



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**Regionalización Ambiental y Florística y
Conservación de la Provincia Biogeográfica
del Eje Volcánico Transversal de México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

P R E S E N T A

MARIO ERNESTO SUÁREZ MOTA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. OSWALDO TÉLLEZ VALDÉS
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

COMITÉ TUTOR: Dr. ENRIQUE MARTÍNEZ MEYER
Instituto de Biología

Dr. RAFAEL LIRA SAADE
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

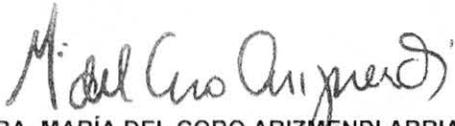
Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 7 de mayo del 2012, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **DOCTOR EN CIENCIAS** del alumno **SUÁREZ MOTA MARIO ERNESTO** con número de cuenta **093635125** con la tesis titulada "**Regionalización Ambiental y Florística y Conservación de la Provincia Biogeográfica del Eje Volcánico Transversal de México**", realizada bajo la dirección del **DR. OSWALDO TELLEZ VALDES**:

Presidente: DRA. PATRICIA DOLORES DÁVILA ARANDA
Vocal: DRA. MERCEDES ISOLDA LUNA VEGA
Secretario: DR. RAFAEL LIRA SAADE
Suplente: DRA. TANIA ESCALANTE ESPINOSA
Suplente: DR. GERARDO ADOLFO SALAZAR CHÁVEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 8 de octubre 2012.


DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a)

Agradecimientos

Agradezco en primera instancia al Posgrado en Ciencias Biológicas por haberme brindado la invaluable oportunidad de realizar estudios en su programa de doctorado en ciencias.

Un agradecimiento también al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca (186550) otorgada. Sin este apoyo el desarrollo del proyecto no hubiese sido posible.

A los miembros del comité tutor, los Drs. Oswaldo Téllez Valdés (tutor principal), Rafael Lira Saade y Enrique Martínez Meyer les agradezco el tiempo y la dedicación que le pusieron al proyecto.

Agradecimientos (personales)

A Dios por darme la vida, a mis hermanos por estar siempre a mi lado.

Un agradecimiento especial a mi mentor, el Dr. José Luis Villaseñor Ríos por su persistente guía en la preparación del examen de candidatura y los artículos publicados, así como, por sus constantes aportes en la finalización de este trabajo.

Gracias a mis amigos, sin nombrarlos, porque ellos saben quiénes son, si es que lo son.

Dedicatoria

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo de vida.

Mi abuela, Juana Mota, por quererme y apoyarme siempre. Además de ser el pilar fundamental de mi existencia.

Mi hija Adali M. Suárez M. Por ser la inspiración y la felicidad de mi vida.

INDICE

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción General.....	9
Objetivos.....	11
Literatura citada.....	12
 Capítulo I. Regionalización climática de la Provincia del Eje Volcánico Transversal de México	
Introducción.....	16
Método.....	19
Resultados.....	24
Discusión.....	39
Literatura citada.....	43
Apéndice 1.....	49
 Capítulo II. Regionalización Florística de la provincia Eje Volcánico Transversal de México	
Introducción.....	51
Método.....	53
Resultados.....	57
Discusión.....	68
Literatura citada.....	71
 Capítulo III. Análisis de Complementariedad en el Eje Volcánico Transversal de México	
Introducción.....	79
Método.....	81
Resultados.....	85
Discusión.....	90
Literatura citada.....	93
 Carta de aceptación del artículo para publicar.....	98
Artículo aceptado en la revista <i>Botanical Sciences</i>	99

Resumen

Existen varias clasificaciones biogeográficas que han dividido a la diversidad vegetal del país en diferentes regiones o provincias. Una de ellas, Rzedowski (1978) divide al país en 17 provincias florísticas agrupadas en 4 regiones, una de las cuales (Región Mesoamericana de Montaña) incluye al Eje Volcánico Transversal (EVT), zona que resalta por una flora constituida por alrededor de 5,139 especies distribuidas principalmente en los bosques templados que lo constituyen.

Los datos de valores promedio mensuales de temperatura mínima y máxima, y precipitación fueron interpolados con el paquete ANUSPLIN a una resolución espacial de 1 km². Los datos de 19 parámetros bioclimáticos y tres de terreno (pendiente, orientación y elevación) fueron clasificados con la métrica de Gower para definir unidades climáticas en el EVT. Se obtuvo un fenograma usando el método de agrupamiento UPGMA. Con este fenograma se definieron regionalizaciones climáticas a distintas escalas, mostrando ejemplos que permiten proponer dos, diez y cincuenta dominios (regiones) climáticos para el EVT. Aunque fueron utilizados los valores de tres factores físicos, las regiones en que se dividió el EVT, se definieron como dominios climáticos.

Por otro lado, se propone una regionalización de la provincia morfotectónica del EVT basada en la distribución geográfica de 4,434 especies de plantas vasculares, pertenecientes a 999 géneros y 47 familias. Mediante la clasificación de una matriz de datos estructurada, con la información sobre la distribución de los registros de las especies sobre una rejilla de celdas de 30' de latitud y longitud (aproximadamente 2,500 km²) se calcularon las similitudes florísticas entre las celdas utilizando el coeficiente de similitud de Sorensen. A partir de los agrupamientos de celdas, mediante el método de enlace completo, se definieron cuatro unidades florísticas (grupos de celdas) dentro del EVT. Un par de estas unidades no son continuas, pues muestran disyunciones, debido a accidentes orográficos que las separan. Igualmente, las unidades difieren en tamaño y composición florística y ocupan espacios geográficos particulares del EVT, en función de los parámetros abióticos que las caracterizan. Además se seleccionaron un conjunto de especies endémicas del EVT. Con ellas, se realizó un análisis parsimonioso de endemismos (PAE), el cual, permitió reconocer áreas de endemismos dentro del área en cuestión.

Las regionalizaciones obtenidas se utilizaron como base para realizar un análisis de complementariedad, con la finalidad de definir una red de áreas de conservación biológica empleando la metodología estructurada en el software ConsNet. Para ello se emplearon como variables (subrogados) los registros de 4,055 especies de plantas, los tipos de vegetación existentes, las áreas naturales protegidas, las regiones terrestres prioritarias y los 50 dominios climáticos que se encuentran en el EVT. Se utilizó una rejilla de 1650 celdas de 10 km de latitud y longitud en que se dividió el EVT para este análisis. Como resultado del estudio se obtuvieron seis escenarios que podrían posiblemente considerarse como redes de conservación.

Abstract

Several biogeographic classifications have divided the country plant diversity in different regions or provinces, e.g. Rzedowski (1978) divides the country into 17 floristic provinces grouped into four regions, one of them (Mesoamerican Region Mountain) includes the Transversal Volcanic Belt (TVB), highlighting area by flora consists of about 5,139 species distributed mainly in temperate forests that constitute it.

Data on average monthly minimum and maximum temperature, and precipitation were interpolated in ANUSPLIN package at a spatial resolution of 1 km². The data of 19 bioclimatic parameters and three terrain (slope, aspect and elevation) were classified with Gower metric. The phenogram was obtained using the UPGMA clustering method. This phenogram climatic regionalization were defined at different scales, showing examples that suggest two, ten and fifty domains (regions) climate for TVB. Although values were used three physical factors, the regions in which they divided the TVB with this work, is defined as climatic domains.

Furthermore, it is proposed regionalization of the province of TVB based morphotectonic geographical distribution of 4,434 species of vascular plants belonging to 999 genera and 47 families. By the classification of structured data matrix, with the distribution of records of the species on a grid of cells 30' latitude and longitude (approximately 2,500 km²) were calculated floristic similarities between cells using the similarity coefficient Sorensen. From the clusters of cells by the method of complete linkage identified four floristic units (groups of cells) within the TVB. A couple of these units are not continuous, as shown disjunctions between other units due to orographic them apart. Similarly, the units differ in size and species composition and occupy particular geographic areas of TVB, depending on the parameters that characterize abiotic. In addition, a set of endemic species of the TVB was selected to perform, a parsimony analysis of endemism (PAE) which allowed to recognize areas of endemism within the area in question.

Regionalization obtained were used as the basis for an analysis of complementarity, in order to define a network of biological conservation areas using structured methodology ConsNet software. This is used as variables (subrogados) 4,055 records plant species, vegetation types existing protected areas, land areas and 50 priority climate domains found in the TVB. We used a grid of 1,650 cells of 10 km of latitude and longitude in the TVB was divided for this analysis. As a result of the study were obtained six possible scenarios that could be considered as conservation networks.

Introducción General

En México han, habido varias iniciativas para definir y generar regionalizaciones a diferentes escalas. Los principales criterios utilizados se han enfocado en tratar de representar unidades formadas por tipos de vegetación relacionados con aspectos topográficos y climáticos (Rzedowski, 1991a). Con ésta base, Rzedowski (1973, 1978), Morafka (1992), y Morrone (2005, 2006) han propuesto la regionalización del país en diferentes provincias y subprovincias de acuerdo con el conocimiento florístico y faunístico disponible, pero sobre todo han empleado distintas perspectivas metodológicas, como la panbiogeografía, la fenética, la cladística y los análisis de parsimonia de endemismos para definir regiones biogeográficas (Morrone, 2005; 2006).

El país tiene un accidentado relieve con una compleja topografía, por lo que más del 65% de su área se encuentra por encima de los 1,000 de altitud y cerca del 47% de la superficie tiene pendientes superiores a 27% (Conabio, 1998). Estos gradientes altitudinales, junto con otros factores como la situación latitudinal del país y su relación con los grandes cinturones de vientos y los regímenes térmicos de las corrientes marinas que bañan las costas mexicanas, traen consigo variaciones climáticas. Esto hace que el país contenga prácticamente todos los grupos y subgrupos de climas posibles, y que existan fluctuaciones importantes de climas secos a húmedos en distancias de pocos kilómetros (Conabio, 1998).

La alta diversidad biológica que México posee es producto combinado de las variaciones en su topografía y clima encontrados en su superficie. Estas se combinan creando un mosaico de condiciones ambientales y microambientales que favorecen la distribución específica de las especies en todo el territorio del país (Flores y Gerez, 1994). Mittermeier y Goettsch (1992), mencionan que el número total de especies conocidas para México es de 64,878 aproximadamente. Junto con Brasil, Colombia e Indonesia, se encuentra entre los primeros lugares de las listas de riqueza de especies. Para este país, se han descrito alrededor de 26 mil especies de plantas, 282 de anfibios, 707 de reptiles y 439 de mamíferos. Estas cifras, comparadas con otros países en el plano mundial, colocan a México como un país megadiverso, ya que posee, al menos, el 10% de la diversidad biológica del planeta (Mittermeier y Goettsch, 1992).

La región central de México, de acuerdo con Morrone (2005), es el Componente Mexicano de Montaña, equivalente a la Zona de Transición Mexicana. En esta área se encuentra una alta diversidad biológica, como resultado de importantes procesos de especiación que se llevaron a cabo cuando se pusieron en contacto las regiones Neártica y Neotropical (Morrone, 2005). Dentro de este componente destaca el Eje Volcánico Transversal (EVT) el cual es considerado como la zona de transición entre

estas dos regiones (Vivó, 1943; Darlington, 1957). Morrone (2004) señala que los límites entre las zonas de transición de dos diferentes regiones biogeográficas, representan sucesos ecológicos e históricos que permiten la mezcla de componentes bióticos diferentes. La región del EVT, ha sido relacionada con otras regiones como la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, debido a la similitud florística encontrada con la compartición de especies (Delgadillo et al., 2003; Villaseñor, 2004; Escalante *et al.*, 2005; Morrone, 2005; Suárez-Mota, 2006). Sin embargo, existen pocos trabajos que consideren los patrones de distribución geográfica de la flora y fauna en su totalidad que permitan delimitar de forma precisa la región biogeográfica del EVT.

El Eje Volcánico Transversal, es la región del país que mayor atención ha recibido, especialmente sobre aspectos de geología y geofísica por cuestiones de seguridad, debido a que es una región geológicamente activa y que además concentra a la mayor parte de la población e infraestructura del país (Gómez-Tuena *et al.*, 2005). No obstante, aún existen desacuerdos sobre la delimitación, constitución, origen y evolución de su territorio, así como sobre su regionalización ecológica o biogeográfica que permitiría un mejor entendimiento de esta provincia (Ferrusquía-Villafranca, 2007). El EVT presenta una riqueza florística excepcional albergando numerosos grupos de plantas. Entre los principales factores que determinan la gran riqueza biológica están los climáticos y los geográficos (Rzedowski, 1991a), así como los históricos. Sin embargo, el EVT no solamente resalta por esta notable riqueza vegetal, sino también por su alto número de especies endémicas de reptiles, aves y mamíferos (Fa y Morales, 1991).

La definición de los dominios climáticos como atributos ambientales aunados a los criterios previamente establecidos, pueden ser la base para ayudar a la delimitación más detallada y objetiva del EVT. Se reconoce que el EVT ha sido una barrera que ha contribuido a diferenciar la biota de México en un componente neotropical ubicado principalmente al sur de ella y en otro neártico situado principalmente al norte de la misma (Ferrusquía-Villafranca, 2007).

En el marco de la biología de la conservación se pueden alcanzar objetivos importantes, pero se debe dejar atrás la idea de que un incremento en nuestro conocimiento científico, por sí mismo, siempre nos moverá hacia una conservación efectiva (Ehrenfeld, 2000). La producción de estudios con métodos y planes de conservación ha tenido un incremento significativo, se han generado amplias bases de datos que han permitido la incorporación de conceptos que posibilitan hacer análisis multivariados (iterativos) sobre la biodiversidad regional para reconocer áreas de mayor concentración de taxa denominadas como “hotspots” (áreas con importante de riqueza y/o rareza de especies). La incorporación de diversas herramientas, como los Sistemas de Información Geográfica, así como

aquellos empleados para modelar las áreas potenciales de distribución o el nicho ecológico de las especies, han sido herramientas que han permitido generar un mayor conocimiento sobre la distribución de las especies. Otro de los métodos más empleados es el análisis de parsimonia de endemismos (PAE por sus siglas en inglés), es un método de biogeografía histórica que permite clasificar áreas o localidades de acuerdo a taxa compartidos (Morrone y Crisci 1995).

En México, como en otros países megadiversos, donde los esfuerzos de conservación son obstaculizados por la carencia de inventarios completos y la insuficiencia de recursos (Villaseñor et al., 2005), es importante hacer un mayor esfuerzo para reconocer las zonas de alta concentración biológica y así proponer planes adecuados de conservación. La selección de áreas prioritarias de conservación es primordial en la planeación estratégica en países megadiversos como México, donde la tasa de deforestación y los cambios en el uso del suelo son altos (Sánchez-Cordero et al., 2005). La planificación de la conservación puede incorporar información cuantitativa y cualitativa en el proceso de toma de decisiones (Peterson, 2003). Para esto se han planteado métodos llamados de complementariedad de áreas, basados en fórmulas matemáticas que minimizan o maximizan ciertas condiciones, como la superficie, los costos, la cantidad de especies, etc. La selección de las áreas se determina por medio de un algoritmo que las escoge iterativamente, con el objeto de lograr la representación de una o más poblaciones de cada una de las especies de una manera eficiente (Vane-Wright et al., 1991; Ceballos, 1999; Rodrigues 1999; Rodrigues *et al.*, 2000).

El presente trabajo se propone con la finalidad de analizar el clima del EVT, mediante métodos multivariados para definir zonas climáticas (dominios) y la relación que éstas tienen con la distribución de especies de la flora que se encuentra en esta provincia morfotectónica de México. A partir de los valores que muestra la relación del clima y la flora se delimitará y propondrá una red de áreas de conservación para evaluar la función que desempeñan las áreas naturales protegidas (ANP's) y las regiones terrestres prioritarias (RTP's) en la conservación biológica del EVT.

Objetivo general

Regionalizar climática y florísticamente a la provincia del Eje Volcánico Transversal, con la finalidad de identificar áreas prioritarias de conservación a largo plazo en esta zona.

Objetivos particulares

Definir una regionalización climática del EVT, a partir de los valores de 19 parámetros climáticos analizados con métodos iterativos.

Estructurar una base de datos de las especies de plantas distribuidas en los tipos de vegetación que se encuentran en el EVT, para proponer una regionalización florística empleando análisis multivariados.

Reconocer posibles áreas prioritarias de conservación dentro del EVT mediante un análisis de complementariedad que permita establecer una estrategia de conservación utilizando la información biológica y climática.

Estructura de la tesis

Para cumplir con los objetivos, el documento está estructurado en tres capítulos. El primer capítulo se enfoca a la descripción general del área de estudio, mediante una regionalización climática propuesta a partir de la generación de dominios basados en la clasificación de los valores de 19 parámetros climáticos. En el segundo capítulo se analiza y se discute la diversidad y composición florística de la zona de estudio, para identificar áreas con alta diversidad biológica (“hotspots”) y zonas de concentración de endemismos, con base en dos tipos de análisis uno de semejanza (multivariados) y otro de parsimonia de endemismos (PAE). En el capítulo tres se proponen las zonas prioritarias de conservación del EVT, con base en un análisis de complementariedad.

Literatura citada

Ceballos, G. 1999. Áreas Prioritarias Para la Conservación de los Mamíferos de México. *Biodiversitas*. **27**: 1 - 8.

Conabio, 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país, 1998. Comisión para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Darlington, P.J.Jr. 1957. *Zoogeography: The geographical distribution of animals*. John Wiley, New York. 675 pp.

Delgadillo M. C., Villaseñor R. J. L. y Dávila A. P. 2003. Endemism in the Mexican flora: a comparative study in three plant groups. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **90**: 25-34.

Ehrenfeld, D. 2000. War and Peace and Conservation Biology. *Conservation Biology* **14**:105–112.

Escalante T., Rodríguez G. y J.J. Morrone 2005 Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **76** (2): 199-205.

