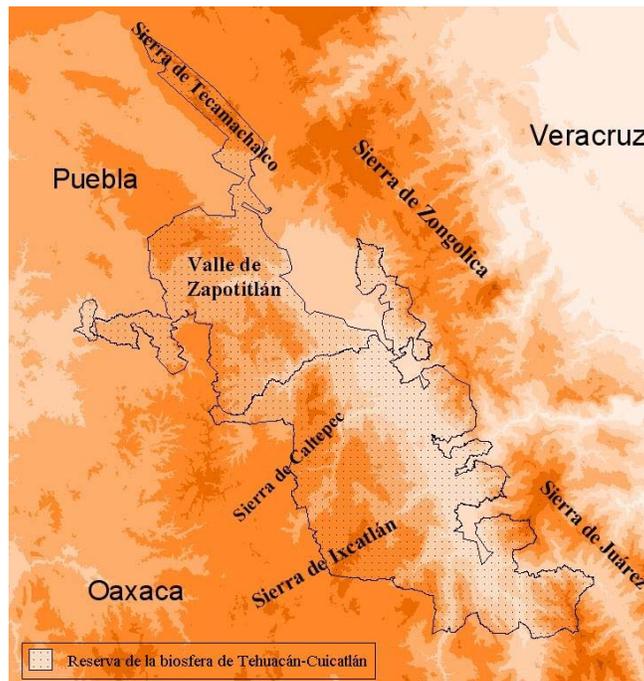


Figura. 1 Valle de Tehuacán-Cuicatlán y Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

5. Método

Elaboración de bases de datos

Se recopiló una lista de las especies de cactáceas columnares en el VTC. Las fuentes de información fueron los registros encontrados en las bases de datos de Ezcurra (1997), Dávila (2000), Méndez *et al.* (2006) y la asesoría de especialistas. Se construyó una base de datos biogeográfica de las especies de cactáceas columnares en el VTC con base en Ezcurra (1997), Dávila (2000), Téllez (2008) y en la bibliografía (Méndez *et al.*, 2004 y 2006). Se aplicó un análisis estadístico a partir de estimadores de riqueza con el índice Chao 2 (Colwell y Coddington, 1994; Moreno, 2001), para analizar la calidad de datos de estos registros en la base de datos construida. La fórmula que se usó fue:

$$S_{est} = S_{obs} + Q_1^2 / (2Q_2)$$

donde S_{est} es la riqueza estimada, Q_1 es el número de especies en una sola muestra y Q_2 es el número de especies en dos muestras o regiones. A partir del índice Chao 2 se calculó el error E_s con respecto al siguiente estimador:

$$E_s = 1 - S_{obs}/S_{est}$$

en la que E_s toma valores de 0 a 1 ya que la S_{obs} no puede ser mayor a la S_{est} . También se calculó la calidad de los registros de muestreo Q_s con un estimador que combina a las dos fórmulas anteriores:

$$Q_s = F / (S_{obs}m / (1 - E_s) - \max(S_{obs}, m))$$

en donde se obtiene para Q_s un número entre 0 y 1, F es la suma de la riqueza de cada una de las muestras y m el número de sitios muestreados (Murguía y Villaseñor, 2000).

Cartografía utilizada

La cartografía digital utilizada fue el polígono de la RBTC (DOF, 1998; tomado de CONABIO, 2008), el polígono del VTC (Dávila *et al.* 1993; versión digital disponible en Murguía y Serrano, 2009) y el modelo digital de elevación (INEGI,

2008) (Fig. 2). Todos los análisis de este estudio se hicieron a partir del polígono de Dávila *et al.* (1993), modificado en el programa ArcView 3.1 (Waters y Shockley, 2000; Fig. 3), con la finalidad de que el nuevo polígono del VTC incluyera toda la RBTC. El VTC fue dividido en UGOs en forma de cuadros (Soberón *et al.*, 2000), para lo que fue construida una rejilla de 1x1 minutos (Fig. 3). Para obtener la altitud promedio de cada UGO se colocó el polígono del VTC junto con la rejilla de 1x1 minutos sobre el modelo digital de elevación.

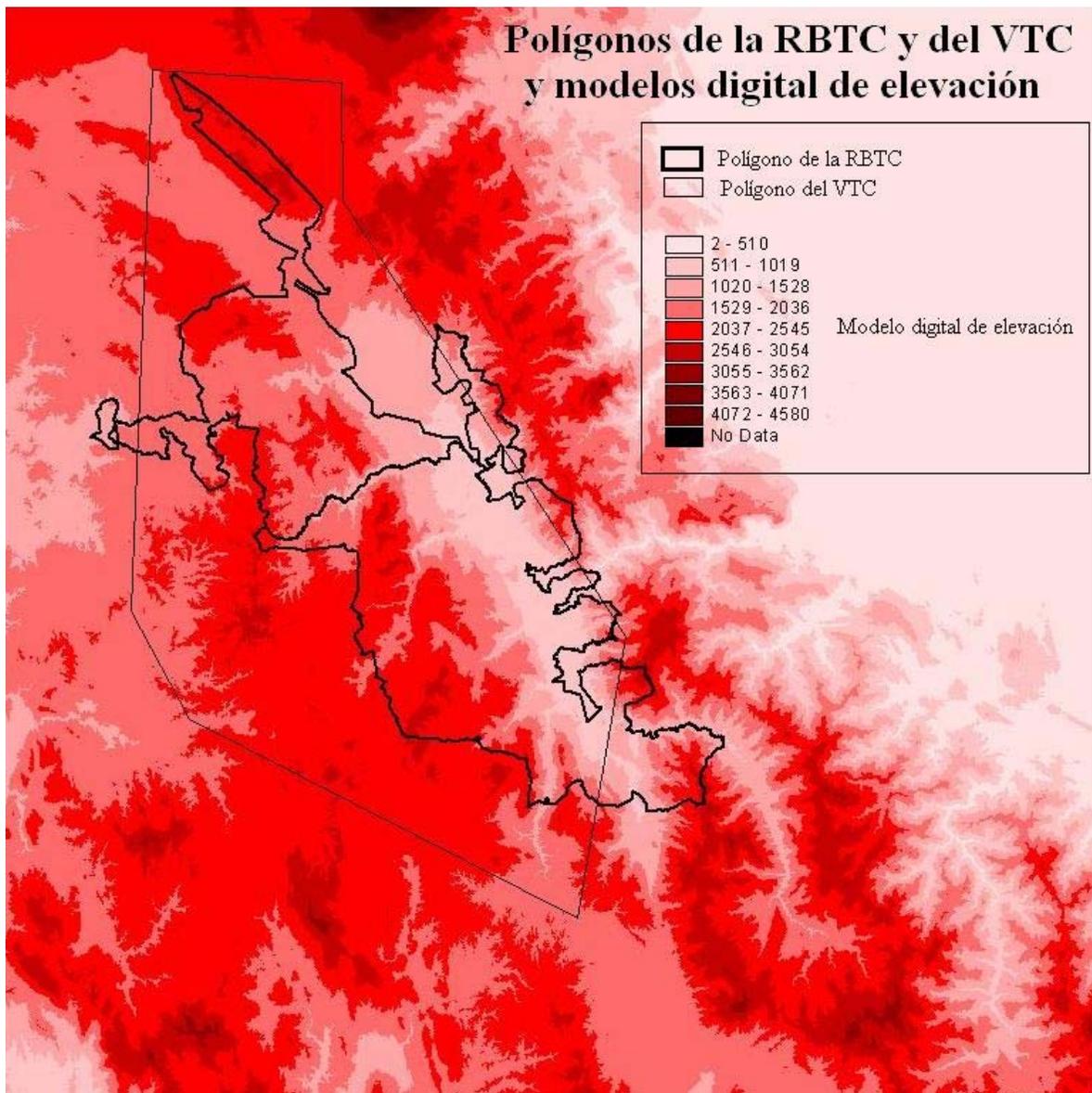


Figura 2. Polígonos de la RBTC y del VTC sobre modelo digital de elevación.

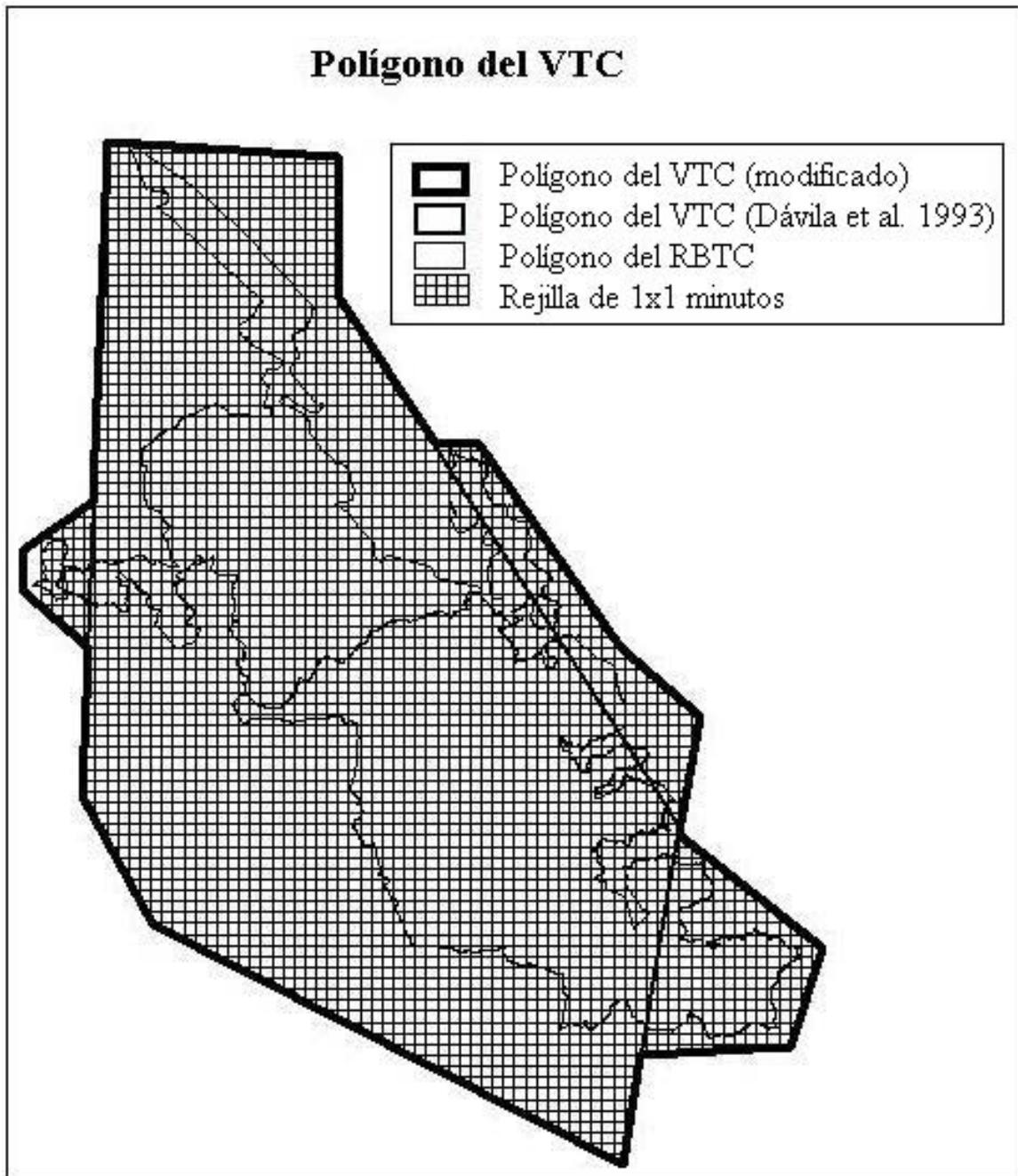


Figura 3. Área de estudio: polígono del VTC modificado.

Modelos de distribución potencial de las especies

Se elaboraron modelos que representan gráficamente la distribución potencial de las especies. Se realizaron de 3 a 7 modelos BIOCLIM (Busby, 1986; 1991) para cada una de las especies, de acuerdo a las especies utilizadas con el programa Anuclim 5.1 (Houlder *et al.*, 2000), considerando 19 variables ambientales (Tabla 1). Estos modelos se obtuvieron a partir de la construcción de fenogramas con el método jerárquico de Bray-Curtis (Stephen, 1981) en el software PATN (Belbin, 2004). La razón de generar varios modelos por especie fue el de descartar datos que pudieran generar una sobrestimación en su distribución. Los modelos fueron exportados al software Arcview 3.1 (Waters y Shockley, 2000), para generar un solo modelo por especie.

Tabla 1. Variables ambientales usadas para contribuir a los modelos BIOCLIM.

1	Temperatura media anual
2	Rango medio diario
3	Isotermas
4	Estacionalidad de temperatura
5	Temperatura máxima del periodo más cálido
6	Temperatura mínima del periodo más frío
7	Rango de temperatura anual
8	Temperatura media del trimestre más seco
9	Temperatura media del trimestre más húmedo
10	Temperatura media del trimestre más cálido
11	Temperatura media del trimestre más frío
12	Precipitación anual
13	Precipitación del periodo más seco
14	Precipitación del periodo más húmedo
15	Estacionalidad de precipitación
16	Precipitación del trimestre más seco
17	Precipitación del trimestre más húmedo
18	Precipitación del trimestre más cálido
19	Precipitación del trimestre más frío

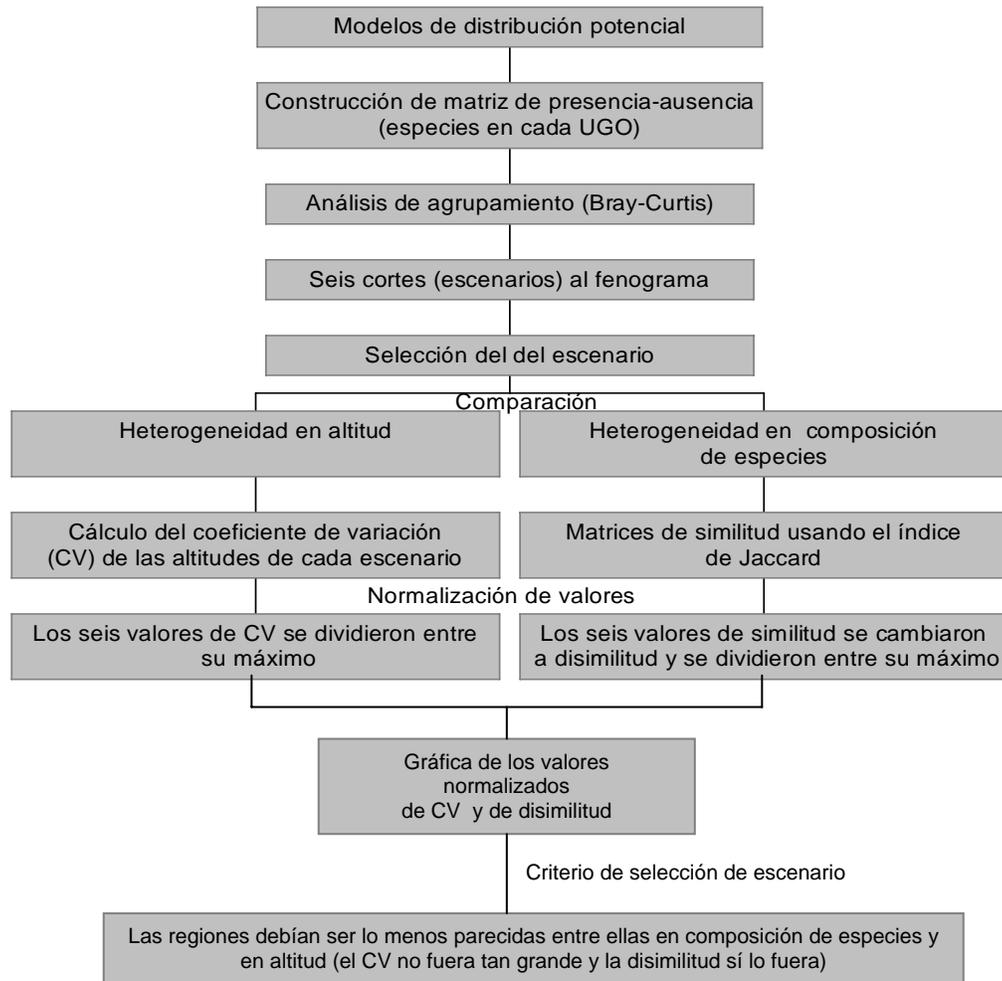
Análisis de agrupamiento

Con base en los modelos de distribución potencial de las especies de cactáceas columnares, se construyó una matriz de presencia-ausencia de las especies que se presentan en cada UGO. A partir de esta matriz, se realizó un análisis de agrupamiento para obtener una regionalización biogeográfica del VTC usando el método jerárquico de Bray-Curtis (Stephen, 1981). Se hicieron seis cortes de acuerdo a los niveles de similitud del fenograma. Con la finalidad de elegir un escenario de entre los seis propuestos a partir del fenograma generado, se realizó una comparación entre la heterogeneidad en altitud y la composición de especies. Se consideró como un “buen” escenario aquel en el que los grupos no se parecen en su composición de especies, es decir, cada grupo de UGO tiene un grupo de especies que no comparte con otros grupos. También un “buen” escenario es aquel en el que las diferencias en altitud entre los grupos de UGOs es alta, por ejemplo, cada grupo representa una zona con orografía homogénea, o un valle. Por lo anterior, se obtuvieron dos valores promedio para cada escenario: el primero fue el promedio en diferencias de altitud y el segundo el promedio en diferencias en composición de especies. Para el primero, se calculó el coeficiente de variación (CV) de las altitudes de cada escenario, obteniéndolo de la desviación estándar sobre el promedio de todas las altitudes (σ / \bar{x}). Y para el segundo, se construyó una matriz de presencia-ausencia para cada escenario y se obtuvieron las matrices de similitud usando el índice de similitud de Jaccard (Sneath y Sokal, 1973; Real y Vargas, 1996; Murguía y Rojas, 2001) con la fórmula: $J = |A \cap B| / |A \cup B|$

donde $A \cap B$ son las especies que se encuentran en A y B simultáneamente y $A \cup B$ es el total de especies. Se promediaron todos los valores de similitud de cada matriz, obteniendo seis valores promedio de similitud, uno para cada escenario. Por cuestión práctica, se aplicó una normalización a los valores de CV y de similitud (diferencias en altitud y en composición de especies) para acotar los valores al intervalo entre 0 y 1, y además, para que en la gráfica las dos curvas se intersectaran y fuera más fácil de observarla y analizarla. En lo que consistió esta normalización, fue que los seis valores de similitud se cambiaron a disimilitud, $(1 -$

Jaccard) y se dividieron entre su máximo. De igual manera, los valores de CV se dividieron entre su máximo. Se graficaron estos valores de CV (diferencias en altitud) y de disimilitud (diferencias en especies) ya normalizados de los seis escenarios. El criterio que se tomó en cuenta para elegir el escenario fue que las regiones formadas en el VTC debían ser lo menos parecidas entre ellas en composición de especies y en altitud, es decir, que el CV de las altitudes de los grupos no fuera tan grande, y que la disimilitud entre sí, sí lo fuera de acuerdo a la presencia de especies de cactáceas columnares, al mismo tiempo de evitar la presencia de demasiados grupos para obtener una regionalización general.

Análisis de agrupamiento



Esquema 1. Organigrama de la parte metodológica de “Análisis de agrupamiento”.

Regionalización

Utilizando el programa Arcview 3.1 (Waters y Shockley, 2000) se incorporó el polígono del VTC junto con la rejilla de 1x1 minutos, y a partir del escenario que cumplió con el mejor criterio (explicado en la sección anterior), se realizó la división de las subregiones. Para comprobar si la regionalización del territorio con base en la distribución de las cactáceas columnares reflejó un agrupamiento de la altitud, se realizó un análisis de varianza ANOVA de más de dos tratamientos (Zar, 1999), que consistió en determinar si existen diferencias significativas con respecto a la altitud dentro de cada región y entre las regiones. Se elaboraron también los perfiles de las subregiones propuestas para el VTC, que describen la regionalización obtenida. De esta manera, se conocieron los patrones de distribución de las especies de cactáceas columnares en el VTC.

6. Resultados

Elaboración de bases de datos

La homogenización de la información fuente (Ezcurra, 1997; Dávila *et al.*, 2000; Méndez *et al.*, 2004 y 2006; Téllez, 2008) incluyó la detección de sinonimias. Se clarificó la sinonimia para los nombres aceptados de *Lemaireocereus hollianus*, *Marginatocereus marginatus*, *Pseudomitrocereus fulviceps* y *Stenocereus dumortieri*. La lista de especies en este trabajo se integró tomando los nombres aceptados por Guzmán *et al.* (2003). Se registraron 19 especies de cactáceas columnares en el VTC (Tabla 2), de las cuales *Cephalocereus columna-trajani*, *Lemaireocereus hollianus*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *Polaskia chende* y *Pseudomitrocereus fulviceps* son consideradas endémicas al VTC. En la elaboración de esta lista de especies, *Stenocereus beneckeii* tiene únicamente un registro en la base de datos de Ezcurra (1997), razón por la cual no se considera en esta lista.

Tabla 2. Lista de especies de cactáceas columnares del VTC.