- Fa, J.E y L.M. Morales. 1991. Mammals and Protected Areas in the Trans-Mexican Neovolcanic Belt. In: Mares, M.A. y D.J. Schmidly (eds.) Latin American mammalogy: History, biodiversity, and conservation. pp. 199-226. University of Oklahoma Press. Oklahoma.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 2007. Ensayo sobre la caracterización y la significación biológica. En: Luna, I., J.J. Monrroe y D. Espinoza (eds.). Biodiversidad de la Franja Volcánica Transmexicana. pp. 7-23. UNAM, México.
- Flores, V.O. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. 2ª edición. CONABIO-UNAM. México. 439 p.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel M.T. y L. Ferrari 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la Sociedad Geológica de México **2**(3): 227-285.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: *México ante los retos de la biodiversidad*. pp. 57-62 Conabio , México.
- Morafka, D.J., Adest, G.A., Reyes, L.M., Aguirre, G. y S. Lieberman. 1992. Differentiaton of North American Deserts: A Phylogenetic Evaluation of a Vicariant Model. In S.P. Darwin A.L. Welden (ed.) Biogeography of Mesoamerica. Tulane University, New Orleans. Pags. 195-226.
- Morrone, J.J. y V. Crisci. 1995. Historical biogeography: introduction to methods. Annual Review of Ecology and Systematics. **26**: 373-401.
- Morrone, J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. Revista Mexicana de Biodiversidad **76** (2): 207-252.
- Morrone, J.J. 2006. Biogeographic Areas and Transition Zones of Latin America and the Caribbean Islands Based on Panbiogeographic and Cladistic Analyses of the Entomofauna. Annu. Rev. Entomol. **51**: 467-494.
- Rzedowski, J. 1973. Geographical Relationships of the Flora of Mexican Dry Regions. En Alan Graham (Ed.) Vegetation and Vegetational History of Northern Latin America. Pags. 61-73. Elsevier Scientific Company. Amsterdam.
- Peterson, A.T. 2003. Predicting the geography of species invasions via ecological niche modeling. Quarterly Review of Biology **78**:419-433.
- Rodrigues, A.S.L. 1999. The performance of existing networks of conservation areas in representing biodiversity. Proceedings Royal Society Lond. B **266**: 1453–1460.
- Rodrigues, A.S.L., R.G. Gregory and K.J. Gaston. 2000. Robustness of reserve selection procedures under temporal species turnover. Proceedings Royal Society Lond. B **267**: 49–55.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.

- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*. 14: 3-21.
- Sánchez-Cordero, V., V. Cirelli, M. Murguía y S. Sarkar. 2005. Place prioritization for biodiversity representation using species ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics* 2: 11-23.
- Suárez-Mota, M. E. 2006. Afinidades Geográficas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán analizando las Asteraceae Mexicanas. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 35 p.
- Villaseñor, J.L. 2004. Los Géneros de las Plantas Vasculares de la Flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 105-135.
- Villaseñor, J.L., Ibarra-Manríquez G., Meave J.A., y E. Ortiz 2005. Higher taxa surrogates of plant biodiversity in a megadiverse country. *Conservation Biology*. 19: 232-238.
- Vane-Wright, R.I., C.J. Humphries y P.W. Williams. 1991. What to protect? systematics and the agony of choice. *Biology Conservation*. 55: 235–254.
- Vivó, J.A. 1943. Los límites biogeográficos en América y la zona cultural mesoamericana. *Revista Geográfica* 3: 109- 131.

Capítulo I

Regionalización climática de la Provincia Eje Volcánico Transversal de México.

Introducción

El territorio mexicano se caracteriza por tener un relieve montañoso extremadamente accidentado que cubre más del 50% de su superficie. Se ha reconocido al EVT, como una provincia caracterizada por rasgos geomórficos, geológicos y bióticos (florísticos y faunísticos) muy particulares (Ferrusquía-Villafranca, 2007). Algunos de estos rasgos determinan la variabilidad de los factores abióticos del EVT, en el cual es necesario diferenciar zonas que contribuyan a definir su delimitación territorial, basada en su diferenciación ecológica, biogeográfica y climática.

El EVT es una de las regiones naturales del país en la que han puesto mayor atención numerosos especialistas (geógrafos, geólogos, biólogos, urbanistas, etc.), no solo por ser de enorme interés científico por sus rasgos geomorfológicos y su composición biológica, sino porque algunas de las ciudades más importantes del país, incluida su capital, se encuentran en ella (Hubp *et al.*, 1990; Ferrari, 2000; Morrone, 2005 y Espinosa y Ocegueda, 2007). El reconocimiento de esta “región natural” se ha hecho bajo diferentes criterios, que han conducido a distintas delimitaciones que no coinciden entre sí, y han recibido sus propias designaciones. Por otro lado, se trata de una región muy importante desde el punto de vista de la conservación, ya que ha sido sobreexplotada por diversas actividades humanas, como la agricultura, la ganadería y las actividades forestales. Asimismo, el crecimiento poblacional ha provocado un importante desequilibrio ecológico y en consecuencia, la pérdida de su biodiversidad.

El EVT ha sido regionalizado en diversas formas, por ejemplo, con base en sus rasgos geológicos (Ferrari, 2000; Dávila *et al.*, 2010), en sus características bióticas (Morrone, 2005), en su geomorfología (Lugo-Hubp *et al.*, 1990), en su alta tasa de endemismos (Villaseñor *et al.*, 2006), así como por considerarlo el límite entre las regiones neártica y neotropical (Espinosa y Ocegueda, 2007). Sin embargo, la mayoría de las regionalizaciones propuestas para el EVT tienden a ser generales, pues están basadas en los patrones de distribución de algunos de sus atributos tanto bióticos como abióticos. Una regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes y representa una herramienta metodológica en la planeación ambiental, pues permite el conocimiento de los recursos para su manejo adecuado (Arriaga *et al.*, 2000). La importancia de regionalizar ambientalmente cualquier área, estriba en incluir toda la heterogeneidad biofísica que prevalece dentro de un determinado espacio geográfico, para así tener elementos que coadyuven a proteger hábitats y áreas con funciones ecológicas vitales para la biodiversidad (Arriaga *et al.*, 2000).

Los factores ambientales y físicos que ejercen mayor influencia en la determinación del clima del EVT son su posición geográfica, la cercanía al mar por sus extremos oriental y occidental (Hernández y Carrasco, 2007) y su constitución geológica debida a sucesiones volcánicas desde el Mioceno Medio al Holoceno, a lo largo de sistemas de fallas dispuestos principalmente en dirección WNW-ESE (Ferrusquía-Villafranca, 2007). La variabilidad climática en esta región, se da en distancias muy cortas debido a su topografía, las diferencias en altitud, a su orografía, así como a la elevación de las serranías circundantes (Greeland, 2005). De acuerdo con Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya (2007), en el EVT es posible identificar hasta 30 tipos climáticos que pertenecen a los cuatro grandes grupos climáticos reconocidos para México, bajo el sistema de Köppen modificado por García (1981). Sin embargo, los límites geográficos de esta provincia y algunos de sus factores ambientales (p.e. climáticos) son aún temas de discusión.

Para poder reducir los impactos negativos en la biodiversidad del EVT, es necesario establecer una planificación basada en un sistema de áreas naturales protegidas. Sin embargo, debido a que la información biológica para definir las áreas de conservación es a menudo escasa, se requiere de otro tipo de datos (p.e. climáticos) para la selección de estas áreas (Justus et al., 2007). Para ello se emplean factores ambientales que pueden ser usados como sustitutos o indicadores (subrogados o “surrogates”) de la biodiversidad, considerando los términos sustituto o indicador para referirse a las características que representan la diversidad biológica. Estos sustitutos pueden ser tanto las características biológicas (especies u otros taxa, los tipos de vegetación, etc.), como los atributos no biológicos de las áreas (tipos de suelo, clima, etc.) (Sarkar y Margules, 2002). Generalmente, se especifica un área total mínima en una red de áreas de conservación en la que un sustituto debe estar presente. La proporción de la distribución espacial del sustituto que se requiere en la red, debe ser proporcional a la distribución del factor biológico sustituido en la red descrita (Justus et al., 2007). Considerando lo anterior y bajo el supuesto de que la variación ambiental promueve la variación biológica (Nix et al., 2000), este trabajo se plantea en primer lugar una regionalización climática del EVT basada en diecinueve parámetros climáticos de los valores registrados en las estaciones meteorológicas e interpolados para el área del EVT. Como segundo objetivo se delimitan los dominios climáticos que se encuentran dentro de los límites geográficos de las Áreas Naturales Protegidas (ANP’s) que han sido decretadas en el EVT.

Área de estudio

El Eje Volcánico Transversal de México (Ferrusquía-Villafranca, 1990) se extiende de Veracruz a Nayarit, por el paralelo 19° latitud N, e incluye parte de 16 estados. El EVT divide al país en dos

grandes unidades y comunica a las sierras Madre Occidental y Oriental (Figura 1). El origen y desarrollo del EVT desde el Mioceno Medio hasta el Presente, ocasionó la formación de una cordillera montañosa extendida prácticamente de costa a costa, que ha operado como una barrera para los desplazamientos norte/sur de las especies y que en su momento (Mioceno Medio-Tardío) prácticamente obstaculizó el paso de la bióta de norte a sur y viceversa. Esto provocó la diferenciación en dos biotas regionales: 1) neártica, que ha ocupado el territorio situado al norte del EVT; 2) neotropical, que ha ocupado principalmente el territorio sureño (Ferrusquía-Villafranca, 2007).

Rasgos geográficos-físicos principales

El relieve del EVT es diverso, incluye valles (e.g. Valle del Río Santiago, Valle de Toluca, del río Lerma, y el Valle de Puebla-Tehuacán entre otros), cuencas endorreicas (e.g. la cuenca de México), planicies (como los Llanos de Apan, Hidalgo.), y otros muy numerosos para ser nombrados), mesetas (e.g. la Meseta Tarasca), y desde luego, montañas volcánicas, que son los geomorfos más abundantes. Algunas de ellas son las montañas de mayor altura del país: Pico de Orizaba (Veracruz, 5675 m) Popocatepetl (límite México/Puebla, 5452 m) Iztaccíhuatl (límite México/Puebla, 5286 m, Nevado de Toluca (México, 4558 m), Malinche (límite Tlaxcala/Puebla, 4461 m), Nevado de Colima (Jalisco, 4330 m) Cofre de Perote (Veracruz, 4286 m), Volcán de Fuego de Colima (Jalisco, 3960 m) y Tancítaro (Michoacán, 3845 m), entre otras (Yarza de la Torre, 1992.)

Clima

En general, el clima actual en el centro de México se caracteriza por tener su máxima precipitación en el verano, cuando la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) alcanza su posición más al norte y la humedad es arrastrada por los vientos alisios desde el Golfo de México y el Caribe, y por el sistema tipo monzón que provee humedad desde el Pacífico tropical (Caballero et al., 2010). Las tormentas tropicales y huracanes también son una fuente de humedad importante en ambas vertientes hacia finales de verano y principios del otoño. El invierno se caracteriza por el desplazamiento de masas de aire polar (frentes fríos) sobre la Mesa Central y la vertiente del golfo de México, asociadas con un marcado descenso en la temperatura, lo que genera que la parte central y la vertiente del golfo sean levemente más fríos que los de la vertiente del Pacífico. La distribución de la temperatura promedio anual está determinada por la variación altitudinal, de manera que los valores mayores a 26° C se encuentran en la porción SO del EVT y llegan a ser menores a 2° C en las montañas más altas. Sin embargo, entre estos extremos, en la mayor parte del EVT, la temperatura promedio anual fluctúa entre

12 y 18° C; siendo, sin embargo, más cálida la porción occidental donde los valores fluctúan entre 18 y 22° C. En toda la región, la primavera es la etapa más cálida y seca del año (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2007).

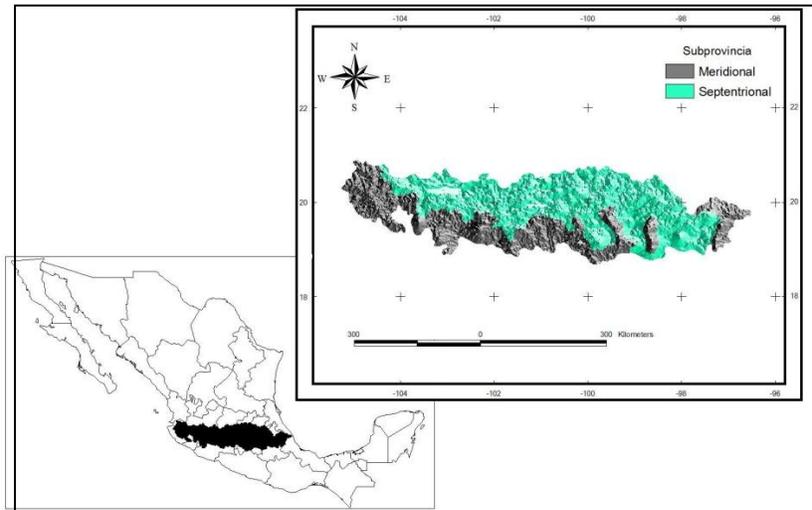


Figura 1. Área de estudio zona geomorfológica Neovolcanense (CONABIO, 1997)

Método

I. Variables climáticas

Para realizar el proceso de clasificación (regionalización climática), se seleccionaron las variables climáticas que tienen importancia funcional con relación a algunos procesos fisiológicos básicos en plantas (Landsberg, 1986; Nix, 1986) y una alta correlación con los patrones de distribución de algunas especies vegetales silvestres (Villaseñor y Téllez 2004). Se estimaron los valores de 19 parámetros climáticos (Cuadro 1) en celdas de 1 km², a través de todo el EVT. Se interpolaron los valores promedio mensuales, de la precipitación y de las temperaturas mínima y máxima obtenidos de las estaciones meteorológicas a una resolución espacial de 1 km², a través de todo el EVT, usando el algoritmo “thin plate smoothing splines” implementado en el paquete ANUSPLIN (Hutchinson y Gesler, 1994). Los valores interpolados generaron los valores de los 19 parámetros bioclimáticos. Posteriormente con ayuda del paquete ANUCLIM 5.1 (Houlder et al., 2000) se obtuvieron los valores promedio mensuales de las 19 variables del clima que se encuentran en cualquier punto del EVT, en términos de tres variables independientes, longitud, latitud y altura.

Estos 19 parámetros climáticos (cuadro 1), son considerados significativos desde el punto de vista biológico (Woodward, 1987). Por ejemplo, la temperatura promedio anual se ha utilizado para describir las condiciones de temperaturas generales que están relacionadas con la demanda y aporte de agua y nutrientes que influye en la productividad vegetal. Por otra parte, las temperaturas mínimas extremas juegan un importante papel para determinar los límites de distribución de las especies de plantas (Woodward, 1987) y también para controlar los eventos fenológicos, tales como la germinación y la iniciación floral (Jones, 1994). Por su parte la precipitación del cuatrimestre más lluvioso, es un parámetro correlacionado con la floración y la fructificación estacional de las plantas en México (Rzedowski, 1978).

Cuadro 1. Parámetros climáticos usados para generar la clasificación de dominios climáticos en el Eje Volcánico Transversal, México. La columna figura se refiere al número que les corresponde en páginas siguientes.

No.	Parámetro	Descripción	Figura
1	Temperatura promedio anual	Es el promedio de los valores obtenidos entre las temperaturas máximas y mínimas. Con las temperaturas medias mensuales (promedio de las temperaturas diarias a lo largo del mes) se obtiene un valor de las temperaturas medias de un lugar en el periodo de un año	2
2	Oscilación diurna de la temperatura	Es la diferencia de los valores promedio de las temperaturas máxima y mínima mensuales (Figura 3). La oscilación diurna es un elemento de mayor significancia que la variación estacional (Rzedowski, 1978)	3
3	Isotermalidad	Es el valor que se obtiene de la oscilación diurna mensual (parámetro 2) dividido por la oscilación anual de la temperatura (parámetro 7)	4
4	Temperatura Estacional (C de V= desviación estándar * 100)	Es el valor de la desviación estándar de la temperatura media mensual multiplicada por 100	5
5	Temperatura máxima del periodo más cálido	Se refiere al valor de temperatura más alta registrado en un periodo de tiempo que puede ser semanal o mensual	6
6	Temperatura mínima del periodo más frío	Se refiere al valor de temperatura más bajo registrado en un periodo de tiempo que puede ser semanal o mensual	7
7	Oscilación anual de la temperatura (5-6)	La diferencia entre el valor de la temperatura ambiente máxima del periodo más cálido (parámetro 5) y el correspondiente al periodo más frío (parámetro 6)	8
8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo	Es el valor promedio de las temperaturas máximas y mínimas que se registran durante los tres meses (julio, agosto y septiembre) más lluviosos del año	9
9	Temperatura promedio del trimestre más seco	Es el valor promedio de las temperaturas máximas y mínimas que se registran durante los tres meses (febrero, marzo y abril) más secos del año	10
10	Temperatura promedio del trimestre más cálido	Es el valor promedio de las temperaturas máximas y mínimas que se registran durante los tres meses (abril, mayo y junio) más calurosos del año	11
11	Temperatura promedio del trimestre más frío	Es el valor promedio de las temperaturas máximas y mínimas que se registran durante los tres meses (diciembre, enero y febrero) más fríos del año	12

No.	Parámetro	Descripción	Figura
12	Precipitación anual	Es el resultado de la suma de todos los valores estimados de precipitación mensuales	13
13	Precipitación del periodo más húmedo	Se refiere al valor de precipitación más alto de los registrados en los 12 meses del año	14
14	Precipitación del periodo más seco	Se refiere al valor de precipitación más bajo de los registrados en los 12 meses del año	15
15	Precipitación estacional	Es el valor de la desviación estándar que se obtiene con las estimaciones mensuales de precipitación, este valor se multiplica por cien y el resultado se divide entre 1 más el promedio de la precipitación anual; expresado como porcentaje	16
16	Precipitación del trimestre más húmedo	Se refiere al resultado que se obtiene de la suma de los valores de precipitación de los tres meses más húmedos (lluviosos) del año	17
17	Precipitación del trimestre más seco	Se refiere al resultado que se obtiene de la suma de los valores de precipitación de los tres meses más secos (menos lluviosos) del año	18
18	Precipitación del trimestre más cálido	Se refiere al resultado que se obtiene de la suma de los valores de precipitación de los tres meses más calurosos del año	19
19	Precipitación del trimestre más frío	Se refiere al resultado que se obtiene de la suma de los valores de precipitación de los tres meses más fríos del año	20

Todos los datos climáticos fueron revisados detalladamente para detectar errores y hacer su corrección. La corrección de los errores de las coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas fue hecha usando cartas topográficas de escala 1: 250,000 (www.inegi.gob.mx).