	Especie	Autor	Referencia	Distribución por entidad federativa	Endémica al VTC
1	<i>Cephalocereus columna-trajani</i>	(Karw. ex Pfeiff.) K. Schum.	In Engl. & Prantl, Nat. Pflanzenfam. 3(6a): 182. 1894.	OAX, PUE.	Si
2	<i>Escontria chiotilla</i>	(F.A.C. Weber ex K.Schum.) Rose.	Contr. U.S. Natl. Herb. 10: 126. 1906.	GRO, MICH, OAX, PUE.	No
3	<i>Lemaireocereus hollianus</i>	(F.A.C. Weber ex J.M.Coult.) Britton & Rose.	Contr. U.S. Natl. Herb. 12: 425. 1909.	OAX, PUE.	Si

4	<i>Marginatocereus marginatus</i>	(DC.) Backeb.	Cactaceae (Berlin) 1942: 77. 1942.	AGS, COL, DGO, GTO, OAX, PUE, QRO, SLP, ZAC.	No
5	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	(Mart. ex Pfeiff.) Console, Boll.	Reale Orto Bot. Palermo 1: 10. 1837.	AGS, DGO, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NL, OAX, PUE, QRO, SLP.	No
6	<i>Myrtillocactus schenckii</i>	(J.A.Purpus) Britton & Rose.	Contr. U.S. Natl. Herb. 12: 427. 1909.	OAX, PUE.	No
7	<i>Neobuxbaumia macrocephala</i>	(F.A.C. Weber ex K.Schum.) E.Y.Dawson.	Cact. Succ. J. (Los Angeles) 24: 173. 1952.	PUE.	Si
8	<i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i>	(Bravo) Backeb.	Beitr. Sukkulentenk. Sukkulentenpfl ege 1941: 3. 1941.	GRO, JAL, MICH, MOR, OAX, PUE.	No
9	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	(F.A.C. Weber) Backeb.	Blätt. Kakteenf. 6. 1938.	OAX, PUE.	No
10	<i>Pachycereus grandis</i>	Rose in Britton & Rose.	Contr. U.S. Natl. Herb. 12: 421. 1909.	MEX, MICH, MOR, OAX, PUE.	No
11	<i>Pachycereus weberi</i>	(J.M.Coult) Backeb.	Die Cactaceae 4: 2152. 1960.	GRO, MICH, MOR, OAX, PUE.	No
12	<i>Pilosocereus chrysacanthus</i>	(F.A.C. Weber ex K.Schum.) Byles & G.D. Rowley.	Cact. Succ. J. Gr. Brit. 19: 66. 1957.	GRO, OAX, PUE.	No

13	<i>Polaskia chende</i>	(Gosselin) A.C.Gibson & K.E.Horak.	Ann. Missouri Bot. Gard. 65: 1006. 1979.	OAX, PUE.	Si
14	<i>Polaskia chichipe</i>	(Gosselin) Backeb.	Blatt. Sukkulentk. 1: 4. 1949.	OAX, PUE.	No
15	<i>Pseudomitrocereus fulviceps</i>	(F.A.C. Weber ex K.Schum.) Brao & Buxb.	In Buxb., Bot. Stud. 12: 99. 1961. Pr	OAX, PUE.	Si
16	<i>Stenocereus dumortieri</i>	(Scheidw.) Buxb.	Botanische Studien 12: 92. 1961.	AGS, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, OAX, PUE, QRO, SLP, VER, ZAC.	No
17	<i>Stenocereus pruinusus</i>	(Otto ex Pfeiff.) Buxb.	Bot. Stud. 12: 101. 1961.	CHIS, GRO, OAX, PUE, SLP, TAMPS, VER, YUC.	No
18	<i>Stenocereus stellatus</i>	(Pfeiff.) Riccob.	Boll. Reale Orto Bot. Palermo 8: 253. 1909.	GRO, MOR, OAX, PUE.	No
19	<i>Stenocereus treleasei</i>	(Rose) Backeb.	Cact. Succ. J. (Los Angeles) 23: 120. 1951.	OAX.	No

En lo que respecta a la calidad de datos, se obtuvo con el estadístico de Chao 2 (Tabla 3a) un valor de 1.5, lo cual indica que aproximadamente falta el registro de una especie de cactácea columnar en el estudio, demostrando que existe muy buena calidad en el muestreo de los registros de estas especies en el VTC a partir de la base de datos construida. En lo que respecta al error estimado "Es" (Tabla 3b), éste fue de 0.07, lo que significa que existe poco error, ya que este estimador

toma valores entre 0 y 1. En el estimador el cual combina ambas fórmulas (Tabla 3c), se obtuvo una calidad de los registros de muestreo “Qs” de 0.02, el cual aún no puede ser usado como criterio, puesto que todavía no se cuenta con una calibración de sus valores para la región.

Tabla 3a. Factores en el cálculo del estadístico de Chao 2.

S_{obs}	Q₁	Q₂
19	3	3

Tabla 3b. Factores en el cálculo del error estimado E_s.

S_{obs}	S_{est}
19	20.5

Tabla 3c. Factores en el cálculo de la calidad de los registros de muestreo Q_s.

F	S_{obs}	m	E_s
70	19	153	0.07

Cartografía utilizada

La división del VTC en cuadros 1x1 minuto integró a 3,636 UGOs. Si cada UGO posee aproximadamente una extensión 3.2 km², se estimó que el área del VTC (con los límites modificados para integrar a toda la extensión del RBTC) equivale a 11,635.2 km².

Modelos de distribución potencial de las especies

Se obtuvieron para 17 especies de cactáceas columnares del VTC los modelos de distribución potencial (Figs. 4a, 4b y 4c). En el caso de *Pachycereus grandis* y *Stenocereus treleasei* no se pudieron obtener sus modelos, pues sólo se contaron con dos registros. La distribución de *Escontria chiotilla*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus weberi* y *Pilosocereus chrysacanthus* son parecidas, ya que cruzan el Valle de Zapotitlán y la región de Tehuacán, hasta la Sierra Zongolica. *Cephalocereus columna-trajani* y *Lemaireocereus hollianus* se distribuyen en la mayor parte del Valle de Zapotitlán, mientras que *Neobuxbaumia macrocephala* y *Neobuxbaumia mezcalaensis* se encuentran en la parte suroeste del Valle de Zapotitlán. La especie con más amplia distribución es *Myrtillocactus geometrizans*, ya que abarca casi todo el VTC, excepto la Sierra de Tecamachalco, parte de la Sierra de Ixcatlán y la región de Nochixtlán y Tepelmeme. Considerando únicamente los registros de recolecta, las especies *Pachycereus grandis* y *Stenocereus treleasei* poseen el área de distribución más reducida. Ahora bien, de las especies analizadas con los modelos, *Myrtillocactus schenckii*, *Neobuxbaumia macrocephala* y *Neobuxbaumia mezcalaensis* son las especies que representan la distribución más restringida; localizándose la primera en casi todo el municipio de Caltepec y las últimas dos en la mayor parte de Zapotitlán.

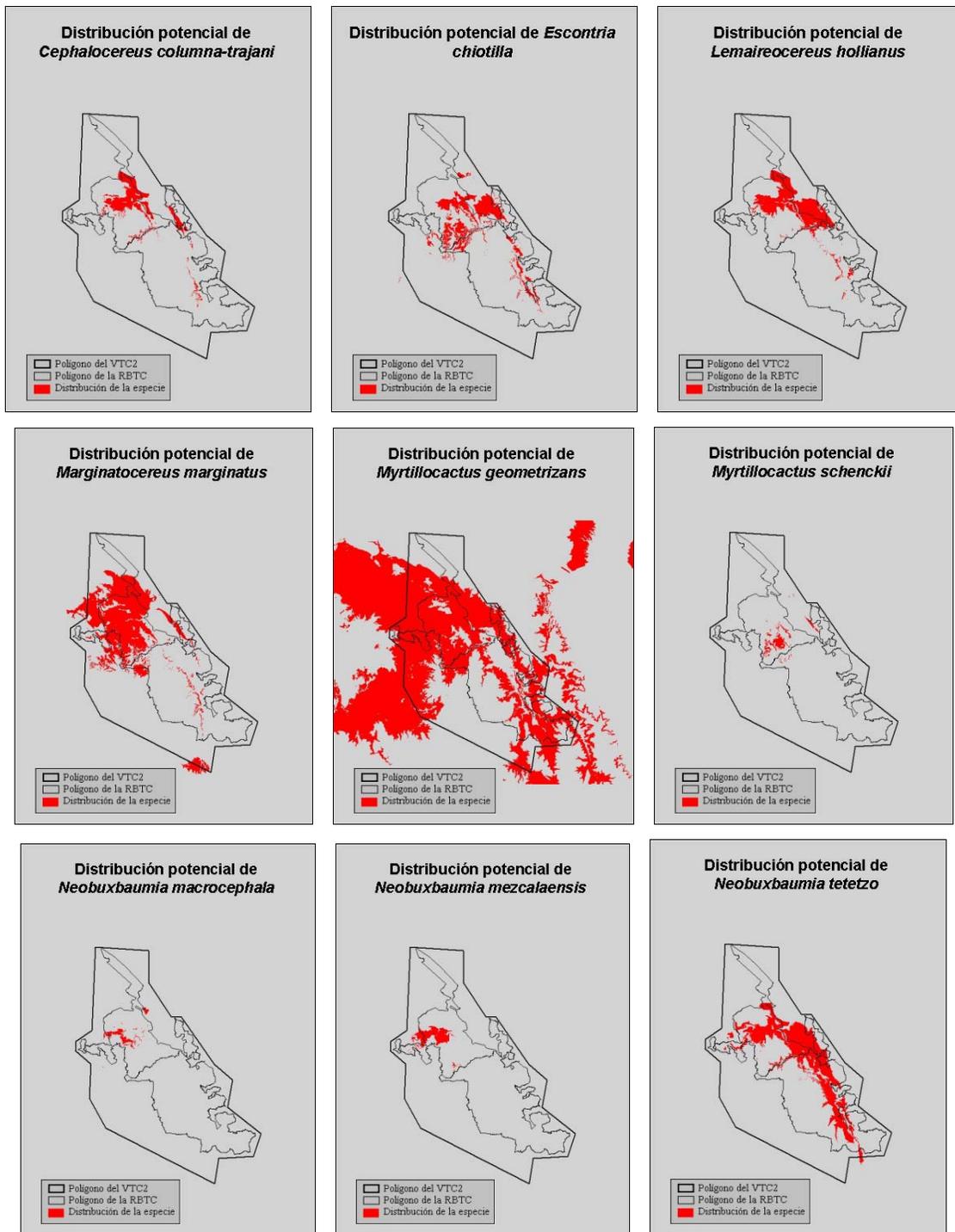


Figura 4a. Modelos de distribución potencial de las especies incluidas en análisis.

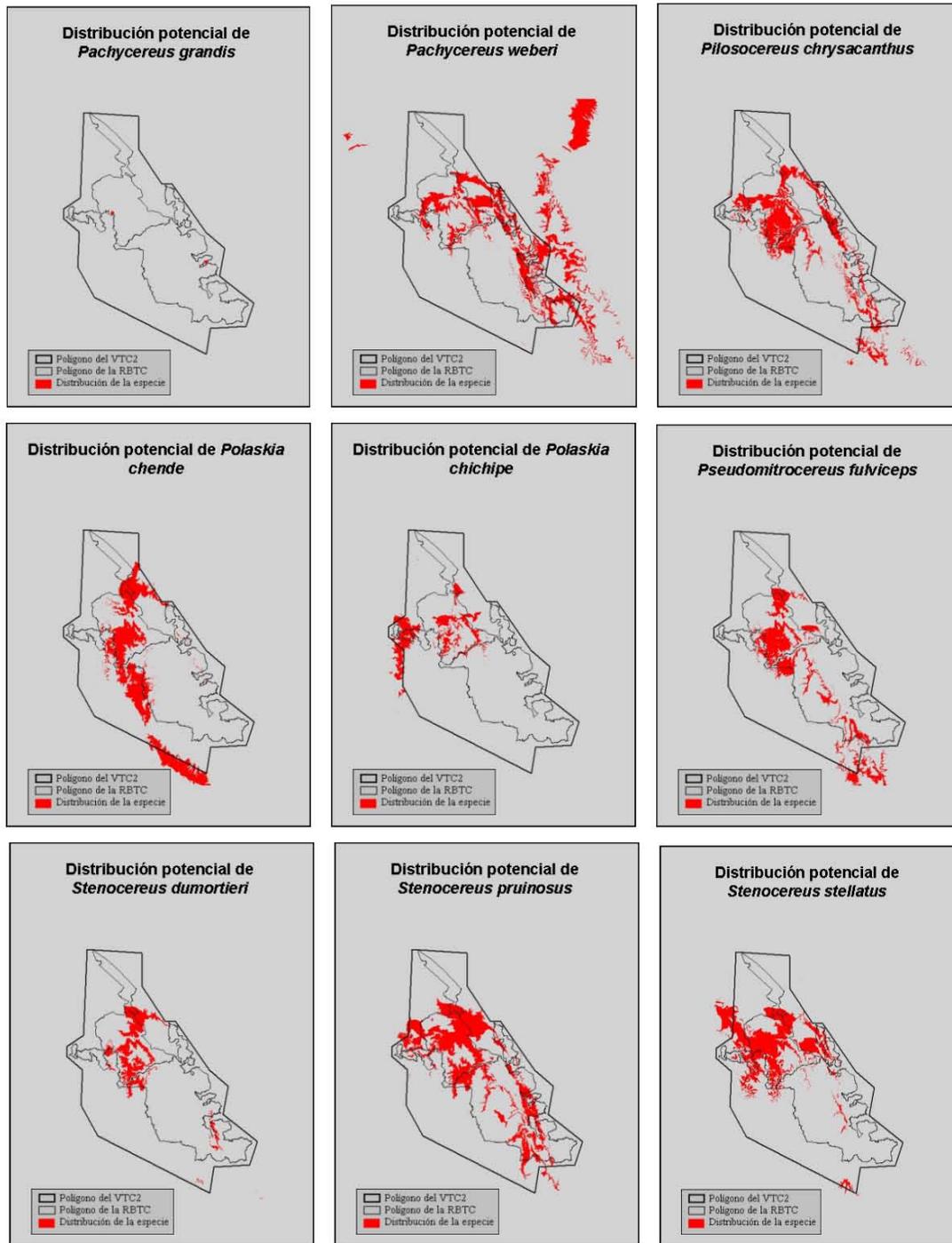


Figura 4b. Modelos de distribución potencial de las especies incluidas en análisis.

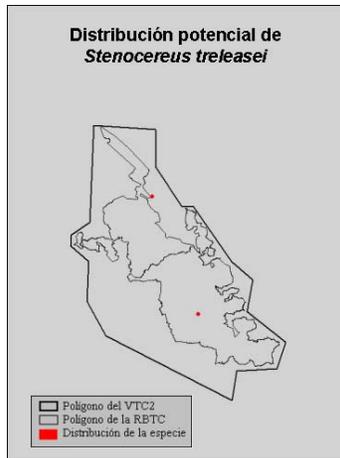


Figura 4c. Modelos de distribución potencial de las especies incluidas en análisis.

Análisis de agrupamiento

Se generaron seis diferentes formas de agrupar a las UGO (escenarios; Tabla 4) con 3, 6, 11, 16, 21 y 26 grupos, respectivamente.

Tabla 4. Agrupamientos generados a partir de diferentes cortes del fenograma.

Escenarios	No. de grupos
1	Se formaron 3 grupos
2	Se formaron 6 grupos
3	Se formaron 11 grupos
4	Se formaron 16 grupos
5	Se formaron 21 grupos
6	Se formaron 26 grupos

En el análisis de la heterogeneidad de la altitud se obtuvo que el escenario con el menor CV fue el 6 con 0.119, mientras que el 1 fue el que tuvo el mayor valor con 0.189 (Tabla 5). En el análisis de la heterogeneidad en composición de especies se obtuvo 0.367 como el valor mínimo de disimilitud (escenario 1) y 0.599 como el máximo (escenario 6; Tabla 6). Para llevar a cabo la normalización en escalas gráficas, los valores de CV se dividieron entre 0.189 (Tabla 5) y los de disimilitud se dividieron entre 0.599 (Tabla 6), que son sus máximos.

Tabla 5. Valores de coeficiente de variación (CV) de la altitud de los escenarios de los diferentes cortes.

Escenarios	Diferencia en altitud (Coeficiente de variación)	Diferencia en altitud (Coeficiente de variación entre el máximo: 0.189)
1	0.189	1.000
2	0.170	0.903
3	0.138	0.733
4	0.131	0.696
5	0.126	0.669
6	0.119	0.631

Tabla 6. Valores de disimilitud de especies de los escenarios de los diferentes cortes.

Escenarios	Diferencia en especies (Índice de disimilitud: 1 - Jaccard)	Diferencia en especies (Índice de disimilitud: 1 - Jaccard) entre el máximo (0.599)
1	0.367	0.613
2	0.515	0.860
3	0.492	0.822
4	0.583	0.973
5	0.570	0.953
6	0.599	1.000

A partir de esta normalización de las variables disimilitud y CV se generó una gráfica con dos curvas (Fig. 5). La primera curva muestra las diferencias entre las altitudes (decreciente) y la otra las diferencias en composición de especies (creciente), con respecto a los seis escenarios. Las dos curvas se intersectan en un punto en donde se maximizan las diferencias para ambas. Analizando ambos estadísticos en la gráfica, y observando el punto en donde intersectan ambas curvas, se aprecia que el escenario que cumple con el mejor criterio es el 2, con seis grupos.

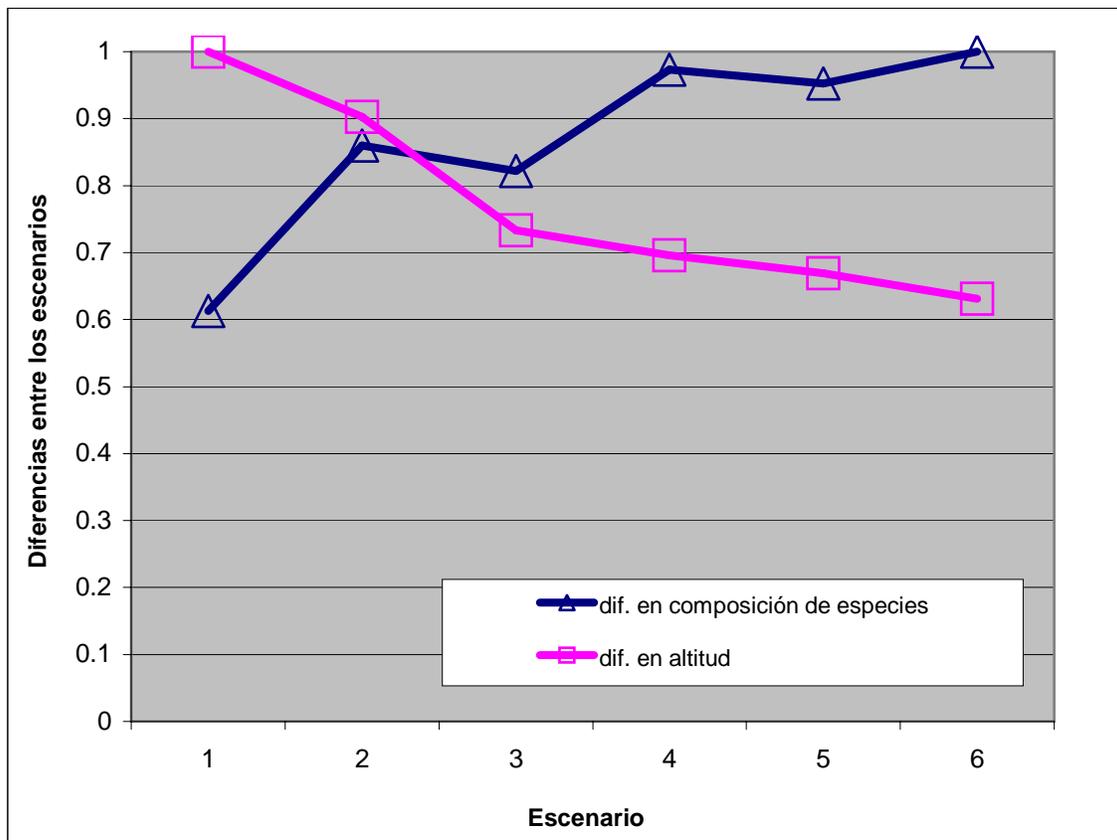


Figura 5. Gráfica de coeficientes de variación normalizados de los diferentes escenarios.

Regionalización

Se formaron regiones bien definidas en el VTC, las cuales cubren algunos de los municipios de los estados de Puebla y Oaxaca (Tabla 7). Para comprobar que la regionalización refleja un agrupamiento con respecto a la altitud, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). Se obtuvo $P < 0.01$, lo que indica que se rechazó la hipótesis nula (H_0) y que si existen diferencias significativas entre las regiones con respecto a su altitud (Tabla 8). Por tanto, el análisis demostró que la subdivisión del VTC con base en el patrón de distribución de las especies de cactáceas columnares se correlaciona en gran medida con la altitud. Esto permitió generar regiones con mayor homogeneidad altitudinal en sus interiores y mayor heterogeneidad entre cada una de las regiones.

Tabla 7. Municipios en las seis regiones del VTC.