Los datos climáticos que se obtuvieron con ANUSPLIN de cada uno de los 19 parámetros climáticos se convirtieron en un archivo con formato de tipo raster, el cual es una división del área de estudio en celdas, generalmente cuadradas, en este caso de 1 km². Cada una de estas celdas tiene un valor único que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la misma. Así, los archivos raster permiten importar los valores de las 19 coberturas climáticas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Con estos archivos raster y con el uso de un SIG (ArcView 3.2), se generaron las coberturas digitales (layers) con los valores de los 19 parámetros climáticos característicos del EVT.

II. Medio Físico

Se crearon coberturas digitales de tres aspectos físicos que son: a) altitud, b) pendiente y c) orientación. Estos tres parámetros son considerados como factores principales que propician la variación climática en el EVT. Primero con el uso de un SIG (ArcGIS 9.2; ESRI, 2010), se elaboró un modelo digital de elevación (MDE), el cual se define como un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "X" y "Y" a las

que se les agrega un valor de "Z" que corresponde a la elevación (altitud sobre el nivel del mar). Con este MDE, se obtuvieron los valores altitudinales del EVT. Este mismo mapa se utilizó para generar las coberturas de la pendiente y la orientación (<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol>).

a) Altitud (m snm)

La altitud es un factor que modifica sustancialmente el clima, en especial en la zona intertropical, donde se convierte en el principal modificador del clima. Con la interpolación de la información altitudinal existente en INEGI, se crea la cobertura de esta información continua, utilizando para ello, el mapa del MDE y la extensión "Grid Analysis" implementada en el sistema de información geográfica utilizado (ArcGIS 9.2; ESRI, 2010).

b) Pendiente

La pendiente en un punto de la superficie, se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical. Su estimación se obtiene a partir del MDE. La pendiente en el EVT; es una cobertura creada a partir del modelo digital de elevación de 1 km² y se obtiene utilizando una de las aplicaciones del sistema de información geográfica empleado (Figura 22).

c) Orientación

La disposición de las cordilleras más importantes con respecto a la incidencia de los rayos solares determina dos tipos de vertientes o laderas montañosas: de solana y de umbría (geografía). Al norte del Trópico de Cáncer, las vertientes de solana son las que se encuentran orientadas hacia el sur, mientras que al sur del Trópico de Capricornio las vertientes de solana son, las que están orientadas hacia el norte. La orientación se generó a partir del modelo digital de elevación utilizando la extensión 3D "Analysis" implementada en el Sistema de información geográfica ArcGIS 9.2 (figura 23).

Las coberturas elaboradas que incluyen 19 de clima y tres de terreno (físicas), en conjunto permiten obtener los valores de cada una de ellas, a lo largo de todo el EVT. Con esos valores es posible hacer análisis multivariados que son útiles para encontrar grupos de celdas que, por la similitud de sus valores, han permitido hacer una regionalización ambiental del EVT. En este trabajo, la clasificación de los valores ambientales se define como regionalización climática debido a la cantidad de estas variables empleadas están principalmente integradas por factores climáticos.

I. Proceso de clasificación (regionalización climática)

Con los datos de las 19 variables climáticas y las celdas de 1 km², se estructuró una matriz en la que las celdas (163,015) fueron las filas y los parámetros físicos y climáticos las columnas. Debido a que el número de datos de la matriz es alto, se llevó a cabo una clasificación multivariada de dos pasos. El primer paso consistió en una clasificación no-jerárquica en la que se utilizaron los valores de la matriz estructurada con el algoritmo denominado ALOB, integrado en el programa PATN (Belbin 1987). Esta técnica, basada en la similitud de los centroides de las celdas, es particularmente útil para obtener grupos de datos para ser clasificados de forma jerárquica. Como índice de asociación se seleccionó la métrica de Gower para calcular la distancia entre valores. Esta distancia se calcula entre cada píxel del mapa y cada punto con datos registrados, a partir de los valores de las 19 variables climáticas. El algoritmo ALOB produce una matriz de similitud intergrupala que puede ser usada para examinar la estructura de los grupos principales que determinan los dominios climáticos. Al final de éste primer paso se obtiene un dendrograma que refleja los grupos obtenidos y la relación entre ellos.

Como resultado de la clasificación no jerárquica además del dendrograma de agrupamiento, el programa PATN produce un archivo denominado "Row Group Statistics" (RGS). Con este archivo se obtienen los perfiles climáticos que corresponden a cada uno de los grupos generados. Estos perfiles son los valores (mínimo, primer cuartil, media, mediana, tercer cuartil y máximo) correspondientes a cada una de las variables los cuales se utilizan para realizar el segundo paso, que se refiere a una clasificación climática de tipo jerárquica, para lo cual, se estructura otra matriz en la que las filas corresponden a los grupos obtenidos en la clasificación no jerárquica y las columnas (114) a los valores de sus perfiles. La clasificación se hace empleando también la métrica de Gower para encontrar la similitud entre los valores obtenidos en la clasificación no jerárquica y en seguida se hace la agrupación con un agrupamiento promedio no ponderado (UPGMA por sus iniciales en inglés) (Belbin 1991). Como resultado se obtiene un dendrograma que resume la agrupación de las celdas que, por su similitud, generan los dominios climáticos.

Finalmente, con el fin de desplegar los dominios climáticos como grupos en color lo cual refleja las similitudes intergrupales (Belbin et al. 1983), se utilizó el programa PATN que produce otro archivo denominado "Row Group Composition" (RGC) que fue añadido a la base de datos original (matriz) para ser desplegado en ArcView o ArcGis como un archivo de puntos y convertido en un archivo con formato de ARC/INFO ASCII GRID.

Los dominios reconocidos en el análisis se sobrepusieron en el mapa de Áreas Naturales Protegidas (ANP's) que se han decretado en el EVT. De esta manera se reconocen los dominios climáticos que caracterizan a las ANP's que pueden considerarse como atributos promoventes de la variabilidad biológica en cada ANP.

Resultados

Las coberturas que fueron elaboradas 19 de clima y tres de terreno (físicas), en total 22 muestran que la composición climática del EVT es altamente heterogénea. Se obtuvieron los valores de cada una de las 22 variables representados en rangos, con los que se pudieron realizar los siguientes mapas que indican su distribución en todo el EVT.

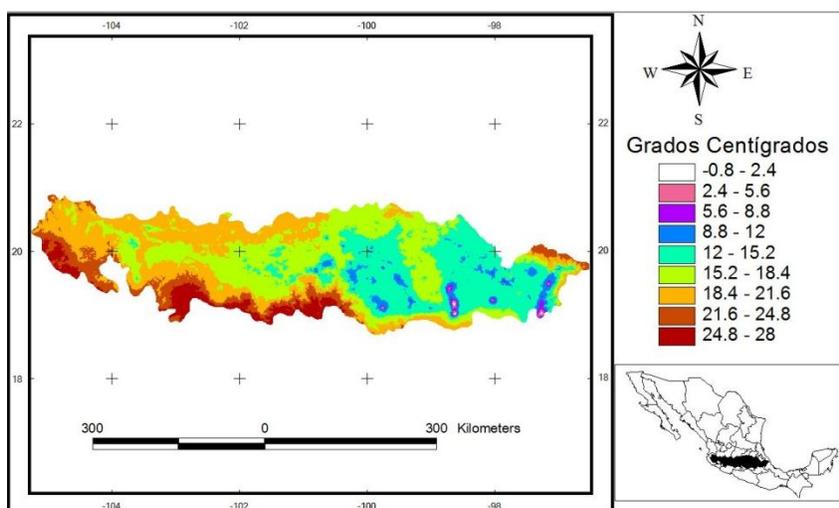


Figura 2. Valores de la temperatura promedio anual del EVT.

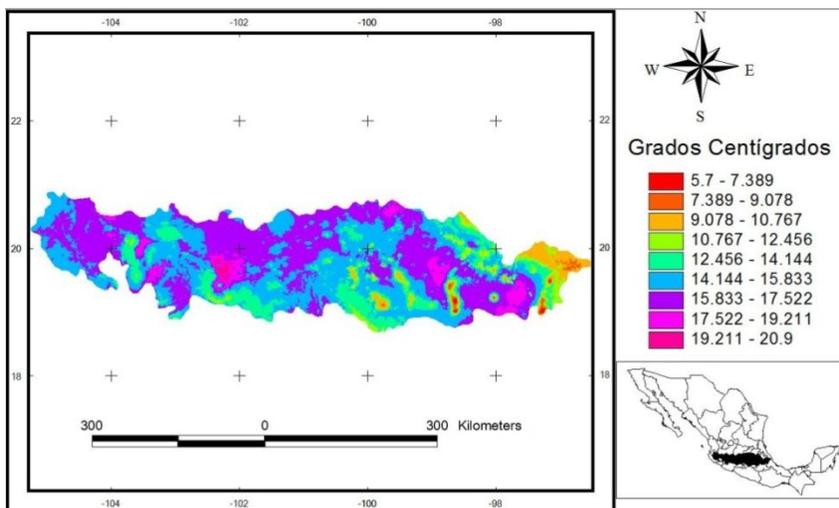


Figura 3. Valores de la oscilación diurna de la temperatura en el EVT.

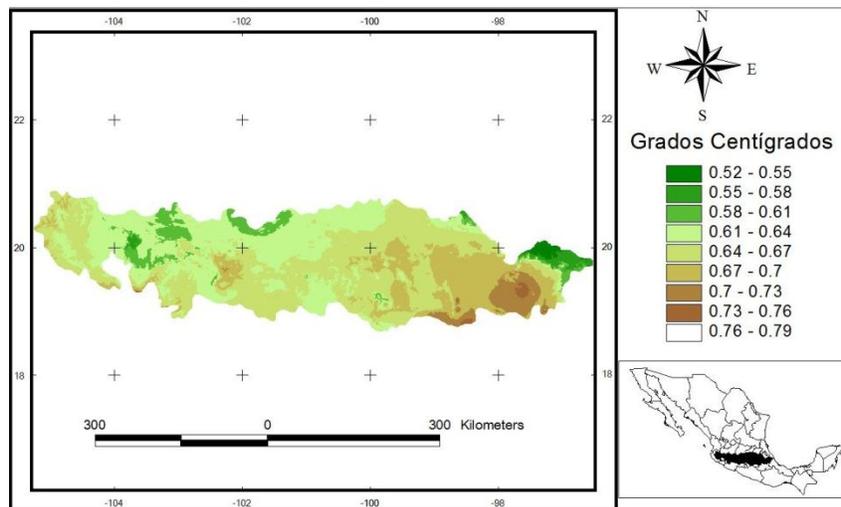


Figura 4. Valores de la isotermalidad en el EVT.

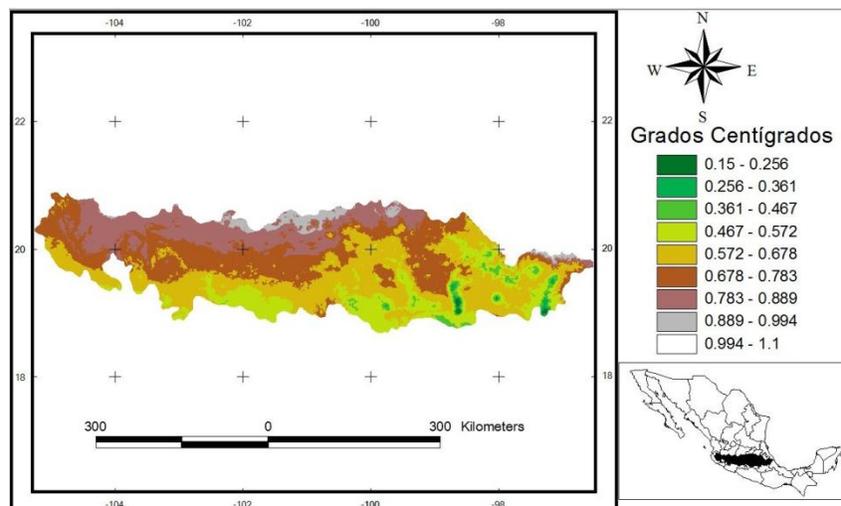


Figura 5. Valores de la estacionalidad de la temperatura en el EVT.

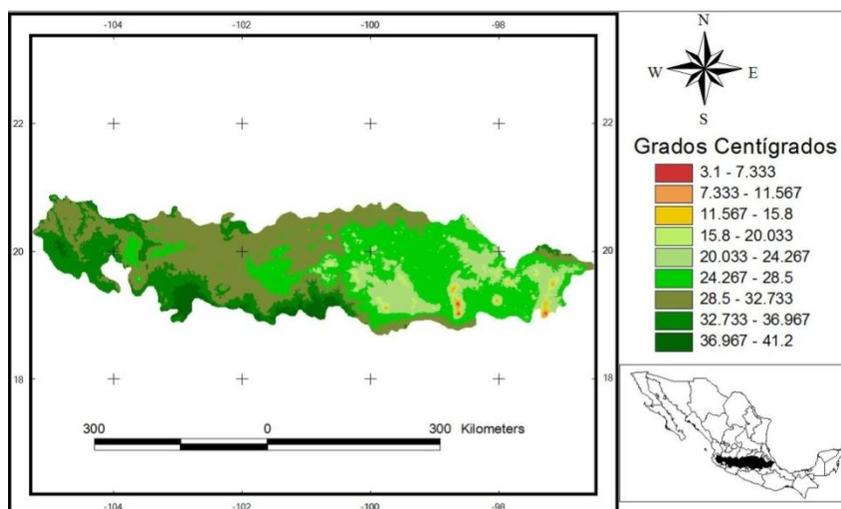


Figura 6. Valores de la temperatura máxima promedio del periodo más cálido en el EVT.

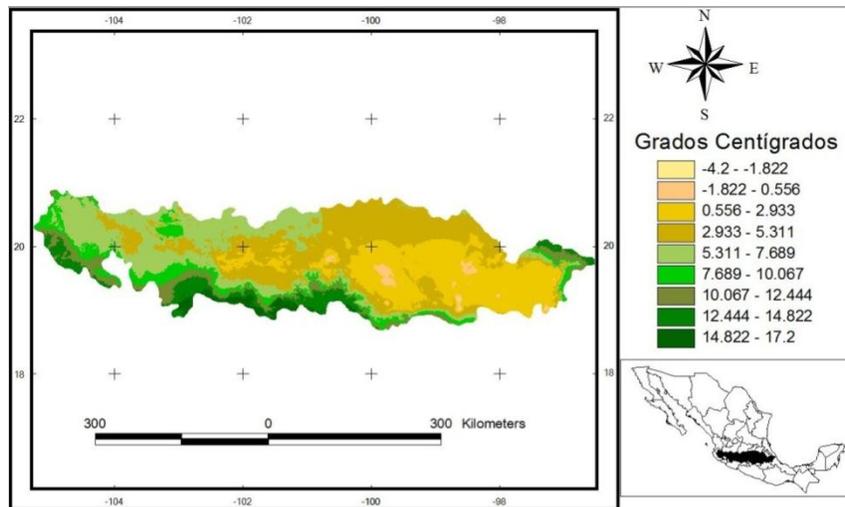


Figura 7. Valores de la temperatura mínima promedio del periodo más frío en el EVT.

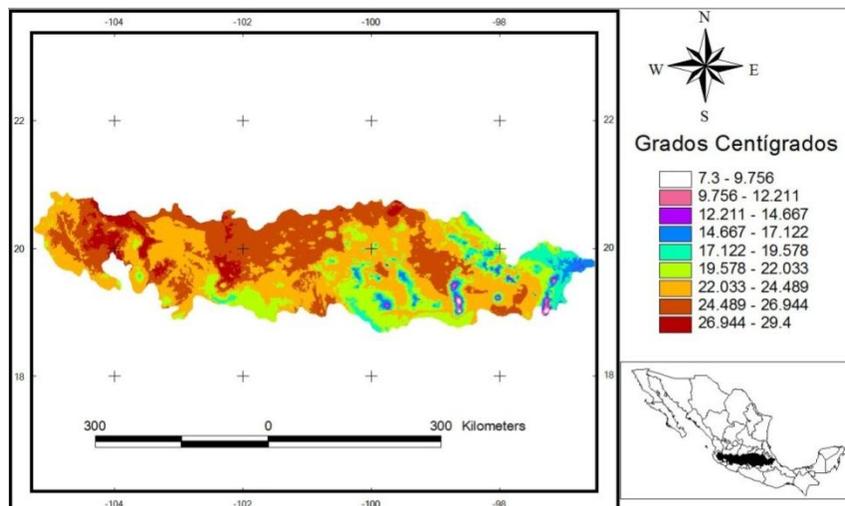


Figura 8. Valores de la oscilación anual de la temperatura en el EVT.

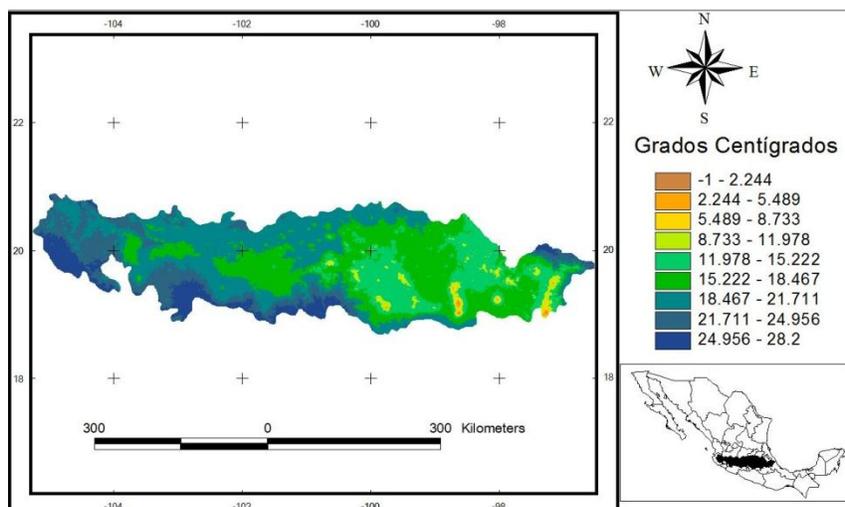


Figura 9. Valores de la temperatura promedio del trimestre más húmedo del EVT.

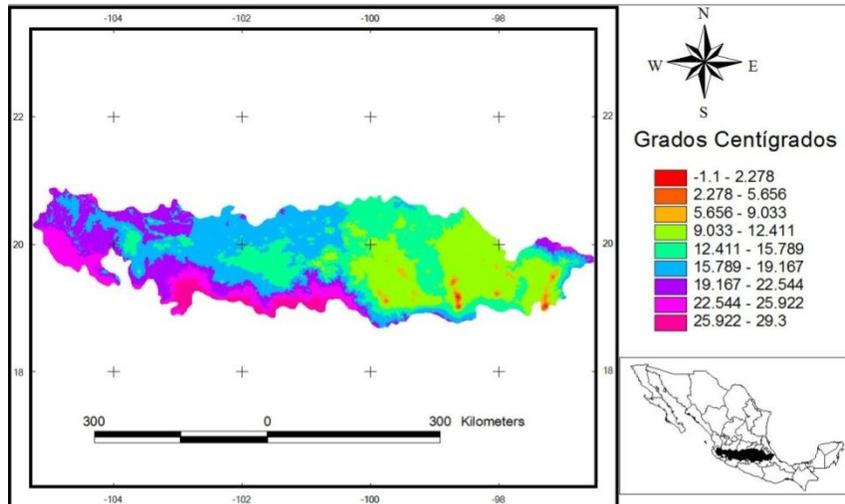


Figura 10. Valores de la temperatura promedio del trimestre más seco del EVT.

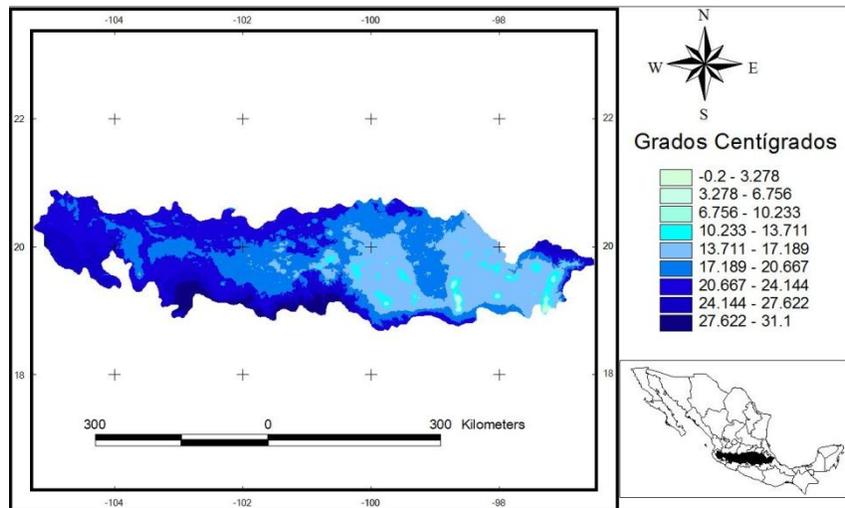


Figura 11. Valores de la temperatura promedio del trimestre más cálido del EVT.

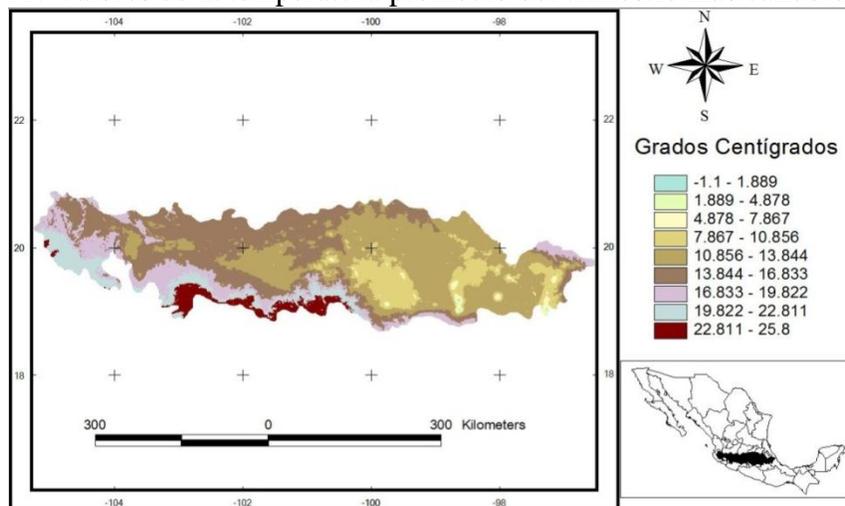


Figura 12. Valores de la temperatura promedio del trimestre más frío del EVT.

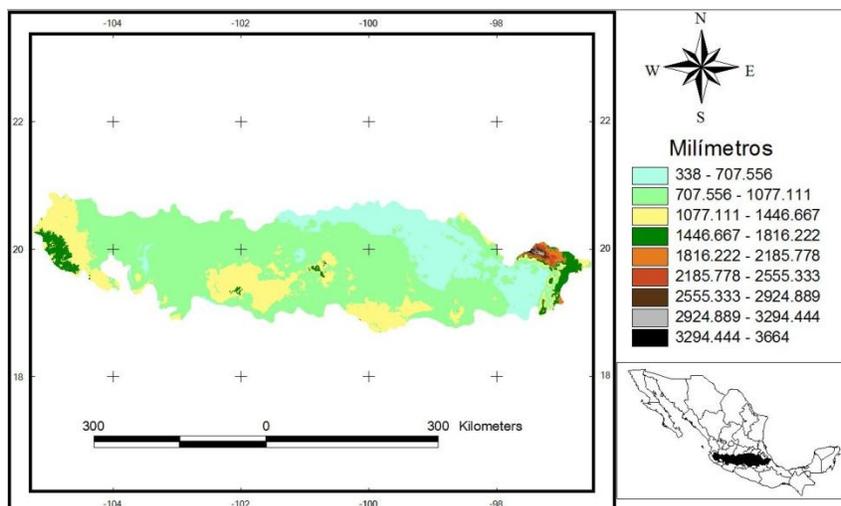


Figura 13. Valores de la precipitación anual en el EVT.

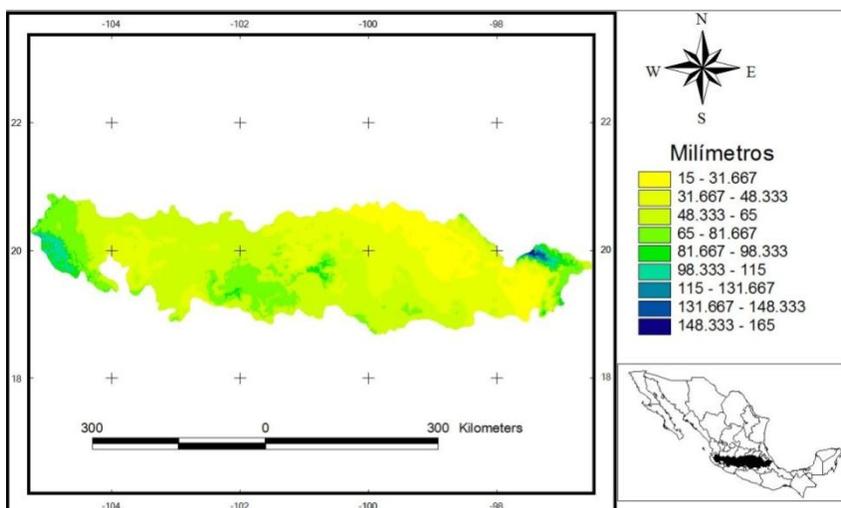


Figura 14. Valores de la precipitación del periodo más lluvioso en el EVT.

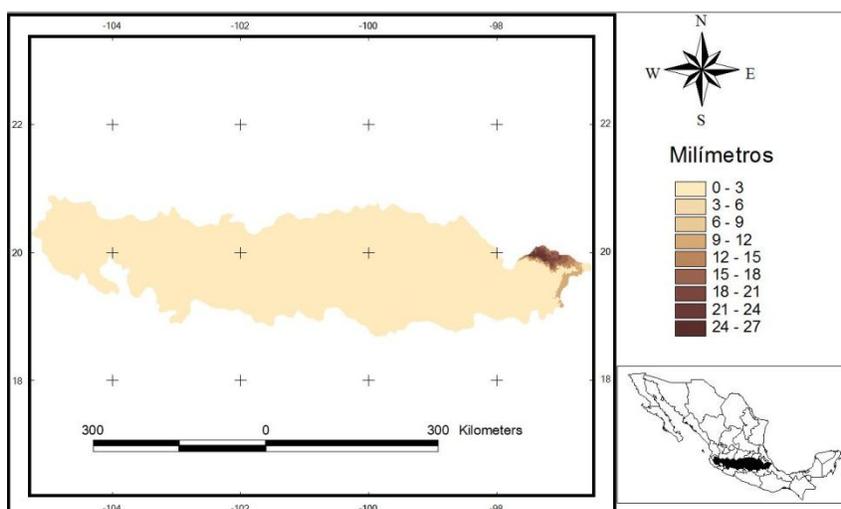


Figura 15. Valores de la precipitación del periodo más seco en el EVT.

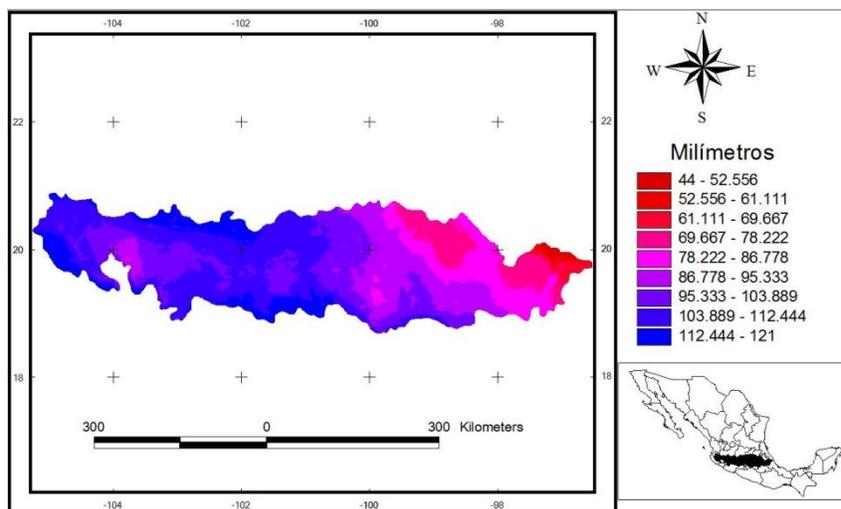


Figura 16. Valores de la estacionalidad de la precipitación en el EVT.

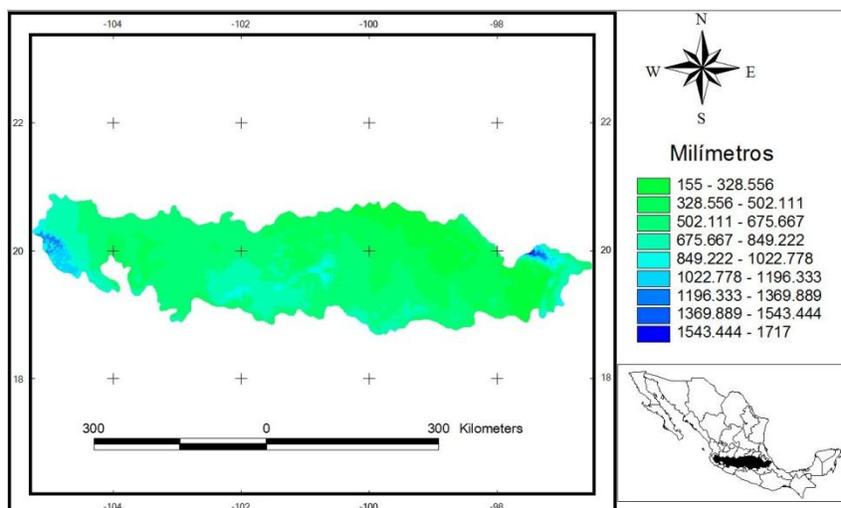


Figura 17. Valores de la precipitación del trimestre más húmedo del EVT.

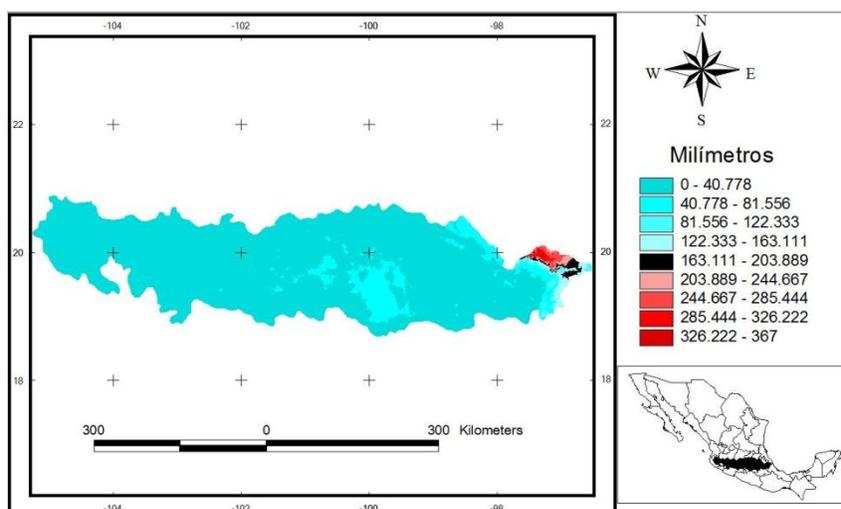


Figura 18. Valores de la precipitación del trimestre más seco del EVT.

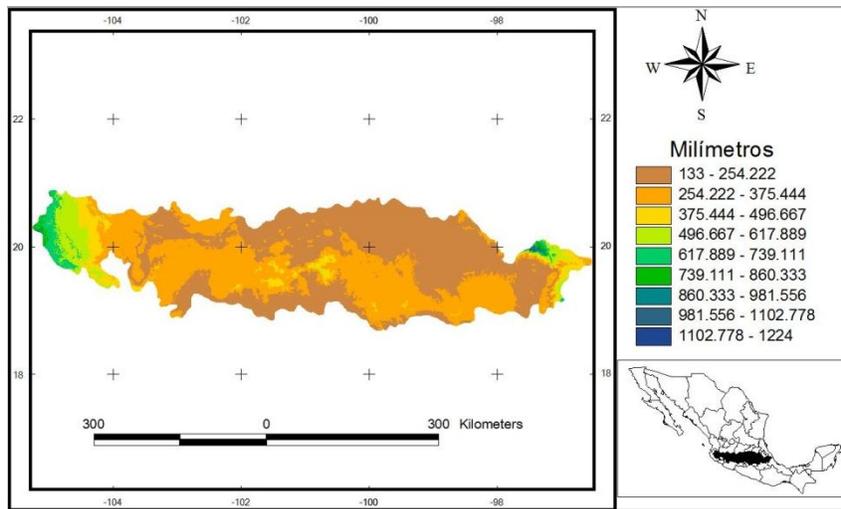


Figura 19. Valores de la precipitación del trimestre más cálido del EVT.

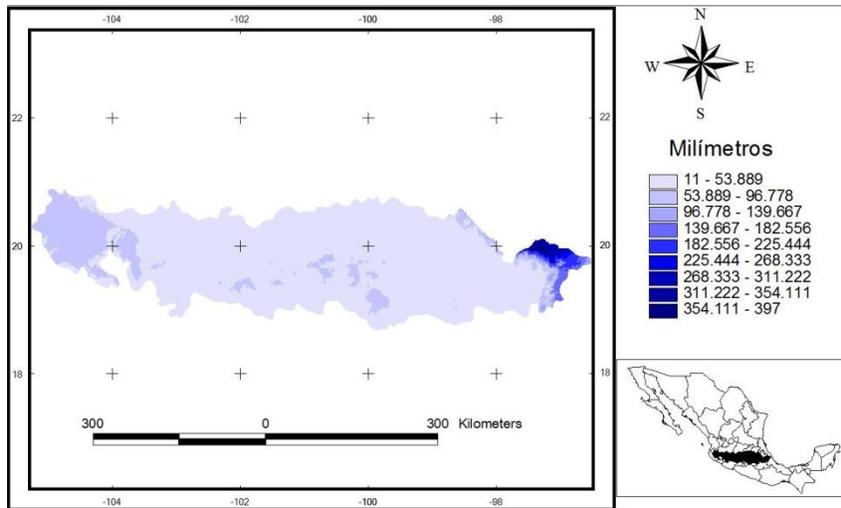


Figura 20. Valores de precipitación del trimestre más frío del EVT.