	Regiones	Municipios
1	Sierra de Zongolica	Yehualtepec, Tlacotepec de Benito Juárez, Santiago Chazumba, Santa María Tecmovaca, Santa María Ixcatlán, Concepción Pápalo y San Juan Bautista Cuicatlán.
2	Cañada y Valle de Zapotitlan	Tlacotepec de Benito Juárez, Tepanco de López, Chapulco, Miahuatlán, Tehuacán, Atexcal, Caltepec, Santiago Chazumba, San Pablo y San Pedro Tequix, Ajalpan, San José Miahuatlán y Santa María Tecmovaca.
3	Cuenca del Balsas	Tepanco de López, Miahuatlán, Tehuacán, Ajalpan, Atexcal, Zapotitlán, Chilac, Zinacantepec, Teotitlán, Topantlan, San Juan Cues, Coaxitlan, San José Miahuatlán, Caltepec, Tepelmeme Villa de Morelos, Nanahuatipam, Santa María Tecmovaca, Santa María Ixcatlán, Jocotipac, Texcatitlán, Valerio Trujano, San Juan Bautista Cuicatlán, Jaltepetongo y San Juan Bautista Atlatlahuca.
4	Sierra Madre del Sur	Chapulco, Miahuatlán, Tehuacán, Ajalpan, Zapotitlán, Caltepec, Concepción Buenavista, Tepelmeme Villa de Morelos, San Miguel Tequixtepec y San Juan Bautista Coixtlahuacan.

5	Neovolcánica	Tepelmeme Villa de Morelos, Concepción Buenavista, Santa María Tecmovaca, Santa María Ixcatlán, Huahutla, Jocotipac, Texcatitlán, Jaltepetongo, Santiago Apoala, Santa María Apazco, Coxcaltepec, Santiago Nacaltepec, Teotitlán, Zoquiapam, Mazatlán Villa de Flores y Topantlan.
6	Ixcatlán	Tehuacán, Ajalpan, Coaxtitlan, Zoquitlan, Teotitlán, Tepantlan, San Juan Cues, Mazatlán Villa de las Flores, Santa María Tecmovaca, Santa María Ixcatlán, Concepción Pápalo, Valerio Trujano, San Juan Tepeuxila, San Juan Bautista Atlatluca y Santiago Nacaltepec.

Tabla 8. Factores en el análisis de varianza (ANOVA).

Varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados
Dentro de las regiones	339848822.8	13762	24694.73
Entre las regiones	1502983084.4	6	250497180.73

Las regiones que se formaron en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán son seis (Fig. 6): "Sierra de Zongolica", "Cañada y Valle de Zapotitlán", "Cuenca del Balsas", "Sierra Madre del Sur", "Neovolcánica" e "Ixcatlán". Éstas regiones cubren la mayor parte del Valle, excepto toda la zona norte y parte de la zona del sur.

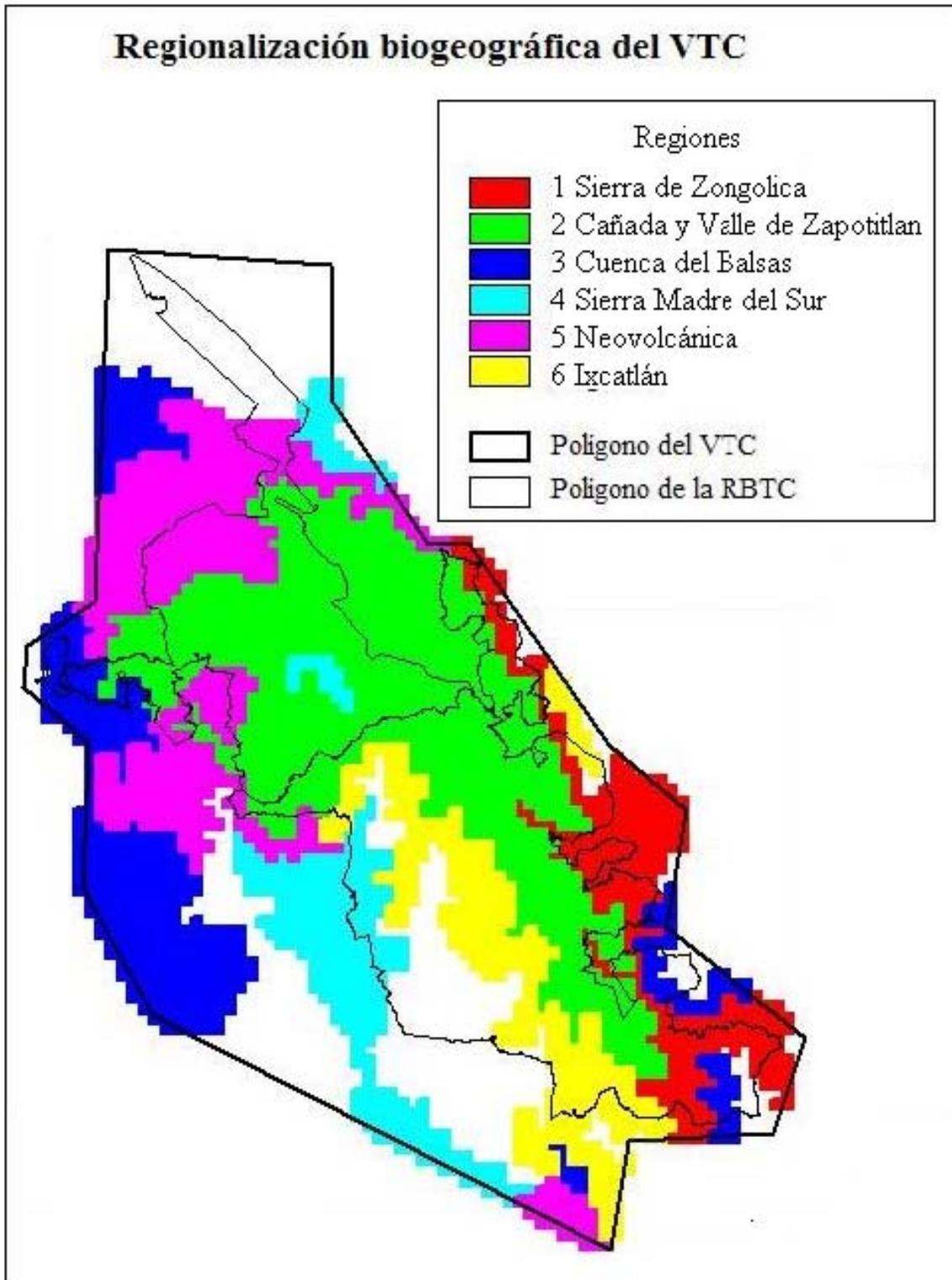


Figura 6. Regionalización biogeográfica del VTC con base en la distribución de especies de cactáceas columnares.

La región "Cañada y Valle de Zapotitlán" (Fig. 8) representa el área que cubre la mayor parte del VTC con 2,998 km², mientras que las regiones con menor extensión son la "Sierra Madre del Sur" (Fig. 10) e "Ixcatlán" (Fig. 12) con 912 y 973 km² respectivamente.

Tomando en cuenta la altitud, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán es una zona de gran heterogeneidad, lo que ha permitido la distribución de las diferentes especies de cactáceas columnares. La región menos homogénea en su interior es la "Cañada y Valle de Zapotitlán" (Fig. 8) seguida de la "Sierra de Zongolica" (Fig. 7), la cual cuenta con las zonas más bajas (altitud promedio de 1,325 msnm); así mismo, la más homogénea es la "Sierra Madre del Sur" (Fig. 10), que además es la región con mayor altitud (altitud promedio de 2,185 msnm).

Considerando la diversidad de especies de cactáceas columnares en el VTC, las regiones de la "Cañada y Valle de Zapotitlán" (Fig. 8) y "Neovolcánica" (Fig. 11) son las que poseen la mayor riqueza (19 y 17 especies respectivamente), al mismo tiempo, que la región que tiene la menor riqueza es la "Sierra Madre del Sur", registrando a *Marginatocereus marginatus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Pilosocereus chrysacantus*, *Polaskia chende* y *Pseudomitrocereus fulviceps*.

De acuerdo a la similitud de especies, las regiones "Sierra de Zongolica" (Fig. 7), "Cañada y Valle de Zapotitlán" (Fig. 8) y "Neovolcánica" (Fig. 11) son las que poseen la mayor similitud, y en lo que respecta a la menor similitud se encuentran la "Cuenca del Balsas" (Fig. 9), "Sierra Madre del Sur" (Fig. 10) e "Ixcatlán" (Fig. 12).

Perfil de Subregión

1 Sierra de Zongolica

Bernardo Serrano Estrada
FES-Iztacala
UNAM
Tesis de Licenciatura en Biología

Extensión (km²) 989
No. cuadros de 1°x1': 309

Altitud (msnm):

Promedio	1,325
Máxima	2,051
Mínima	414
Desv. estándar	403.9

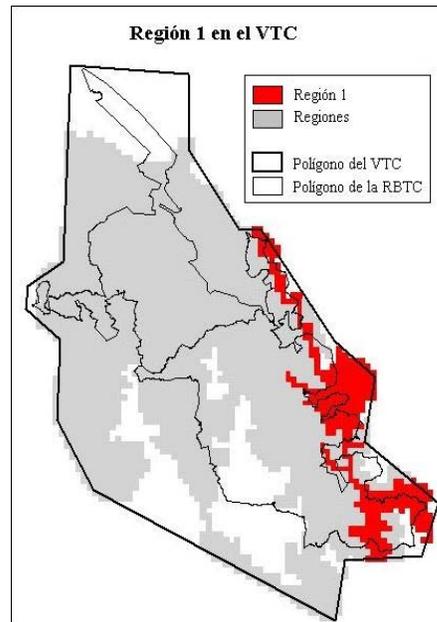
Similitud entre las regiones (Jaccard)

Regiones	Jaccard
1	1
2	0.74
3	0.4
4	0.36
5	0.72
6	0.67

Número de especies: 14

Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km²)

id sp	Especie	Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km ²)
1 *	<i>Cephalocereus columna-trajani</i>	1184
2	<i>Escontria chiotilla</i>	2096
3 *	<i>Lemaireocereus hollianus</i>	1523.2
4	<i>Marginatocereus marginatus</i>	3673.6
5	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	10128
9	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	2598.4
10	<i>Pachycereus grandis</i>	6.4
11	<i>Pachycereus weberi</i>	4665.6
12	<i>Filosocereus chrysacanthus</i>	3660.8
13 *	<i>Polaskia chende</i>	2886.4
15 *	<i>Pseudomitrocereus fulviceps</i>	2761.6
16	<i>Stenocereus dumortieri</i>	1529.6
17	<i>Stenocereus pruinosus</i>	4092.8
18	<i>Stenocereus stellatus</i>	3344



* Especie endémica al VTC

Figura 7. Perfil de la región "Sierra de Zongolica".