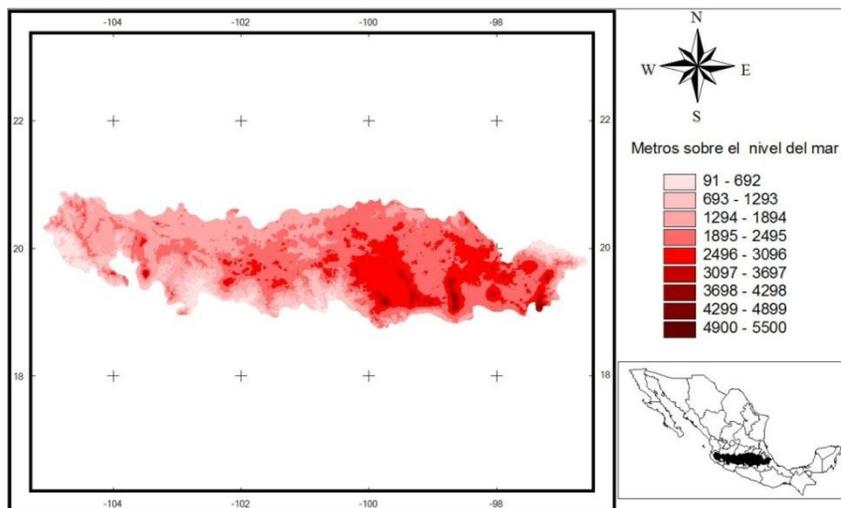


Figura 21. Valores de altitud del EVT.

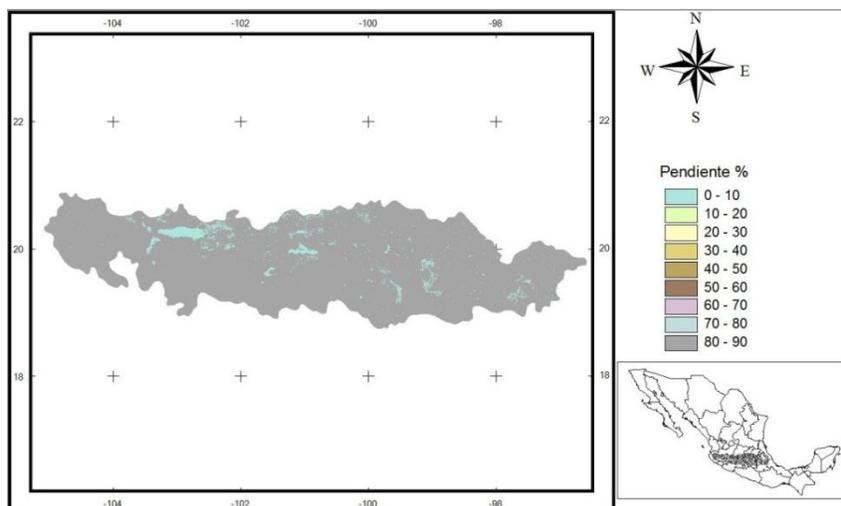


Figura 22. Valores de la pendiente en el EVT.

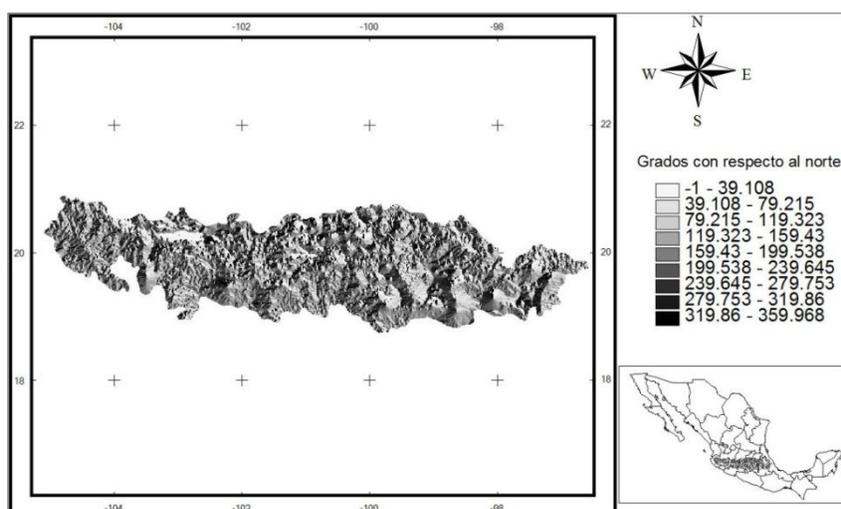


Figura 23. Grado de orientación del EVT.

La matriz estructurada, en primera instancia se clasificó a nivel de dos grupos (dominios) con el fin de definir aquellas áreas con ambientes cálidos y secos por un lado y por el otro aquellas con ambientes templados y húmedos (Figura 24). Con esta clasificación se identificaron las variantes climáticas del EVT a partir de sus parámetros climáticos. Se encontraron un máximo de 404 variantes (dominios). Sin embargo, la representación gráfica de todos estos dominios es difícil de desplegar en un solo mapa, debido a la limitación del uso de colores y/o símbolos, así como por la cantidad de datos generados. Por lo tanto se decidió hacer una clasificación de los dominios climáticos con fines de conservación, para lo cual se generaron clasificaciones a nivel de 2, 10 y 50 dominios climáticos (figuras 24, 25 y 29) los cuales permitieron hacer un análisis de la variabilidad climática del EVT.

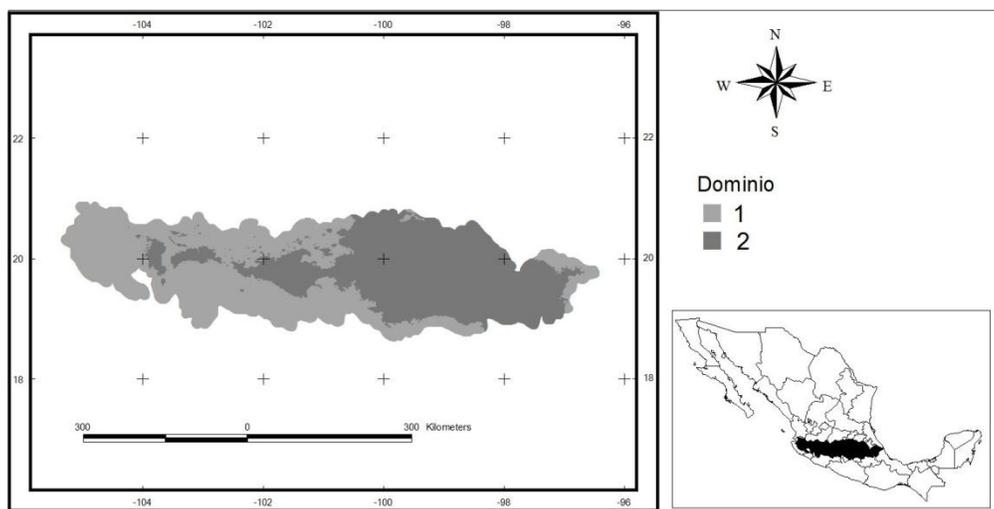


Figura 24. Dos dominios climáticos encontrados en el EVT.

Con los datos de las coberturas ambientales se obtuvieron los valores de los perfiles climáticos de los 10 dominios definidos dentro del EVT (Cuadro 3), que permiten reconocer los grupos climáticos de acuerdo al grado de similitud encontrada entre los dominios. En el dendrograma de la figura 26, se muestran los valores de similitud climática que hay entre las celdas del EVT, obtenidos con la métrica de Gower y que permiten reconocer cuatro regiones climáticas dentro del EVT (Fig. 27).

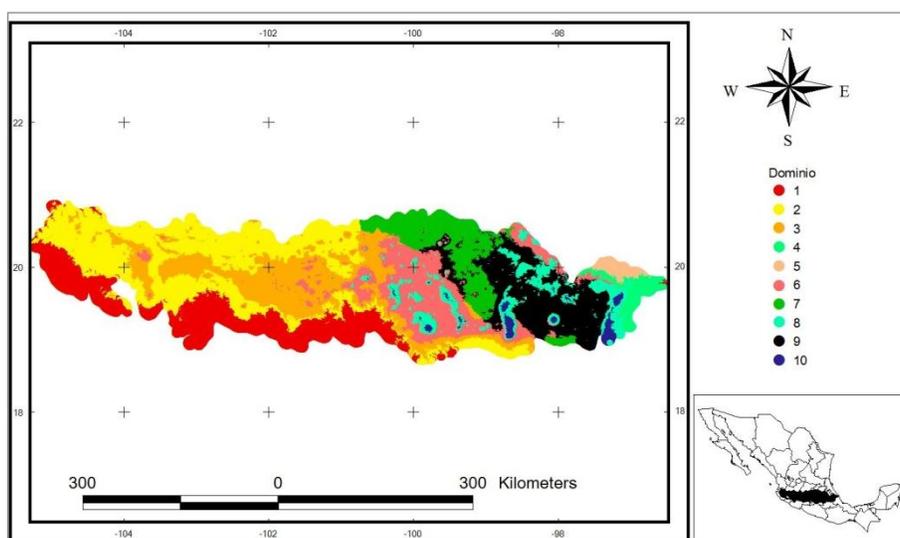


Figura 25. Diez dominios climáticos en que se regionalizó el EVT.

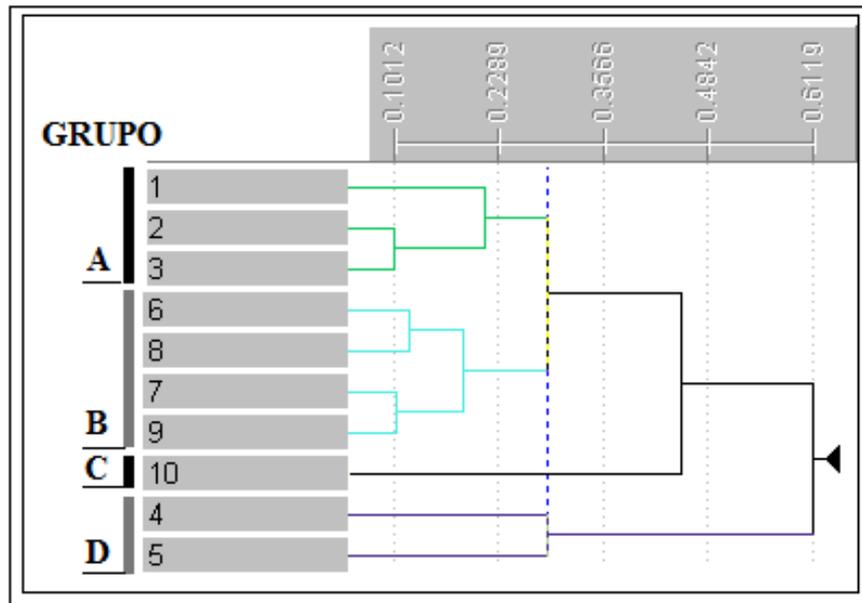


Figura 26. Valores de similitud que tienen los 10 dominios climáticos del EVT.

El tamaño de los 10 dominios es muy variado, desde 42,443 Km² el más amplio (dominio 2) hasta 1,852 km² el más reducido (dominio 10). Los lugares que ocupan de acuerdo con su área se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Valores del tamaño de área ocupada por cada dominio, así como los valores climáticos que determinan su relación. TPA= temperatura promedio anual, Ptmáx= promedio de la temperatura máxima Ptmín= promedio de la temperatura mínima PPA= promedio de la precipitación anual. Todos estos datos incluyen su (±) desviación estándar.

Lugar por tamaño de área	DOMINIOS	Área (km ²)	TPA (T °C)	Ptmáx (T °C)	Ptmín (T °C)	PPA (mm)
1°	2	42443	19.76±2.05	32.1±2.71	7.07±2.73	918.13±304.05
2°	3	29157	16.92±1.59	28.91±2.17	4.77±2.72	960.25±257.69
3°	6	20303	14.03 ±1.93	24.78 ±2.42	2.67 ±2.3	983.58 ±298.72
4°	1	20285	24.4±2.59	36.04±3.53	12.97±2.92	1106.61±406.83
5°	9	19999	14.3 ±1.26	25.38 ±1.96	2.08 ±1.62	654.37 ±207.31
6°	7	14351	16.67 ±2.05	28.67 ±2.56	3.6 ±1.78	581.69 ±184.01
7°	8	9906	12.04 ±1.67	21.26 ±2.53	2.69 ±1.87	884.88 ±396.58
8°	4	2853	17.47±3.84	25.82±3.58	8.9±3.64	1634.87±509.49
9°	5	1866	21.76±2.3	30.75±2.7	12±2.16	2236.52±807.16
10°	10	1852	7.62 ±4.05	14.32 ±5.52	0.98 ±2.55	1175.85 ±395.11

Los parámetros que determinan el valor de la similitud climática entre los dominios son la temperatura promedio anual, el promedio de la temperatura máxima, el promedio de la temperatura mínima y el promedio de la precipitación anual (Figura 26). El valor promedio de temperatura anual

más alto corresponde al dominio uno, el cual ocupa el 4° lugar en cuanto a la extensión de su área, mientras que el menor valor de esta variable corresponde al dominio 10, que ocupa el décimo lugar por área ocupada. Por su parte el valor más alto de temperatura máxima también corresponde al dominio uno, mientras que el dominio 10 registra el valor más bajo de la temperatura mínima, lo cual muestra una diferencia de temperatura muy significativa entre estos dominios. Sin embargo, los valores de precipitación de estos dominios son muy similares 1106.5 mm y 1175.85 mm respectivamente (cuadro 2). La diferencia con respecto a los demás dominios (figura 28), se indica en el cuadro 2 y los valores de todos los parámetros se muestran en el Apéndice 1.

A partir, de los valores climáticos con los que se formaron los 50 dominios (Figura 29) que definen la variabilidad climática del EVT, se hizo una clasificación de similitud con la cual se obtuvieron nueve grupos que se muestran en el dendrograma de la figura 30 y permiten reconocer diferentes regiones climáticas en el EVT. Los grupos formados son heterogéneos en cuanto al número de dominios y por lo tanto en su composición climática. Uno de los grupos (el séptimo) es la representación de un solo dominio, mientras que el primer grupo está integrado con 14 dominios (cuadro 3).

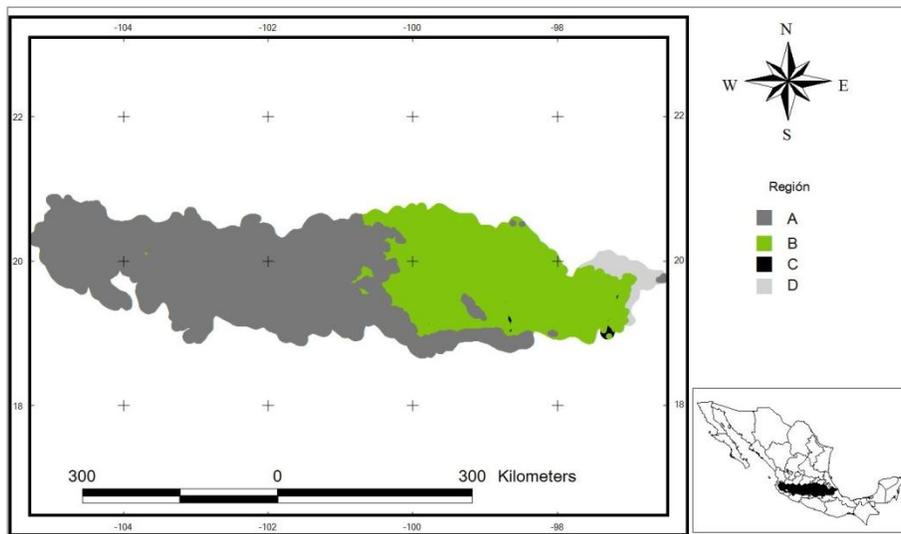
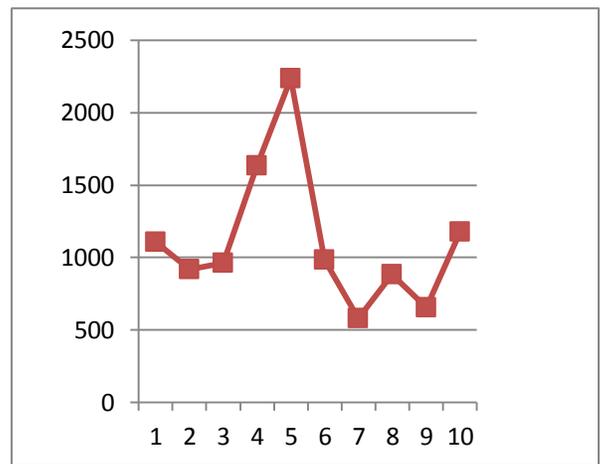
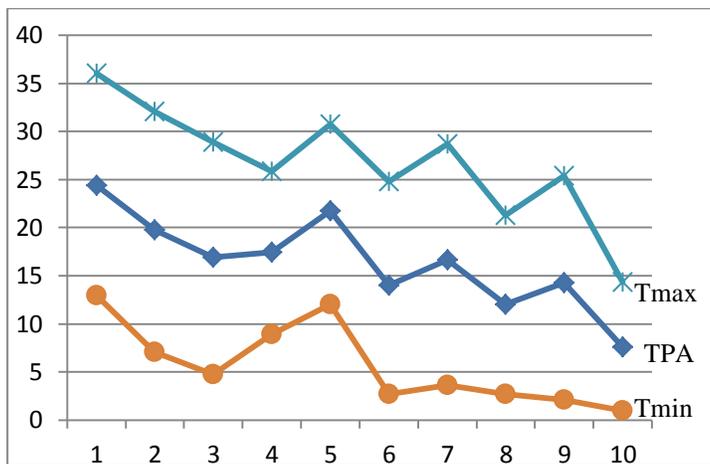


Figura 27. Regiones climáticas del EVT determinadas con la similitud de 10 dominios.



A)

B)

Figura 28. A) Valores de temperatura TPA= temperatura promedio anual, Tmax= Promedio de la temperatura máxima y Tmin= promedio de la temperatura mínima. B) Valor promedio de la precipitación anual.

Cuadro 3. Se indican los dominios climáticos que forman a los grupos obtenidos con base en su similitud climática.