Perfil de Subregión

2 Cañada y Valle de Zapotitlán

Bernardo Serrano Estrada
FES-Iztacala
UNAM
Tesis de Licenciatura en Biología

Extensión (km²) 2,998

No. cuadros de 1°x1': 937

Altitud (msnm):

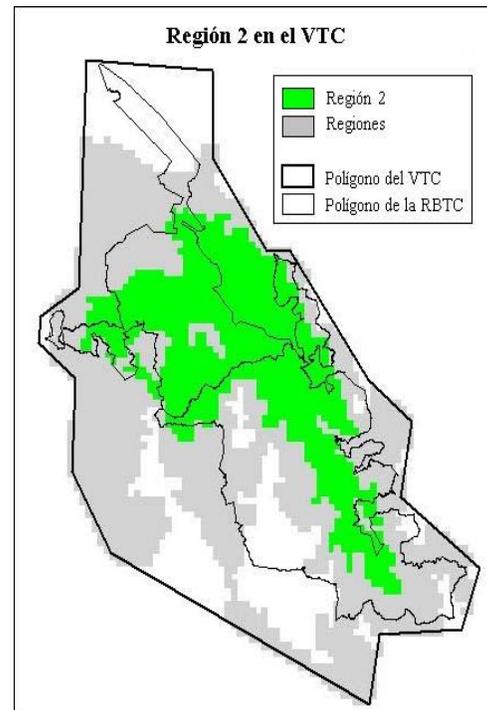
Promedio	1,423
Máxima	2,362
Mínima	560
Desv. estándar	436.9606

Similitud entre las regiones (Jaccard)

Regiones	Jaccard
1	0.74
2	1
3	0.37
4	0.26
5	0.89
6	0.58

Número de especies: 19

id sp	Especie	Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km ²)
1 *	<i>Cephalocereus columna-trajani</i>	1184
2	<i>Escontria chiotilla</i>	2096
3 *	<i>Lemaireocereus hollianus</i>	1523.2
4	<i>Marginatocereus marginatus</i>	3673.6
5	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	10128
6	<i>Myrtillocactus schenckii</i>	464
7 *	<i>Neobuxbaumia macrocephala</i>	358.4
8	<i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i>	438.4
9	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	2598.4
10	<i>Pachycereus grandis</i>	6.4
11	<i>Pachycereus weberi</i>	4665.6
12	<i>Filosocereus chrysacanthus</i>	3660.8
13 *	<i>Polaskia chende</i>	2886.4
14	<i>Polaskia chichipe</i>	1571.2
15 *	<i>Pseudomitrocereus fulviceps</i>	2761.6
16	<i>Stenocereus dumortieri</i>	1529.6
17	<i>Stenocereus pruinosus</i>	4092.8
18	<i>Stenocereus stellatus</i>	3344
19	<i>Stenocereus treleasei</i>	6.4



* Especie endémica al VTC

Figura 8. Perfil de la región "Cañada y Valle de Zapotitlán".

Perfil de Subregión

3 Cuenca del Balsas

Bernardo Serrano Estrada
FES-Iztacala
UNAM
Tesis de Licenciatura en Biología

Extensión (km²) 1,386

No. cuadros de 1°x1°: 433

Altitud (msnm):

Promedio	1,897
Máxima	2,564
Mínima	1171
Desv. estándar	251.8029

Similitud entre las regiones (Jaccard)

Regiones	Jaccard
1	0.4
2	0.37
3	1
4	0.2
5	0.41
6	0.38

Número de especies: 7

Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km²)

id sp	Especie	Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km ²)
2	<i>Escontria chiotilla</i>	2096
5	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	10128
9	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	2598.4
12	<i>Filosocereus chrysacanthus</i>	3660.8
14	<i>Polaskia chichipe</i>	1571.2
17	<i>Steno cereus pruinosus</i>	4092.8
18	<i>Steno cereus stellatus</i>	3344

* Especie endémica al VTC

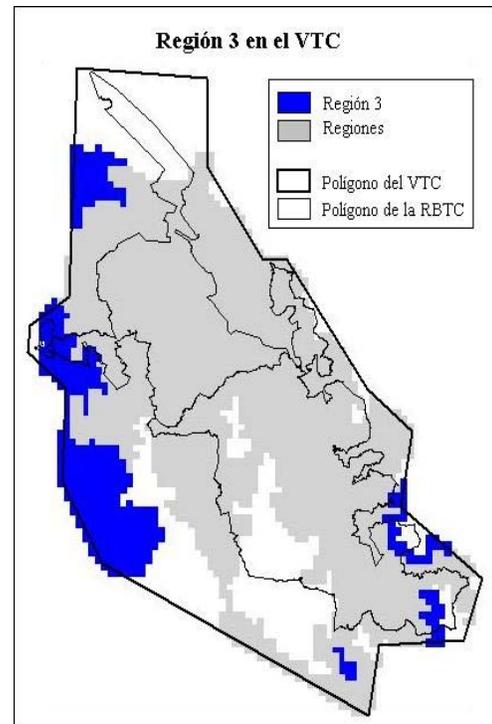


Figura 9. Perfil de la región "Cuenca del Balsas".

Perfil de Subregión

4 Sierra Madre del sur

Bernardo Serrano Estrada
FES-Iztacala
UNAM
Tesis de Licenciatura en Biología

Extensión (km²) 912

No. cuadros de 1°x1°: 285

Altitud (msnm):

Promedio	2,185
Máxima	2,601
Mínima	1857
Desv. estándar	126.0062

Similitud entre las regiones (Jaccard)

Regiones	Jaccard
1	0.36
2	0.26
3	0.2
4	1
5	0.29
6	0.45

Número de especies: 5

id sp Especie

id sp	Especie	Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km ²)
4	<i>Marginatocereus marginatus</i>	3673.6
5	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	10128
12	<i>Pilosocereus chrysacanthus</i>	3660.8
13 *	<i>Polaskia chende</i>	2886.4
15 *	<i>Pseudomitrocereus fulviceps</i>	2761.6

* Especie endémica al VTC

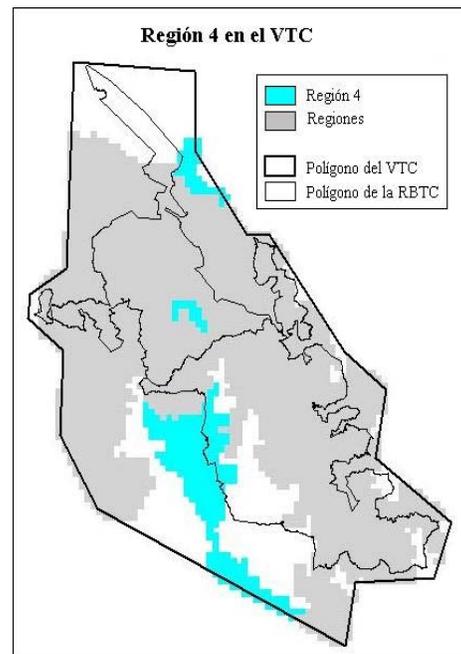


Figura 10. Perfil de la región "Sierra Madre del Sur".

Perfil de Subregión

5 Neovolcánica

Bernardo Serrano Estrada
FES-Iztacala
UNAM
Tesis de Licenciatura en Biología

Extensión (km²) 1,491

No. cuadros de 1°x1°: 466

Altitud (msnm):

Promedio	2,000
Máxima	2,580
Mínima	981
Desv. estándar	266.3827

Similitud entre las regiones (Jaccard)

Regiones	Jaccard
1	0.72
2	0.89
3	0.41
4	0.29
5	1
6	0.56

Número de especies: 17

Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km²)

id sp	Especie	Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km ²)
1 *	<i>Cephalocereus columna-trajani</i>	1184
2	<i>Escontria chiotilla</i>	2096
3 *	<i>Lemaireocereus hollianus</i>	1523.2
4	<i>Marginatocereus marginatus</i>	3673.6
5	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	10128
6	<i>Myrtillocactus schenckii</i>	464
7 *	<i>Neobuxbaumia macrocephala</i>	358.4
8	<i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i>	438.4
9	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	2598.4
11	<i>Pachycereus weberi</i>	4665.6
12	<i>Pilosocereus chrysacanthus</i>	3660.8
13 *	<i>Polaskia chende</i>	2886.4
14	<i>Polaskia chichipe</i>	1571.2
15 *	<i>Pseudomitrocereus fulviceps</i>	2761.6
16	<i>Stenocereus dumortieri</i>	1529.6
17	<i>Stenocereus pruinosus</i>	4092.8
18	<i>Stenocereus stellatus</i>	3344

* Especie endémica al VTC

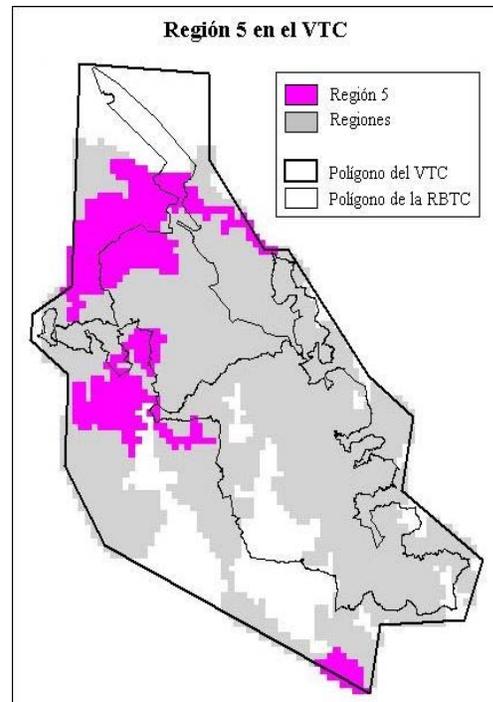


Figura 11. Perfil de la región "Neovolcánica".

Perfil de Subregión

6 Ixcatlán

Bernardo Serrano Estrada
FES-Iztacala
UNAM
Tesis de Licenciatura en Biología

Extensión (km²) 973

No. cuadros de 1°x1°: 304

Altitud (msnm):

Promedio	1,873
Máxima	2,501
Mínima	747
Desv. estándar	294.2831

Similitud entre las regiones (Jaccard)

Regiones	Jaccard
1	0.67
2	0.58
3	0.38
4	0.45
5	0.56
6	1

Número de especies: 12

Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km²)

id sp	Especie	Superficie del modelo BIOCLIM en el VTC (km ²)
4	<i>Marginatocereus marginatus</i>	3673.6
5	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	10128
9	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	2598.4
11	<i>Pachycereus weberi</i>	4665.6
12	<i>Filosocereus chrysacanthus</i>	3660.8
13 *	<i>Polaskia chende</i>	2886.4
14	<i>Polaskia chichiipe</i>	1571.2
15 *	<i>Pseudomitrocereus fulviceps</i>	2761.6
16	<i>Stenocereus dumortieri</i>	1529.6
17	<i>Stenocereus pruinosus</i>	4092.8
18	<i>Stenocereus stellatus</i>	3344
19	<i>Stenocereus treleasei</i>	6.4

* Especie endémica al VTC

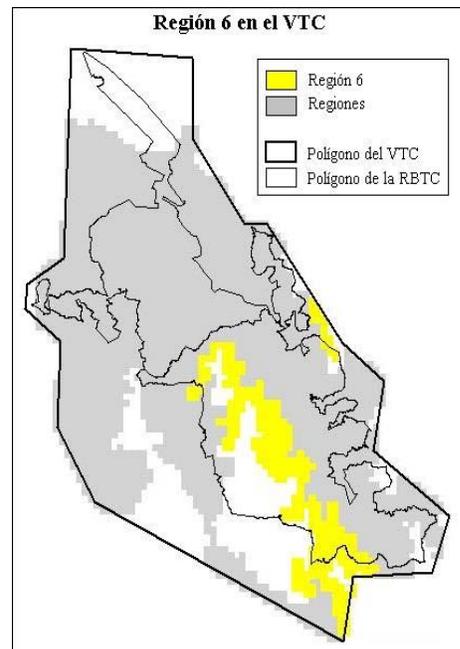


Figura 12. Perfil de la región "Ixcatlán".

7. Discusión y conclusiones

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán con 11 de los 15 géneros de cactáceas columnares existentes en México (Tabla 2), representa una de las zona con mayor riqueza de especies de este grupo de plantas, lo que coincide con los trabajos de Ezcurra (1997) y Dávila *et al.* (2002). Son diversos los factores responsables de esta riqueza. El clima parece ser uno de ellos, se ha encontrado que en los lugares donde la diversidad de especies es muy alta predomina un clima semicálido semiárido (BS1hw), que es producto de la sombra orográfica que se forma por la Sierra de Zongolica, la cual evita la llegada de vientos húmedos y nubes cargadas de agua. También el poseer una variada topografía con un intervalo altitudinal amplio ha permitido que se formen diferentes tipos de suelo y de vegetación (Dávila *et al.*, 2002). También es importante señalar que en el VTC confluyen las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical (Ríos *et al.*, 2004).

De acuerdo con Luna y Aguirre (2001), se encontró que existe una correlación directamente proporcional entre la riqueza y la altitud, la cual se refleja en ciertos patrones encontrados. A bajas altitudes (400-500 msnm) el número de especies de cactáceas columnares es bajo, ya que deben de competir con las numerosas especies de la selva baja caducifolia, que es la vegetación dominante en zonas como el Valle de Tehuacán-Cuicatlán; sin embargo, hacia intervalos intermedios entre 1200-1400 msnm en los cuales hay una alta concentración de especies de cactus columnares, la vegetación dominante son los cardonales de *C. columna-trajani*, las tetecheras de *N. tetetzo*, de *N. macrocephala* y de *N. mezcalaensis*, las chichiperas de *P. chende* y *P. Chichipe*. Son pocas las especies de cactáceas columnares que habitan asociaciones por arriba de los 2500 msnm, sólo los casos de *M. marginatus*, *M. geometrizzans*, *P. chrysacanthus*, *P. chende*, *P. fulviceps*, *S. pruinosis* y *S. stellatus*, que alcanzan las zonas más frías (15-16° C) y húmedas (500-600 mm) al norte del VTC junto con bosques de encino, comunidades vegetativas de palmares, matorral esclerófilo perennifolio y rosulifolio (López *et al.*, 2003). No obstante, existen especies de cactáceas columnares con gran capacidad de adaptación, que a pesar de que el relieve del VTC es tan

diverso han podido desarrollarse como en el caso de *M. geometrizzans*, que es la especie con la más amplia distribución (Fig. 4a); la cual está presente en las 6 regiones establecidas (a lo largo de la región alta y baja del Balsas, la Mixteca baja y en la Cañada de Cuicatlán; Fig. 6), pudiendo crecer desde altitudes muy bajas que van de los 400 msnm hasta los 2500 msnm de altitud. Finalmente, esta correlación se ve afectada negativamente al considerar condiciones de altitud y por ende ambientales menos adecuadas para estas especies, sin descartar la historia del territorio (Hernández *et al.*, 2007).

La importancia de proponer una regionalización del VTC (Fig. 6) radicó en hacer una delimitación del territorio con algunas de sus características biológicas y de la altitud, la cual ha permitido revisar incluso cuáles son las variables que determinan la distribución de las especies y grupos de éstos; al mismo tiempo ha permitido definir una delimitación que ayuda a reconocer las unidades naturales que conforman el VTC. La primera unidad definida es “Sierra de Zongolica” la cual se encuentra ubicada al oeste de la Sierra de Zongolica y de Juárez; posee una vegetación de tipo bosque de encino, de pino-encino y de pino. La región “Cañada y Valle de Zapotitlan” (Fig. 8) se extiende por casi toda la selva baja caducifolia ubicada sobre una depresión meridional de menos de 800 msnm al sureste del VTC; también abarcó una pequeña extensión del norte de la región de matorral crasicaule, matorral desértico rosetófilo y bosque de encino. Esta región es la que posee la mayor riqueza de especies de cactáceas columnares, obteniendo un resultado similar al de Méndez *et al.* (2006), refiriéndose al hecho de que sus zonas núcleo propuestas (establecidas en 13 UGOs), que engloban el 72.5% de la riqueza total de cuatro familias de plantas (Asteraceae, Cactaceae, Leguminosae y Poaceae), están incluidas en su mayoría en la “Cañada y Valle de Zapotitlán” (en 11 UGOs), representando una región de gran importancia para su conservación. Esto concuerda también con lo reportado por Luna y Aguirre (2001), que basan su estudio en 8 de estas especies (*E. chiotilla*, *M. geometrizzans*, *P. grandis*, *P. weberi*, *P. chrysacanthus*, *S. dumortieri*, *S. pruinosus* y *S. stellatus*) que se distribuyen en el VTC y en la Mixteca baja. Otra unidad que se propuso es la “Neovolcánica”, con una gran variedad de vegetación: matorral crasicaule

principalmente, matorral desértico rosetofo, pastizales inducidos, mezquital, bosque de táscate, de encino y de encino-pino. Esta diversidad en los tipos de vegetación se debe a que es una región compuesta por un relieve tan complejo (depresiones, lomeríos y montañas de distintas altitudes). Por otro lado, a pesar de la gran diferencia en altitud y en localización de las regiones “Neovolcánica” y “Cañada y Valle de Zapotitlán”, poseen la mayor similitud en relación a la presencia de las especies de cactáceas columnares (89%), por lo que se puede aventurar la hipótesis de que son parte de una misma unidad natural, principalmente considerando las altitudes bajas (desde los 400 msnm) y medias, pero no muy elevadas. La “Sierra Madre del Sur” (Fig. 10) es la región formada por más de una subzona (disjuntas), que incluye tres subregiones con alta altitud (entre 2000-2500 msnm y algunas partes con más de 2500 msnm de altitud), lo que explica que sean disjuntas; el tipo de vegetación que predomina es bosque de encino, con algunas “pequeñas manchas” de bosque pino-encino. En lo que respecta a la región “Ixcatlán” (Fig. 12), la cual es templada, posee bosques de encino en su mayoría y de pino-encino. Esta región se divide en dos áreas por la región de la “Cañada y Valle de Zapotitlán”, en donde la mayor área está localizada a sotavento y la menor a barlovento; una posible explicación de este fenómeno puede deberse a que existe esta depresión meridional. Una de las regiones localizadas al este del río Balsas y de las Sierras de Tamazulapan y Mixteca es la “Cuenca del Balsas” (Fig. 9), la cual está representada por bosque de encino. A pesar de que las regiones “Cuenca del Balsas” e “Ixcatlán” se parecen en altitud, en riqueza de especies de cactáceas columnares no son tan similares (7 y 12 especies respectivamente), un factor que puede influir en esto es que aunque poseen pendientes con 4-22° de inclinación, la infiltración del agua para el caso de “Ixcatlán” es moderada, mientras que para la “Cuenca del Balsas” es escasa (Ochoa, 2001).

Además de lo referido anteriormente, y más allá de los objetivos para los cuales fue regionalizado el VTC, esta puede ser utilizada con fines de conservación. Un caso, es la identificación de áreas de conservación de cactáceas columnares para su uso sustentable. Otro caso consiste en la elaboración de atlas

biogeográficos para ser usados en el conocimiento de los patrones de distribución de las cactáceas columnares del VTC. De igual manera, esta división biogeográfica del territorio representa un sistema jerárquico que puede ser empleado para determinar el grado en que sus hábitats naturales se han ido transformando con el paso del tiempo, en gran medida, a causa de la influencia del hombre. También este sistema se puede emplear para predecir cuál será el futuro de sus patrones biogeográficos. Por tanto, la regionalización del VTC es una herramienta de gran importancia, ya que ayuda a establecer estrategias para la conservación de las cactáceas columnares.

Merece destacarse que el presente trabajo arrojó resultados muy importantes de un pequeño grupo de especies poco estudiado, entre ellos se pueden citar: el mapa de la regionalización del VTC, los perfiles de cada una de las regiones, los modelos BIOCLIM de distribución potencial de las especies de cactáceas columnares en el Valle y sus partes bioclimáticas, y la rejilla de 1x1 minutos, que están disponibles en forma digital (Serrano y Murguía, 2009).

Referencias

- ÁLVAREZ, M.G. Y C. MONTAÑA. 1997. Germinación y supervivencia de cinco especies de Cactáceas del Valle de Tehuacán: implicaciones para su conservación. *Acta Botánica Mexicana*. 40: 43-58.
- ARRIAGA, L., J.M. ESPINOZA, C. AGUILAR, E. MARTÍNEZ Y L. GÓMEZ. 2000. Las Regiones Terrestres Prioritarias de México. CONABIO. pp. 372-375.
- ARIAS, S., S. GAMA Y L.U. GUZMÁN. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. En: Juss, A.L. (eds). *Fascículo 14. Cactaceae*. UNAM. México. 146 pp.
- AYALA, F. 2006. Caracterización hidrográfica de la microcuenca de Colonia San Martín, Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de licenciatura Biología. UNAM. México.
- BARRY, C., I.N. HEALEY Y P.D. MOORE. 1976. *Biogeography and ecological and evolutionary approach*. 2a ed. E. Blackwell scientific publications. New York, USA. 194 pp.
- BELBIN, L. 2004. *PATN: What is Pattern Analysis?*. Griffith University, Australia. http://www.patn.com.au/FAQ/faq_what_is%20pattern_analysis.htm. Acceso enero de 2009.
- BRAVO, H. Y L. SCHEINVAR. 1995. *El interesante mundo de las cactáceas*. Fondo de Cultura Económica. México.
- BROWN, J.H. Y M.V. LOMOLINO. 1998. *Biogeography*. 2a ed. Ed. Sinauer associates, INC publishers. Massachusetts, USA. 675 pp.
- BUSBY, J.R. 1986. *Bioclimatic Prediction System (BIOCLIM). User's manual version 2.0*. Australian Biological Resources Study Leaflet.
- BUSBY, J.R. 1991. BIOCLIM, a Bioclimatic Analysis and Prediction System. En: Margules, C.R. y M.P. Austin (eds.) *Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis*. Canberra: CSIRO. pp. 64-68.
- BUTLER, G. 1991. *Fundamental Algorithms for Permutation Groups*. Lecture Notes in Computer Science. Springer Verlag. Vol. 559. 238 pp.