Grupo	Dominios	Total
A	1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 20, 24, 34,37,39, 44 y 49	14
B	12, 35, 47 y 50	4
C	4, 7, 10, 11, 13, 29, 33 y 46	8
D	30, 32, 36, 38, 40, 42 y 43	7
E	45 y 48	2
F	14, 18, 21, 23,25 y 27	6
G	28	1
H	15, 16 y 17	3
I	19, 22, 26, 31 y 41	5

Estos 50 dominios permiten definir 9 regiones climáticas dentro del EVT. De las regiones encontradas sobresalen la Región E conformada por dos dominios climáticos y con condiciones propias de las cimas de los volcanes correspondientes a las zonas más frías del EVT; la región “G” está representada por un solo dominio y se ubica en el extremo oriente del EVT, dónde se registran los mayores valores de humedad y temperatura. Finalmente, la región “H” formada por tres dominios posee la menor área (Figura 31).

La ocupación territorial de los dominios dentro de las ANP’s se muestra en el cuadro 3, es importante notar que solo el dominio 10 tiene una mayor representación de su área ocupada (56%) dentro de las ANP’s, mientras que el resto de los dominios están menos representados, incluso los dominios 4 y 5 no se registran en ninguna de las ANP’s (cuadro 4).

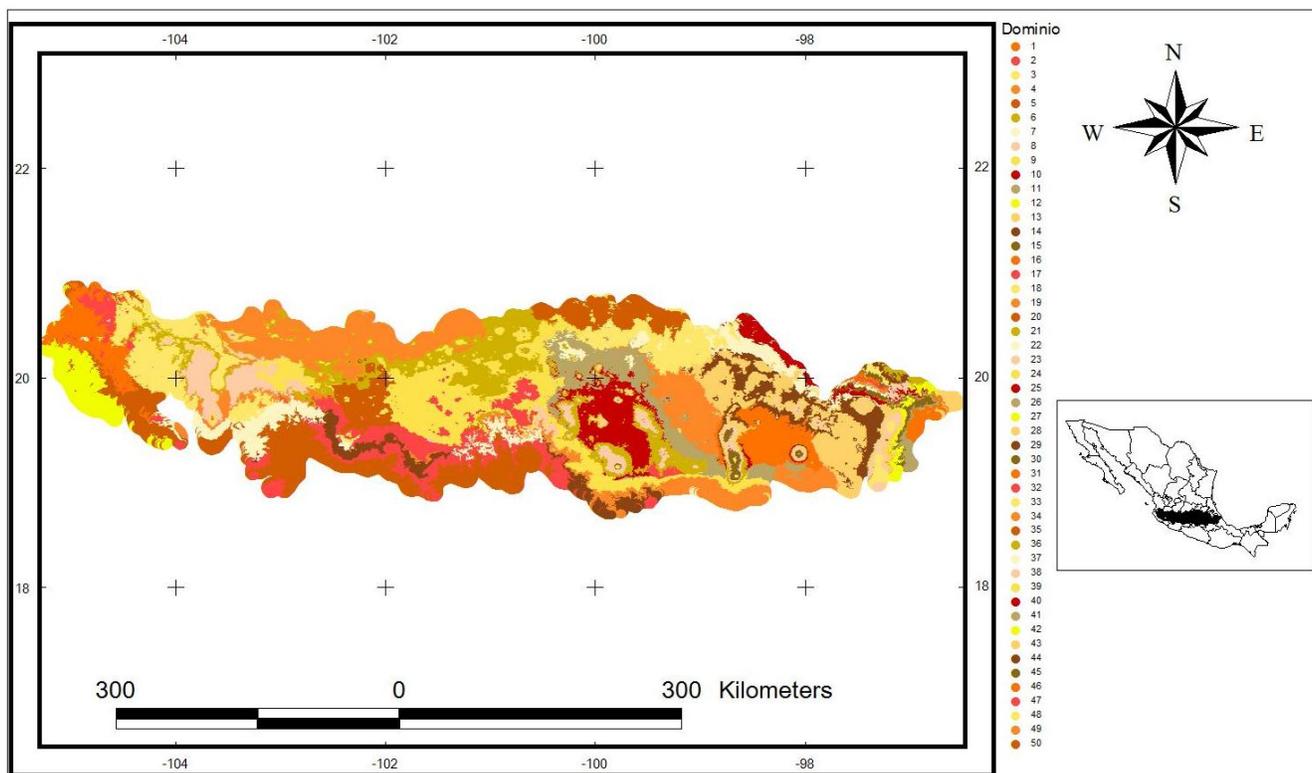


Figura 29. Muestra los 50 dominios climáticos obtenidos en el EVT

Cuadro 4. Área que ocupan los 10 dominios climáticos en las áreas naturales protegidas (ANP's) del EVT

CATEGORÍA	NOMBRE	Área (km ²) que ocupan los Dominios en las ANP's								Total
		1	2	3	6	7	8	9	10	
Reserva de la Biósfera	Barranca de Metztitlan			1	121	129	1	96		348
Parque Nacional	Barranca del Cupatitzio		4	1						5
Parque Nacional	Bosencheve				114		36			150
Parque Nacional	Cerro de Garnica				7		6			13
Parque Nacional	Cerro de la Estrella			1		14				15
Parque Nacional	Cerro de las Campanas					1				1
Área de Protección de Flora y Fauna	Cienegas del Lerma				39					39
Área de Protección de Flora y Fauna Silvestres	Cobio Chichinautzin		37	147	253		5			442
Parque Nacional	Cofre de Perote								141	141
Área de Protección de Los Recursos Naturales Zona Protectora Forestal	Cuenca alimentadora del distrito de riego 043 estado de Nayarit	190	1966	147						2303
Zona Protectora Forestal Vedada	Cuenca hidrográfica del río Necaxa				161		11			172

Cuadro 4. Continuación

CATEGORÍA	NOMBRE	Área (km ²) que ocupan los Dominios en las ANP's								Total
		1	2	3	6	7	8	9	10	
Área de Protección de los Recursos Naturales	Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	45	66	531	983		270		24	1919
Parque Nacional	Cumbres del Ajusco						2		5	7
Parque Nacional	Desierto de los Leones				10		7		1	18
Parque Nacional	Desierto del Carmen o de Nixcongo			6						6
Parque Nacional	El Chico					33				33
Parque Nacional	Cimatarío						29	8		37
Parque Nacional	Histórico Coyoacán			1						1
Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre	El Jabalí		61							61
Parque Nacional	El Tepeyac					4				4
Parque Nacional	El Tepozteco		99	78	90		1			268
Parque Nacional	Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla				5		18		1	24
Parque Nacional	Insurgente José María Morelos		19	59	8					86
Parque Nacional	Iztaccihuatl-Popocatepetl						95		405	500
Parque Nacional	Lagunas de Zempoala				49		8			57
Parque Nacional	Los Remedios			4	1	1				6
Parque Nacional	Malinche o Matlalucueyatl				43		198	231	91	563
Reserva de la Biósfera	Mariposa Monarca			11	334		306		33	684
Parque Nacional	Nevado de Colima		9	36	33		1			79
Parque Nacional	Nevado de Toluca				11		362		114	487
Parque Nacional	Pico de Orizaba						1		230	231
Parque Nacional	Pico de Tancítaro		205	65	19					289
Parque Nacional	Sacromonte							1		1
Reserva De La Biósfera	Sierra de Manantlán	795	283	37						1115
Zona de Protección Forestal y Faunística	Sierra de Quila		35	140						175
Parque Nacional	Tula					1				1
Parque Nacional	Xicoténcatl							12		12
	Total	1030	2784	1265	2281	183	1357	348	1045	10293
	% del área total del Dominio	5.08	6.56	4.34	11.23	1.28	13.70	1.74	56.43	

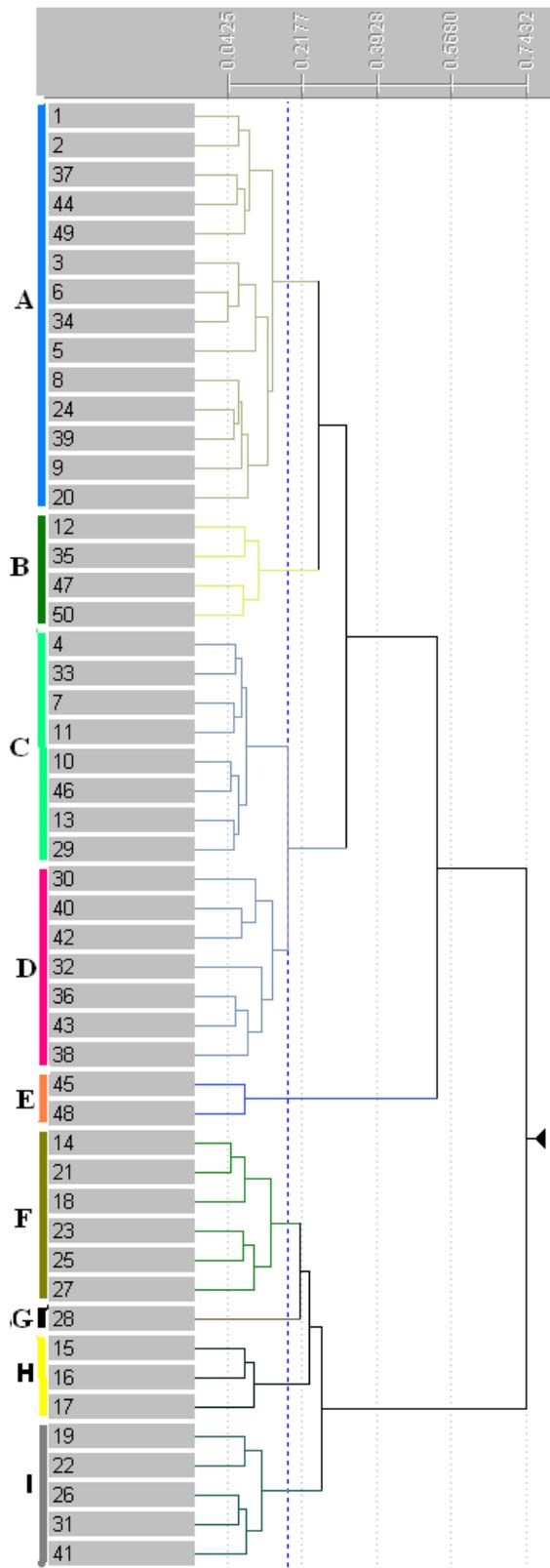


Figura 30. Áreas climáticas definidas en EVT a partir de los valores de similitud de los 50 dominios.

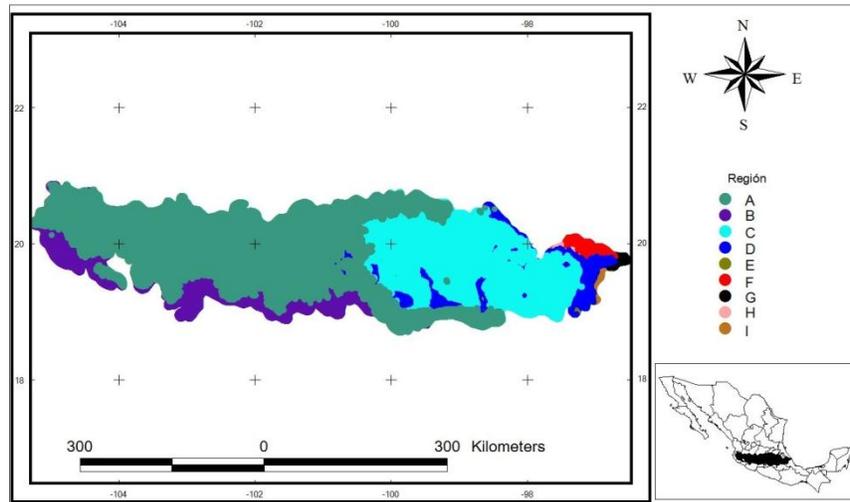


Figura 31. Regiones climáticas del EVT determinadas con la similitud de 50 dominios

Discusión

Las clasificaciones climáticas realizadas permiten establecer valores puntuales de las celdas generados a un 1 km^2 . Es decir, se pueden determinar los valores de los 19 parámetros a cada km^2 de distancia, mientras que en otras propuestas de análisis climáticos sólo se tienen intervalos de los valores en espacios geográficos más amplios (clases). Estos valores climáticos pueden evaluarse si se contrastan con las clasificaciones que previamente se han realizado con base en los tipos de clima de la clasificación de Köppen (García, 1998; Hernández y Carrasco, 2007) y otras clasificaciones que actualmente se han propuesto (Morgan *et al.*, 2007; Mackey *et al.*, 2008, Téllez *et al.*, 2011), entre las cuales existe una diferencia en términos de resolución de las celdas definidas con las coberturas de tipo raster.

La clasificación de dominios ambientales ha demostrado ser una herramienta útil para regionalizar cualquier área del planeta (Morgan *et al.*, 2007; Mackey *et al.*, 2008; Londoño *et al.*, 2010; Téllez *et al.*, 2011). Los patrones revelados por una clasificación climática han sido reconocidos por su utilidad para proponer una regionalización biofísica a partir de un conjunto de parámetros que permiten definir los dominios climáticos de un área (Hernández, 2007; Castellano de Rosas, 2007; Londoño *et al.*, 2010). En el caso particular del presente estudio, la clasificación de dominios climáticos ha reflejado patrones de cobertura geográfica a distintas escalas (dos, diez y cincuenta dominios) en el EVT, los cuales no habían sido detectados en regionalizaciones previas para esta provincia geomorfológica de México (Luna *et al.*, 2007). Como lo muestran los resultados, la variabilidad climática del EVT es notable y compleja. El ejercicio por el cual se reconocen 404 dominios como la

máxima variabilidad de climas que hay en el EVT, sirve de base para proponer distintas clasificaciones (regionalizaciones) a distintas escalas. Los ejemplos de las clasificaciones climáticas desarrollados a nivel de 10 y 50 dominios muestran también la heterogeneidad climática del EVT a esas escalas.

El reconocimiento de hasta 404 dominios dentro del EVT, obtenidos con la clasificación no jerárquica podría considerarse como el caso extremo para su posible regionalización climática. Sin embargo, esta cantidad de dominios es difícil de distinguirse con claridad debido a la limitante de colores y símbolos que pueden emplearse para su representación gráfica. Sin embargo, es posible reclasificarlos jerárquicamente para hacer un mejor análisis de la heterogeneidad climática del EVT. Por ello, se prefirió generar y analizar ejemplos de regionalización a niveles que pudieran estar reflejando unidades de clima basadas en la similitud que tienen los dominios obtenidos en la clasificación no jerárquica. De acuerdo con Morgan *et al.*, (2007) y Mackey *et al.*, (2008), es posible mostrar el potencial que tiene la generación de dominios ambientales como base para la regionalización de cualquier zona del país particularmente el EVT.

En este trabajo se hace una nueva propuesta de regionalización climática para el EVT, complementaria a otras propuestas previas (Hernández y Carrasco, 2007). Por ejemplo, la clasificación propuesta con 50 dominios puede contrastarse con la propuesta de Hernández y Castellano de Rosas (2007), quienes reportan 30 tipos de clima para el EVT definidos por intervalos generales de temperatura y precipitación promedio anual.

Entre las características más notorias de esta nueva propuesta se incluyen los dominios generados que evidencian los efectos que las cadenas montañosas tienen sobre el clima. Se hacen evidentes ciertos patrones altitudinales, como en el caso de las áreas correspondientes a las cimas de los volcanes más importantes del país (p.e. citlaltepétl, iztaccihuatl y popocatepetl) donde se registran las menores temperaturas del EVT. Por su parte, los patrones latitudinales, se reflejan en la posición de las dos grandes regiones del EVT, la septentrional y meridional (Ferrusquía, 1993). Incluso los patrones longitudinales que tradicionalmente no se refieren en estudios en los que el ambiente juega un papel preponderante, se hacen evidentes con la orientación que tienen las cadenas montañosas (efectos de sombra orográfica). Así mismo, la topografía del EVT que consta de montañas y mesetas, influye en la precipitación y la desviación de corrientes de viento que generan la gran diversidad ambiental y promueven o limitan la distribución de plantas y animales.

Las regionalizaciones generadas permiten definir, a distintos niveles, las diferentes zonas climáticas dentro del EVT, que de manera general reflejan las condiciones ambientales que resguardan la biodiversidad de esta zona del país. La regionalización propuesta a nivel de dos dominios podría ser

considerada como base, en los criterios ambientales para proponer una nueva delimitación del EVT en esta propuesta. Los límites geográficos de los dos dominios no coinciden con las de dos “Distritos” (uno oriental y otro occidental) propuestos por Escalante *et al.*, (2007) y Gamez (2012). Los límites propuestos por estos autores se encuentran aproximadamente entre -102° y -101° de longitud oeste, mientras que con los dominios obtenidos en este estudio se rebasan dichos límites. Ferrusquia-Villafranca (1997), divide el EVT en dos subprovincias una meridional y otra septentrional. Con ésta propuesta, la definición de dos dominios climáticos aquí planteada tiene una mejor coincidencia, aunque el polígono (meridional) que corresponde al área de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl queda incluido dentro del dominio dos (Figura 24). Ambas regionalizaciones morfotectónica y climática reconocen una región (meridional) extrema al oriente del EVT. Esto sugiere que esta provincia podría tener su límite en la parte occidental, en dónde se forma esta unidad geofísica (meridional) que tal vez corresponda con mayor afinidad a la provincia del Golfo de México.

La regionalización generada a nivel de cuatro regiones climáticas (Figura 27) tiene una gran coincidencia con las cuatro regiones faunísticas dentro del EVT propuesta por Moore (1945) y la de cinco distritos de Torres y Luna (2007). En el caso de la clasificación a nivel de 10 dominios muestra una alta coincidencia con las provincias avifaunísticas propuesta por Navarro-Sigüenza *et al.* (2007). En este caso, la regionalización propuesta de cuatro regiones climáticas tiene coincidencia con la propuesta de Escalante *et al.* (2007), quienes con base en un estudio de distribución potencial de mamíferos dividen al EVT en dos distritos, uno oriental y otro occidental.

La generación de información ambiental es un requisito útil, para cubrir el desconocimiento de la distribución geográfica de un importante número de grupos taxonómicos, considerados como parte de los principales componentes de la diversidad biológica del país y a partir de los cuales está basada la selección de áreas prioritarias de conservación (Mackey *et al.*, 2008). Esta carencia de información biológica ha dado la pauta para la selección de nuevos atributos, que se denominan sustitutos de la biodiversidad (surrogates o subrogados). Esto es, existe la necesidad de generar información que refleje de la mejor manera posible los atributos ambientales que determinan la distribución de las especies, para hacer análisis que permitan definir áreas prioritarias de biodiversidad y conservación. El EVT no es la excepción, en él hay la limitante de la carencia de conocimiento de la distribución geográfica de la mayoría de las especies que en este se distribuyen y que es la información fundamental para proponer regionalizaciones bióticas adecuadas. Sin embargo, el empleo de sustitutos ambientales como los 404 dominios climáticos definidos en este estudio ayudan a reconocer la heterogeneidad ambiental y biológica, lo cual puede coadyuvar a tener una regionalización actualizada del EVT.

La información climática generada en este proyecto parte de la premisa general “que la variación ambiental promueve la variación biológica” (Nix et al., 2000). El conocimiento detallado de la variación climática puede apoyar en el desarrollo de modelos que faciliten la selección de áreas con distintos atributos ambientales, asumiendo que estos podrían incluir distintos elementos biológicos adaptados a ellos y así proponer áreas de conservación (Mackey *et al.*, 2008). Algunos autores, como Mackey *et al.* (2008), han sugerido que los dominios climáticos son buenos sustitutos biológicos porque incluyen propiedades ecológicamente significativas. En este sentido la clasificación de los dominios climáticos representados en las Áreas Naturales Protegidas (ANP’s) que se encuentran dentro del EVT, podrían ser la base para evaluar el papel que éstas áreas desempeñan en la protección y conservación de la biodiversidad (Mackey *et al.*, 2008). Las aplicaciones que pueden tener los dominios climáticos como sustitutos de la biodiversidad, podría ser mediante su coincidencia que tienen con las ANP’s.

La comparación entre las ANP’s que se encuentran en el EVT y las regionalizaciones generadas a los niveles de 10 y 50 dominios, son una muestra que estas no solo excluyen de sus límites parte de la diversidad biológica del EVT, sino también representan una parte importante de la variación ambiental que mantiene y da continuidad a muchos de los procesos biológicos que en el EVT ocurren. Considerando que la variación ambiental promueve la variación biológica (Nix et al., 2000), el área de las ANP’s debería postularse como aquella donde se encuentren un mayor número de dominios climáticos, lo cual sugeriría que también se encuentra una alta riqueza biológica. Sin embargo, esto no ocurre en el EVT, pues la zona donde se encuentra una amplia variabilidad de climas y una alta tasa de la riqueza biológica es en el occidente lugar dónde no hay las suficientes ANP’s que puedan resguardar la biodiversidad en esta zona del EVT.

La correspondencia geográfica de los dominios con las ANP’s indica que éstos pueden ser usados adecuadamente como sustitutos de la biodiversidad que se encuentra en ellas. Trabajos futuros podrían evaluar estos resultados con atributos bióticos como los tipos de vegetación o con datos de distribución geográfica de especies endémicas, como los propuestos por Villaseñor *et al.* (2007). Sin embargo, los patrones de endemismo local representan casos difíciles de definir, ya que el conocimiento de la distribución de muchas de especies de este tipo es aún incompleto. Al respecto, Alcántara y Paniagua (2007) analizaron los patrones de distribución de 63 especies de plantas endémicas del EVT, encontrando la concordancia que hay entre estas especies endémicas con las ANP’s decretadas dentro del EVT, y con las cuales podría haber una coincidencia con los dominios climáticos, que pudieran explicar su presencia o ausencia dentro de las ANP’s.

De cualquier manera las ANP's no deberían ser la única estrategia en la planeación de conservación, es difícil tener reservas tan amplias como bien distribuidas, debido a diversas razones que tienen que ver con el crecimiento poblacional humano y de zonas urbanas que generan altas presiones negativas sobre los recursos naturales (Palma *et al.*, 1999), así como la contraposición que existe con el uso de los recursos naturales para el desarrollo de cualquier país. Sumado a lo anterior, la carencia de información sobre aspectos socioeconómicos, la cual es poco accesible y no actualizada, trae como consecuencia la imposibilidad de elaborar planes de conservación y manejo prácticamente a cualquier nivel y menos con la visión temporal de la escala de vida de los ecosistemas que se desean conservar (Velázquez *et al.*, 1999).

Literatura Citada

Arriaga, L., C. Aguilar, D. Espinosa-Organista y R. Jiménez. 1997. Regionalización ecológica y biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), México, D.F.

Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Belbin. 2004. PATN Versión 3.03. Blatant Fabrications PTY Ltd. Australia.

Benítez, H., C. Arizmendi y L. Márquez. 1999. Base de Datos de las AICAS. CIPAMEX, CONABIO, FMCN y CCA. México. (<http://www.conabio.gob.mx>).

Canziani, O.F. y S. Diaz. 1998. Latin America. Pages 187–230 in R.T. Watson, M. C. Zinyowera, R.H. Moss, and D.J. Dokken, editors. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change working group II. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Carpenter, G., A.N. Gillison y J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* 2: 667-680.

Casas-Andreu, G. y T. Reyna-Trujillo. 1990. "Provincias herpetofaunísticas" en Herpetofauna (Anfibios y reptiles). IV.8.6. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, UNAM. México

Castellano de Rosas, E. 2007. Reconocimiento Espacial de los Paisajes. En: Luna, I., J.J. Monrroe y D. Espinoza (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana, UNAM, México. pp. 39-55.

Chávez, J.M. y N. Trigo (coords.) 1996. Programa de Manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, D.F. 273 p.

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), 1997. "Provincias biogeográficas de México". Escala 1:4 000 000. México.
- Contreras-Medina, R. y H. Eliosa-León. 2001. Una visión panbiogeográfica preliminar de México. En: J. Llorente-Bousquets y J. J. Morrone (eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: conceptos, teorías, métodos y aplicaciones,. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F. 197-211.
- Dávila, M., O. Jiménez, R. Castro, A. Arévalo, J. Stanley y L. Meras-Cabrera. 2010. A preliminary selection of regions in Mexico with potential for geological carbon storage. *International Journal of Physical Sciences* 5(5): 408-414
- Delgadillo, C., J.L. Villaseñor y P. Dávila. 2003. Endemism in the Mexican Flora: A comparative Study in Three Plants Groups. *Annals Missouri Botanical Garden*. 90: 25-34.
- Demant, A. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación: *Revista del Instituto de Geología* 2: 172-187.
- Egbert, S. L., A. T. Peterson, V. Sánchez-Cordero y K. Price. 1999. Modeling conservation priorities in Veracruz, Mexico. In: (S. Morain, ed.) *GIS Solutions in Natural Resource Management*. On Word Press, Santa Fe, New México. pp. 141-150
- Ehrlich, P.R. y E.O. Wilson 1991. Biodiversity studies: science and policy. *Science* 253: 758–762.
- Escalante T., G. Rodríguez y J.J. Morrone. 2005. Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76 (2): 199-205.
- ESRI (Environmental Scientific Research Institute) 2000. ArcView 3.2. ESRI. Redlans. California. U.S.A.
- Ferrari, L. 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década: *Boletín Sociedad Geológica Mexicana* 53: 84–92.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1990. "Provincias Bióticas (con énfasis en criterios morfotectónicos)" en *Regionalización Biogeográfica*, IV.8.10. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1. 4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1993. La geología de México: una sinopsis. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. pp. 1–107.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 2007. Ensayo sobre la caracterización y la significación biológica. En *Biodiversidad de la Franja Volcánica Transmexicana*, Luna, I., J.J. Monroe y D. Espinosa (eds.) UNAM, México. 7-23 p.
- García, E. – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. "Climas" (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.

- Giorgi, F., G.A. Meehl, A. Kattenberg, H. Grassl, J.F.B. Mitchell, R.J. Stouffer, T. Tokioka, A.J. Weaver and T.M.L. Wigley. 1998. Simulated changes in vegetation distribution under global warming. in R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss and D.J. Dokken, editors. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change working group II. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 427–437.
- Gómez-Tuena, A., M.T. Orozco-Esquivel y L. Ferrari. 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la Sociedad Geológica de México. 2(3): 227-285.
- Hernández C.M. y E.G. Carrasco. 2007. Rasgos Climáticos más Importantes. En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana, UNAM, México. pp. 57-72.
- Houghton, J.T., B.A. Callander y S.K. Varney (eds.) 1992. *Climate Change. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- 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.
- Jenness, J. y J.J. Wynne. 2006. Kappa analysis (kappa_stets.avx) extension for ArcView 3.x.
- Jenness E.K. 2004. Multivariate Statistical Package (MVSP) 3.1. Kovach Computing Services.
- Justus J., T. Fuller y S. Sarkar. Influence of Representation Targets on the Total Area of Conservation-Area Networks. *Conservation Biology* 22 (3): 673-682.
- Karl, T.A. 1998. Regional trends and variation of temperature and precipitation. In: R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss, and D.J. Dokken, editors. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change working group II. Cambridge University Press. pp. 411–425.
- Kerr J.T. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conservation Biology*. 11: 1094-1100.
- Lindenmayer, D.B., H.A. Nix, J.P. McMahon, M.F. Hutchinson y M.T. Tanton. 1991. The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* 18: 371-383.
- Lozano-García, M.S. y M.S. Xelhuantzi-López. 1997. Some problems in the late Quaternary pollen records of central México: Basins of Mexico and Zacapu. *Quaternary International*. 43(44): 117-123
- Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinoza. 2007. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- Mackey B.G., S.L. Berry y T. Brown. 2008. Reconciling approaches to biogeographical regionalization: a systematic and generic framework examined with a case study of the Australian continent. *Journal of Biogeography*. 35: 213-229.

Morafka, D.J., Adest, G.A., Reyes, L.M., Aguirre, G. y S. Lieberman. 1992. Differentiaton of North American Deserts: A Phylogenetic Evaluation of a Vicariant Model. In: S.P. Darwin A.L. Welden (ed.) *Biogeography of Mesoamerica*. Tulane University, New Orleans. pp. 195-226.

Morrone J.J. 1994. On the Identification of areas of endemism. *Systematic Biology*. 43: 438-441.

Morrone, J. J. 2001. Toward a cladistic model for the Caribbean subregion: Delimitation of areas of endemism. *Caldasia* 23: 43-76.

Morrone, J.J. y J. Márquez. 2003. Aproximación a un Atlas Biogeográfico Mexicano: componentes bióticos principales y provincias biogeográficas. En: J.J. Morrone, y J. Llorente-Bousquets (eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F. pp. 217-220.

Morrone, J.J. 2004. La Zona de Transición Sudamericana: Caracterización y relevancia evolutiva. *Acta Entomológica Chilena* 28: 41-50.

Morrone, J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76 (2): 207-252.

Morrone, J.J. 2006. Biogeographic Areas and Transition Zones of Latin America and the Caribbean Islands Based on Panbiogeographic and Cladistic Analyses of the Entomofauna. *Annual Review Entomology*. 51: 467-494.

Neilson, R.P. 1998. Simulation of regional climate change with global coupled climate models and regional modelling techniques. In: R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss and D. Dokken (editors). *The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability*. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change working group II. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 439-456.

Nix, H.A. 1986. A biogeographic análisis of the Australian elapid snakes. *Atlas of elapid snakes* (ed. by R. Longmore). *Australian Flora and Fauna Series* 7: 4-15

Ochoa, T.V. 2001. *Geomorfología, Clima y Vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán Pue.-Oax. México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 85 p.

Peterson, T., S.L. Egbert, V. Sánchez-Cordero y K.V. Price. 2000. Geographic analysis of conservation priorities for biodiversity: a case study of endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93:85-94.

Prendergast J.R., R.M. Quinn, J.A. Lawton, B.C. Eversham and D. Gibbons 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature* 365: 335-337.

Ramírez-Pulido, J y A. Castro-Campillo 1990. "Regiones y Provincias Mastogeográficas". Extraído de *Regionalización Mastofaunística, IV.8.8. Atlas Nacional de México*. Vol. III. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

- Robinson G. J. 2006. Conservation Biology and Real-World. *Conservation Biology* 20(3): 658-669.
- Rojas-Soto, O.R., O. Alcántara-Ayala y A.G. Navarro. 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional modeling approach. *Journal of Biogeography*. 30: 449-461.
- Rosen, B.R. 1988. From fossil to earth history: applied historical biogeography. En: A.A. Myers y P.S. Giller (Eds.) *Analytical Biogeography*. Chapman and Hall. New York. pp. 437-481.
- Rzedowski, J. 1973. Geographical Relationships of the Flora of Mexican Dry Regions. En Alan Graham (Ed.) *Vegetation and Vegetational History of Northern Latin America*. Elsevier Scientific Company. Ámsterdam. pp. 61-73.
- Rzedowski, J. y T. Reyna-Trujillo 1990. Divisiones florísticas en: Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas). IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México. 432 p.
- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- Rzedowski, J. 1991b. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana*. 15: 47-64.
- Sánchez-Cordero, V., V. Cirelli, M. Murguía y S. Sarkar. 2005. Place prioritization for biodiversity representation using species' ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics*. 2:11-23.
- Sarkar, S. y C.R. Margules. 2002. Operationalizing biodiversity for conservation planning. *Journal of Biosciences* 27 (S2): 299-308.
- Suárez-Mota, M.E. 2006. Afinidades Geográficas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán analizando las Asteraceae Mexicanas. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 35 p.
- Téllez-Valdés, O. y P. Dávila-Aranda A. 2003. Protected Areas and Climate Change: A case study of the cacti of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology* 17(3): 846-853.
- Téllez, V.O., Y.M. Chávez H., A. Gómez-Tagle Ch. y M.V. Gutiérrez G. 2004. Modelaje bioclimático, una herramienta para desarrollar estrategias de manejo forestal: estudio de caso en cuatro especies mexicanas de *Pinus* (Pinaceae). *Ciencia Forestal* 29 (95): 61-82.
- Téllez-Valdés, O., P. Dávila-Aranda A. y R. Lira-Saade. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandifolia* var. mexicana, an important species of the Cloud Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1095-1107.
- Villaseñor, J.L. y O. Téllez V. 2004. Distribución geográfica potencial de las especies del género *Jefea* Strother en México. *Anales del Instituto de Biología UNAM* 75(2): 205-220.

Villaseñor, J.L. 2004. Los Géneros de las Plantas Vasculares de la Flora de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 75: 105-135.

Villaseñor, J.L., G. Ibarra-Manríquez, J.A. Meave, y E. Ortiz. 2005. Higher Taxas Surrogates of Plant Biodiversity in a Megadiverse Country. Conservation Biology 19(1): 232-238.

Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss y D.J. Dokken, editors. 1996. Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Williams, P.H, C.J. Humphries y R.I. Vane-Wright 1991. Measuring biodiversity: taxonomic relatedness for conservation priorities. Australian Systematic Botany 4: 665-667.

Yarza-De la Torre, E. 1992. Volcanes de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, México. 173 p.

Apéndice 1. Valores de los 19 parámetros bioclimáticos para los 10 dominios reconocidos en el EVT. Se muestran los valores mínimos y máximos entre paréntesis el valor promedio y su desviación estándar.

DOMINIOS										
	1		2		3		4		5	
1	20.2-28	(24.4 ±2.59)	17.7-23.8	(19.76 ±2.05)	14.7-19.5	(16.92 ±1.59)	12.8-24.3	(17.47 ±3.84)	17.7-24.3	(21.76 ±2.3)
2	9.5-18.4	(15.02 ±2.93)	11.2-19.5	(15.94 ±2.69)	11.7-20.9	(15.64 ±2.97)	8-12.3	(9.98 ±1.43)	9.3-11.3	(10.28 ±0.67)
3	0.57-0.72	(0.65 ±0.05)	0.59-0.76	(0.64 ±0.06)	0.56-0.74	(0.65 ±0.06)	0.54-0.68	(0.59 ±0.05)	0.52-0.57	(0.55 ±0.02)
4	0.42-0.87	(0.61 ±0.15)	0.42-0.95	(0.77 ±0.18)	0.46-0.88	(0.7 ±0.14)	0.54-0.9	(0.7 ±0.12)	0.81-1.1	(0.98 ±0.1)
5	30.4-41.2	(36.04 ±3.53)	28.6-36.9	(32.1 ±2.71)	26-32.6	(28.91 ±2.17)	21.2-32	(25.82 ±3.58)	26.3-34.1	(30.75 ±2.7)
6	8.4-17.2	(12.97 ±2.92)	4.3-12.4	(7.07 ±2.73)	1.8-10	(4.77 ±2.72)	4.7-15.5	(8.9 ±3.64)	8-14.2	(12 ±2.16)
7	16.4-27.4	(23.07 ±3.65)	18.2-28.9	(25.03 ±3.6)	18.7-29.4	(24.14 ±3.46)	14.2-19.7	(16.92 ±1.81)	16.7-20.2	(18.75 ±1.2)
8	20.1-28.2	(25.16 ±2.75)	19-25.7	(21.36 ±2.24)	16-20.5	(18.23 ±1.5)	13.5-26.4	(18.76 ±4.33)	19.2-26.9	(23.83 ±2.6)
9	19.5-29.3	(24.67 ±3.23)	16.5-24	(19.31 ±2.5)	12.6-19.1	(16.09 ±2.12)	11.9-23.9	(15.65 ±4.07)	14.4-24.2	(19.68 ±3.28)
10	22.4-31.1	(26.67 ±2.86)	20.3-26.4	(22.35 ±2.04)	17-21.7	(19.29 ±1.57)	14.8-26.8	(19.69 ±4)	20.2-27.6	(24.67 ±2.57)
11	18.2-25.8	(22.02 ±2.54)	14.3-20.4	(16.62 ±2.04)	11.8-17.5	(14.08 ±1.88)	10.4-20.7	(14.58 ±3.45)	14.2-19.7	(17.67 ±1.91)
12	662-1874	(1106.61 ±406.83)	647-1529	(918.13 ±304.05)	676-1439	(960.25 ±257.69)	1021-2587	(1634.87 ±509.49)	1220-3664	(2236.52 ±807.16)
13	37-119	(66.87 ±27.56)	35-86	(55.45 ±16.98)	38-82	(55.59 ±14.74)	48-133	(80.96 ±27.8)	50-165	(99.85 ±38.02)
14	0-0	(0 ±0)	0-0	(0 ±0)	0-0	(0 ±0)	0-16	(6.37 ±6.39)	10-27	(18.67 ±5.61)
15	69-121	(111.32 ±18.67)	90-117	(106.38 ±8.94)	80-113	(102.49 ±11.02)	53-82	(68.39 ±9.39)	44-70	(54.75 ±8.8)
16	422-1311	(732.34 ±300.54)	392-956	(589.42 ±189.75)	418-906	(600.82 ±164.85)	493-1228	(756.83 ±243.04)	508-1717	(961.23 ±407.51)
17	0-103	(0.15 ±42.04)	0-34	(3.23 ±13.68)	0-79	(21.52 ±29)	87-216	(154.7 ±41.67)	151-367	(263.18 ±70.36)
18	133-953	(326.11 ±301.58)	147-848	(315.92 ±248.57)	158-792	(285.97 ±224.74)	287-678	(452.45 ±129.18)	333-1224	(644.16 ±301.81)
19	11-119	(38.26 ±37.86)	18-77	(42.75 ±20.08)	20-88	(41.04 ±22.87)	103-252	(174.19 ±48.85)	176-397	(302.64 ±72.95)