- CASAS, A. 2002. Uso y manejo de cactáceas columnares mesoamericanas. CONABIO. *Biodiversity and Conservation*. 40: 18-23.
- CITES. 1990. *Convention on International Trade in Endangered Species: Appendices I, II, and III to the Convention*. Washington, D.C. USA. Fish and Wildlife Service.
- COLELL, R.K. Y J.A. CODDINGTON. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. USA. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. 345:101-118.
- CONABIO. 2004. *Regionalización*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. <http://www.conabio.gob.mx>. Acceso febrero de 2008.
- CONABIO. 2008. *Metadatos y mapoteca digital*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx>. Acceso marzo de 2008.
- CRONQUIST, A. 1981. *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University. New York, USA. 1262 pp.
- CROVELLO, T.J. 1981. Quantitative biogeography: An overview. *Taxon*. 30: 563-575.
- DÁVILA, P. 2000. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Base de datos REMIB Proyecto Q0014.
- DÁVILA, P., J.L. VILLASEÑOR, R. MEDINA, A. RAMÍREZ, A. SALINAS, J. SÁNCHEZ Y P. TENORIO. 1993. Listados Florísticos de México X. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. UNAM. México.
- DÁVILA-ARANDA, P., S. ARIAS-MONTES, R. LIRA-SAADE, J.L. VILLASEÑOR Y A. VALIENTE-BANUET. 2002. Phytogeography of the columnar cacti (tribe Pachycereae) in Mexico: A cladistic approach. En: Fleming, T.H. y A. Valiente (eds). *Evolution, ecology and conservation of the columnar cacti and their mutualists*. Arizona University, USA. pp. 25-41.
- DAWN, T. Y B. LYNN. 2008. *The population dynamics of columnar and other cacti: a review*. New York, USA. *Geographic Compass*. 2: 1-29.

- DE PANDO, B. Y J. PEÑAS. 2007. *Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica*. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. España. *GeoFocus*. 7:100-119.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF). 1998. *Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Tehuacán-Cuicatlán, ubicada en los estados de Oaxaca y Puebla*. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. pp. 8-20.
- ESCALANTE, T. 2009. Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. UNAM. México. *Revista Mexicana de biodiversidad*. 80: 551-560.
- ESPINOSA, D. Y J. LLORENTE. 1993. *Fundamentos de Biogeografías Filogenéticas*. CONABIO. UNAM. México. 133 pp.
- EZCURRA, E. 1997. Colección de Cactáceas Columnares de México. IE-MORELIA, UNAM. Base de Datos REMIB. Proyecto G003. <http://www.conabio.gob.mx>
- GOETTSCH, B. Y H. M. HERNÁNDEZ. 2005. Beta diversity and similarity among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments*. 65: 513-528.
- GUTIÉRREZ, M. G. 2007. Herpetofauna de la reserva de la biosfera Valle de Tehuacán-Cuicatlán (etapa final). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. BK019. pp. 1-15.
- GUÍZAR, E., C. MOTA Y R. ORTEGA. 2005. Vegetación y plantas útiles en la subregión Filo de Tierra Colorada, Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, México. *Revista de Geografía Agrícola*. 35: 67-84.
- GUZMÁN, U., S. ARIAS Y P. DÁVILA. 2003. *Catálogo de Cactáceas mexicanas*. CONABIO. UNAM, México. 315 pp.
- HENGEVELD, R. 1990. *Dynamic biogeography*. Cambridge University Press. 250 pp.

- HERNÁNDEZ, H.M. Y H. GODÍNEZ. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana*. 26: 33-52.
- HERNÁNDEZ, J., R. CHÁVEZ Y E. SÁNCHEZ. 2007. Factores de riesgo de las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del desierto chihuahuense, México. *Interciencia*. 32: 728-734.
- HERNÁNDEZ, M., T. TERRAZAS, A. DELGADO Y M. LUNA. 2007. Los estomas de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex.Pfeiff) Console (Cactaceae): variación en su área de distribución. México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30: 235-240.
- HOULDER, D.J., M.F. HUTCHINSON, H.A. NIX Y J.P. MCMAHON. 2000. *Anuclim user guide version 5.1*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University. Canberra.
- HUNT, D., N. TAYLOR Y G. CHARLES (EDS). 2006. *The New Cactus Lexicon*. DH Books. England. 925 pp.
- INEGI. 2008. *Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades*. México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx>. Acceso enero de 2009.
- LÓPEZ, F., D. MUÑOZ, M. HERNÁNDEZ, A. SOLER, M.C. CASTILLO E I. HERNÁNDEZ. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salina, Puebla. México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 1: 19-41.
- LOMOLINO, M.V., B.R. RIDDLE Y J.H. BROWN. 2006. *Biogeography*. 3a ed. Sinauer Associates Pub. Massachusetts, USA. 845 pp.
- LUNA, C.C. Y J.R. AGUIRRE. 2001. Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *Interciencia*. 26: 18-24.

- MÉNDEZ, I., E. ORTIZ Y J.L. VILLASEÑOR. 2004. Las *Magnoliophyta* endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*. UNAM. 75: 87-104.
- MÉNDEZ, I., R. LIRA, H. GODÍNEZ, P. DÁVILA Y E. ORTÍZ. 2006. Proposal for the establishment of the core zones in the Biosphere Reserve of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico. UNAM. *Biodiversity and Conservation*. 15: 1627-1659.
- MORENO, C.E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y tesis SEA. Sociedad Entomológica Aragonesa. España. Vol. 1. 86 pp.
- MOURELLE, C. Y E. EZCURRA. 1997. Rapoport's Rule: A comparative analysis between south and north american columnar cacti. México. *The American Naturalist*. 150: 131-142.
- MURGUÍA, M. 1998. INDICE: Programa para calcular índices de similitud a partir de matrices de presencia-ausencia. Publicación de Asociación de Biólogos Amigos de la Computación A.C. México. pp.1-13.
- MURGUÍA, M. Y J. LLORENTE. 2003. Reflexiones conceptuales en biogeografía cuantitativa. En: Llorente, J. y J.J. Morrone (eds). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*. Las prensas de Ciencias. UNAM. México. pp. 133-140.
- MURGUÍA, M. Y F. ROJAS. 2001. Biogeografía cuantitativa. En: Llorente, J. y J.J. Morrone (eds). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. UNAM. México. pp. 39-47.
- MURGUÍA, M. Y J.L. VILLASEÑOR. 2000. Estimating the quality of the records used in quantitative biogeography with presence-absence matrices. México. *Ann. Bot. Fennici*. 37: 289-296.
- MYERS, A.A. Y P.S. GILLER. 1988. *Analytical Biogeography. An integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Chapman and Hall, London. pp. 3-12.

- NAOKI, K., M.I. GÓMEZ, R.P. LÓPEZ, R.I. MENESES Y J. VARGAS. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de la vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 41: 65-78.
- OCHOA, V. 2001. Geomorfología, clima y vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán Pue.-Oax. México. Tesis de Licenciatura. UNAM. 88 pp.
- REAL, R. Y J. VARGAS. 1996. The probabilistic basis of Jaccard's index of similarity. University of Málaga. España. *Systematic Biology*. 45: 380-385.
- RÍOS, L., A. VALIENTE Y V. RICO. 2004. Las hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta Zoológica Mexicana*. 20: 37-54.
- ROJAS, C. 2007. *Biogeografía 1: Una herramienta automatizada para realizar análisis panbiogeográficos*. Sanford. Florida, USA. pp. 31-33.
- RODRÍGUEZ, I., A. CASAS, R. LIRA Y J. CAMPOS. 2006. Uso, manejo y procesos de domesticación de *Pachycereus hollianus* (F.A.C. Weber) Buxb. (Cactaceae), en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Interciencia*. 31: 677-685.
- SERRANO, B. Y M. MURGUÍA. 2009. Polígono del Valle de Tehuacán Cuicatlán modificado. México. <http://sites.google.com/site/biodiversidadinformatica/>. Acceso enero de 2009.
- SNEATH, P. Y R. SOKAL. 1973. *Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification*. San Francisco, Freeman. 573 pp.
- SOBERÓN, J., J. LLORENTE Y L. OÑATE. 2000. The use of specimen label databases for conservation purposes: An example using Mexican Papilionid and Pierid butterflies. *Biodiversity and Conservation*. 9: 1441-1466.
- STEPHEN, A. 1981. Similarity Indices in Community Studies: Potential Pitfalls. Florida, USA. *Marine Ecology*. 5: 125-128.

- STOCKWELL, D. R. B. Y D. P. PETERS. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems*. 13:143-158.
- TÉLLEZ, O. 2008. Base de datos de la distribución de la flora en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. UNAM. Laboratorio de Recursos Naturales.
- TÉLLEZ, O., M. REYES, P. DÁVILA, K. GUTIÉRREZ, O. TÉLLEZ POO, R. ÁLVAREZ, A. GONZÁLEZ, I. ROSAS, M. AYALA, M. HERNÁNDEZ, M. MURGUÍA Y U. GUZMÁN. 2007. *Las plantas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Guía ecoturística*. Millennium seed bank project Kew. UNAM. México. 54 pp. Disponible en <http://www.poramoralplaneta.com.mx>. Acceso junio de 2009.
- UICN. 2006. Red List of Threatened Species. *International Union for Conservation Nature*. <http://www.iucnredlist.org>. Acceso agosto de 2008.
- VALIENTE, A., A. ROJAS, M. DEL C. ARIZMENDI Y P. DÁVILA. 1997. Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalaensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, central Mexico. *American Journal of Botany*. UNAM. 84: 452-455.
- VALIENTE-BANUET, A., M. DEL C. ARIZMENDI, A. ROJAS-MARTÍNEZ, A. CASAS, C. SILVA, H. GODÍNEZ Y P. DÁVILA. 2002. Biotic Interactions and population dynamics of columnar cacti. En: Fleming, T. y Valiente-Banuet, A. (eds). *Evolution, Ecology and Conservation of Columnar Cacti and their Mutualists*. University of Arizona Press. pp. 225-240.
- VALVERDE, P.L, F. VITE, M.A. PÉREZ Y J.A. ZAVALA. 2006. Stem tilting, pseudocephalium orientation, and stem in *Cephalocereus columna-trajani* along a short latitudinal gradient. *Plant Ecol*. 188:17-27.
- VILLASEÑOR, J.L. Y O. TÉLLEZ. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (*Asteraceae*) en México. UNAM. *Serie Botánica*. 2:205-220.

WATERS, K Y I. SHOCKLEY. 2000. *Using ArcView 3.1 with AWIPS*.
<http://www.nws.noaa.gov/geodata/tutorial/avtutor.htm>. Acceso noviembre de
2008.

ZAR, J.H.1999. *Biostatistical analysis*. New Jersey. Ed. Prentice Hall. 4. ed. 663 pp.