DOMINIOS										
	6		7		8		9		10	
1	10.6-16.5	(14.03 ±1.93)	14.9-20.8	(16.67 ±2.05)	9.4-14.5	12.04 ±1.67)	12.3-16.1	(14.3 ±1.26)	-0.8-10.7	(7.62 ±4.05)
2	10-17.5	(14.67 ±2.47)	13.4-18.3	(16.38 ±1.61)	9.6-15.6	12.38 ±1.97)	12.6-18.8	(16.11 ±2.05)	5.7-11.9	(9.17 ±2.07)
3	0.55-0.73	(0.66 ±0.06)	0.6-0.71	(0.65 ±0.04)	0.59-0.73	0.67 ±0.05)	0.62-0.75	(0.69 ±0.04)	0.62-0.79	(0.69 ±0.06)
4	0.48-0.88	(0.63 ±0.13)	0.64-0.93	(0.79 ±0.1)	0.39-0.67	0.52 ±0.09)	0.49-0.76	(0.62 ±0.09)	0.15-0.55	(0.34 ±0.13)
5	20.3-27.6	(24.78 ±2.42)	26.2-33.6	(28.67 ±2.56)	17.1-24.8	21.26 ±2.53)	22.1-28	(25.38 ±1.96)	3.1-18.7	(14.32 ±5.52)
6	-0.4-6.6	(2.67 ±2.3)	1-6.5	(3.6 ±1.78)	-0.5-5.3	2.69 ±1.87)	-0.1-4.9	(2.08 ±1.62)	-4.2-3.3	(0.98 ±2.55)
7	17.6-24.9	(22.11 ±2.42)	21.5-27.6	(25.08 ±2.02)	14.5-22	18.57 ±2.46)	19.5-26.6	(23.3 ±2.34)	7.3-16.9	(13.34 ±3.3)
8	12-17.5	(15.16 ±1.81)	16.2-22.9	(18.36 ±2.32)	9.7-15.2	12.71 ±1.8)	13-17.6	(15.52 ±1.53)	-1-11.2	(7.88 ±4.3)
9	9.7-16.1	(12.29 ±2.11)	12.1-17.7	(13.84 ±1.94)	7.6-12.8	10.4 ±1.69)	10.2-13.5	(11.86 ±1.1)	-1.1-9.3	(6.49 ±3.64)
10	12.4-18.5	(16.11 ±2.02)	17.3-23.7	(19.22 ±2.25)	11-16.8	13.88 ±1.89)	14-18.2	(16.34 ±1.4)	-0.2-12.2	(8.87 ±4.39)
11	8.1-14.5	(11.48 ±2.07)	12-17.1	(13.47 ±1.76)	7.5-12	10.03 ±1.47)	10.2-13.4	(11.78 ±1.06)	-1.1-9.1	(6.34 ±3.57)
12	684-1559	(983.58 ±298.72)	338-900	(581.69 ±184.01)	480-1667	884.88 ±396.58)	357-987	(654.37 ±207.31)	901-1999	(1175.85 ±395.11)
13	36-89	(53.99 ±18.01)	15-50	(29.41 ±11.59)	24-88	44.12 ±21.67)	18-51	(31.43 ±11.12)	41-97	(57.35 ±19.48)
14	0-0	(0 ±0)	0-0	(0 ±0)	0-0	0 ±0)	0-0	(0 ±0)	0-0	(0 ±0)
15	69-106	(93.98 ±12.55)	71-104	(85.28 ±11.17)	69-101	83.52 ±10.73)	71-100	(81.96 ±9.9)	78-96	(86.46 ±6.25)
16	345-948	(579.78 ±200.96)	155-473	(318.17 ±106.34)	221-937	475.66 ±239.11)	167-537	(339.71 ±124.34)	478-1062	(646.45 ±204.61)
17	0-135	(40.16 ±45.18)	0-55	(20.21 ±20.55)	0-144	46.42 ±48.08)	0-55	(17.9 ±20.83)	0-134	(52.52 ±46.1)
18	164-811	(298.13 ±228.52)	140-822	(209.12 ±258.11)	161-493	251.15 ±115.68)	158-805	(235.52 ±242.72)	190-418	(300.46 ±74.83)
19	20-148	(45.26 ±45.65)	17-60	(27.68 ±14.73)	24-154	49.75 ±47.08)	14-65	(27.33 ±17.59)	22-143	(58.15 ±44.23)

Capítulo II

Regionalización Florística de la provincia Eje Volcánico Transversal de México

Introducción

La biodiversidad no se distribuye de manera homogénea a lo largo del planeta. Existen países o regiones que concentran importantes cifras de especies, actualmente identificados como megadiversos (Mittermeier, 1988; Akeroyd y Synge, 1992). Estas zonas de megadiversidad han sido propuestas como de interés especial para su protección por la alta riqueza de especies que albergan, una de ellas es México, que está considerado entre los países con alta diversidad biológica (Rzedowski, 1978; Mittermeier, 1988). Además, el país, posee en su territorio un universo vegetal de excepcional diversificación, en donde resalta la combinación de elementos boreales y meridionales (Rzedowski, 1991a).

El territorio mexicano ha funcionado desde el Terciario Medio como centro de evolución de linajes expresado por la variedad de ambientes, antigüedad del establecimiento de su flora y diversidad climática, fisiográfica, geológica y edáfica, lo que ha producido un notable enriquecimiento de la diversidad alfa y beta (Rzedowski 1991).

Con esta base, Rzedowski (1973, 1978), Morafka (1992), Arriaga *et al.*, (1997), Contreras-Medina y Eliosa-León (2001) y Morrone (2001, 2005, 2006) han propuesto la regionalización del país en diferentes provincias y subprovincias de acuerdo con un determinado conocimiento florístico y faunístico, pero sobre todo analizado desde distintas perspectivas metodológicas, como la panbiogeografía, la fenética, la cladística y el análisis de parsimonia de endemismos.

Sin embargo, el conocimiento sobre los patrones de distribución geográfica de numerosas especies que se acumulan continuamente, permitirá realizar diferentes análisis de los límites geográficos y las relaciones florísticas de distintas áreas, lo cual coadyuvará a proponer una regionalización de México más actualizada. Aunque la definición y delimitación precisa de estas regionalizaciones siempre será motivo de discusión, debido a la naturaleza variable de los criterios en la actualización del conocimiento biológico y ambiental, que están sujetos a continuos cambios (Ochoa, 2001).

Morrone y Márquez (2003) definen el "Componente Mexicano de Montaña", ubicado sobre los principales sistemas montañosos del país compuesto por cinco provincias biogeográficas: (1) Sierra Madre Occidental, (2) Sierra Madre Oriental, (3) Eje Volcánico Transmexicano, (4) Depresión del Balsas y (5) Sierra Madre del Sur. El Componente Mexicano de Montaña es equivalente a la Zona de Transición Mexicana, área que exhibe una alta diversidad, como resultado de importantes procesos de especiación que se llevaron a cabo cuando se sobrelaparon las regiones Neártica y Neotropical. Dentro de este componente destaca el Eje Volcánico Transversal considerado como la zona de transición entre estas regiones (Vivó, 1943; Darlington, 1957).

La región del Eje Volcánico Transversal (EVT), ha sido estrechamente relacionada con otras regiones como la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Delgadillo et al., 2003; Escalante et al., 2005; Suárez-Mota, 2006; Villaseñor, 2004; Morrone, 2005). Sin embargo, existen pocos trabajos que consideren los patrones de distribución geográfica de la flora y fauna en detalle y que permitan delimitar de forma precisa la región biogeográfica del EVT.

El EVT presenta una riqueza excepcional de algunos grupos de plantas; por ejemplo, está documentado que existen más especies del género *Sedum* en esta provincia que en cualquier otra parte de América del Norte (Clausen, 1959). Otro ejemplo, lo representa el género *Quercus*, del que se han reportado 75 de sus especies dentro de los estados que conforman el EVT, cifra que corresponde al 46% del total de las especies reportadas para México (Valencia, 2004). Un tercer ejemplo es el género *Pinus*, que es uno de los grupos que tienen en México uno de sus centros de diversificación (Rzedowski, 1993). En el EVT se tienen registradas 21 (50%) de las 42 especies de este género que se distribuyen en México (Farjon y Styles, 1997). El EVT no solamente resalta por su alta riqueza de especies de plantas, sino que también presenta un alto número de especies endémicas (Fa y Morales, 1991, Villaseñor *et al.*, 2007).

Actualmente enfrentamos la pérdida irremediable de la biodiversidad (Ehrlich, 1981). Entre las principales causas de esta pérdida está la transformación de los ecosistemas, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales y los ya reconocidos efectos del cambio climático (IPCC, 1998; Téllez-Valdés & Dávila-Aranda, 2003; Téllez-Valdés et al., 2006, 2007). Por tal situación el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas pretende incorporar áreas que permitan una representatividad equitativa de las provincias biogeográficas del país, considerando el hábitat de especies endémicas y aquellas en riesgo.

Aunque las grandes redes de reservas serán los componentes integrales de la conservación exitosa de la biodiversidad, la implementación de tales sistemas está limitada por la confusión sobre la importancia relativa del endemismo y la riqueza de especies. Existe evidencia que las regiones con alta riqueza de especies para un taxón (Prendergast et al., 1993), tienden a ser diferentes de aquellas con una alta tasa de endemismo (Kerr, 1997). Por tanto, puede ser que la controversia sobre la importancia relativa del endemismo y de la riqueza de especies no sea necesaria si los esfuerzos de conservación estuvieran orientados a una sola especie (Kerr, 1997).

Una pregunta importante en biología de la conservación es el grado en que el número de categorías taxonómicas supraespecíficas puede servir como indicador indirecto de la riqueza de especies. Este tema ha sido poco explorado en áreas de alta diversidad. En este sentido el método de

indicadores indirectos puede ser una herramienta valiosa para localizar y diseñar sistemas representativos de áreas protegidas para conservar la diversidad de plantas vasculares, especialmente en países megadiversos, donde los esfuerzos de conservación son obstaculizados por la carencia de inventarios completos y la insuficiencia de recursos. Es aquí en donde es importante hacer un mayor esfuerzo para reconocer las zonas de alta concentración biológica y aquellas otras con altas tasas de endemismo para así proponer planes adecuados de conservación (Villaseñor et al., 2005).

Con base en lo anterior, se propone el estudio de la flora para definir una regionalización florística dentro del EVT que permita reconocer áreas prioritarias de biodiversidad, considerando la concentración de la riqueza de especies en unidades geográficas operativas. Además, se determinarán las áreas de concentración de endemismos para hacer una evaluación del papel que las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) y las Regiones Terrestres Prioritarias (RTPs) desempeñan en la conservación de la biodiversidad del EVT.

Método

Para la regionalización del EVT se recopilaron datos existentes sobre la flora presente en el EVT. Los criterios de selección de las especies vegetales fueron: (1) pertenecer a familias de plantas que se distribuyen en los tipos de vegetación que se registran en el EVT, (2) estar registradas en colecciones biológicas y/o bases de datos disponibles y (3) que sus localidades de colecta estén georreferenciadas. Con estos criterios fueron seleccionadas especies documentadas en las bases de datos incluidas en la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB), disponible en la página web de la Comisión Nacional sobre Uso de la Biodiversidad (Conabio). Con los límites del polígono de la provincia morfotectónica del EVT (Ferrusquia-Villafranca, 1990; figura 1) y con los datos de las especies (nombre científico y georreferencias), se estructuró una base de datos, la cual se organizó utilizando el programa Microsoft Access 2007.

Los datos obtenidos de la REMIB fueron revisados y corregidos en su caso. Se corrigieron los nombres de las especies y se compararon con la información contenida en catálogos y fichas taxonómicas que se han producido en diversos herbarios, tanto nacionales como del extranjero publicadas en páginas electrónicas, por ejemplo Trópicos (<http://www.tropicos.org>), IPNI (<http://www.ipni.org/index.html>) o ITIS (<http://www.itis.gov/servlet/>). También se revisaron datos incluidos en otras fuentes, como en el catálogo florístico del bosque húmedo de montaña en México (Villaseñor, 2010). De esta manera se redujeron los problemas de sinonimia y se corrigió la ortografía de los nombres. Por otra parte, se hizo una evaluación geográfica, que consistió en el mapeo de los registros utilizando el sistema de información geográfica (SIG) ArcView 3.2 (ESRI, 2000); para

corroborar que los registros coincidieran con los estados y localidades donde han sido registrados. De esta manera se pudo verificar que los patrones de distribución de las especies estuvieran dentro del polígono del EVT.

La descripción de la flora se hizo con base en dos tipos de análisis de los datos. El primero denominado “Regiones Florísticas”, fue empleado para determinar áreas con composición florística similar y el segundo “Elementos Florísticos”, que se utilizó para determinar grupos de especies con distribución geográfica similar (Birks, 1976). Los análisis multivariados ayudaron a determinar tales Regiones Florísticas y a reconocer los Elementos Florísticos que las componen (Birks, 1976). Para realizar los análisis, el EVT se dividió en unidades más pequeñas, conocidas como Unidades Geográficas Operativas (UGOs). (OGUs, por sus siglas en inglés *sensu* Crovello, 1981)

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), sugiere el análisis de los patrones de distribución de las especies, mediante el uso de cuadros o celdas en que se divide la región de estudio (UICN, 2001). Por lo tanto, siguiendo la propuesta de la UICN, el tamaño de la cuadrícula en que se dividió el EVT fue determinado calculando la distancia de los sitios extremos conocidos para cada especie, es decir, las distancias mayores que hay entre los registros de las especies (cada una de ellas) se promedian y del resultado obtenido se toma la cifra correspondiente al 10% con esto, se obtuvo un valor que fue utilizado para determinar el tamaño de celda (Suárez-Mota y Villaseñor, 2011). De esta manera, el EVT fue dividido en celdas de 30' de latitud y longitud, pues la distancia promedio de todas las especies analizadas fue de 489.9 km y el 10% de este valor corresponde aproximadamente con una celda de 50 km de latitud y longitud; este valor es muy cercano a una celda de 30' de latitud y longitud (ca. 48 km por lado). Utilizando este tamaño de cuadro, el EVT fue dividido en 78 UGOs (Figura 1). Este tamaño de cuadro es el que mejor resuelve el conflicto entre la información disponible y el número de unidades geográficas operativas que pueden postularse para una determinada región. Además, este tamaño de cuadro permite comparar los resultados con trabajos similares que analizan otros grupos biológicos del EVT (Villaseñor et al., 2006, 2007; Escalante et al., 2007; Navarro-Sigüenza, 2007).

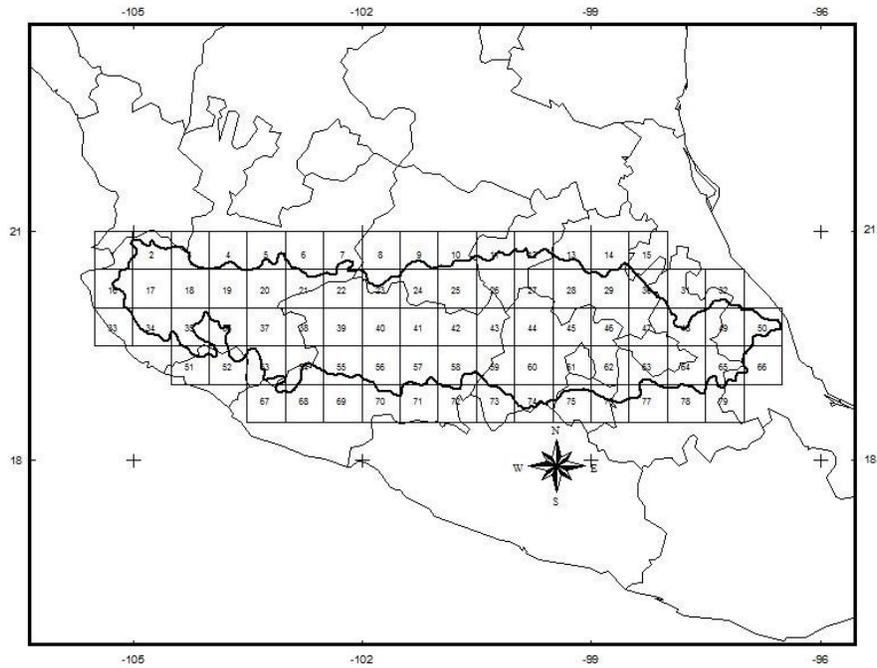


Figura 1. Polígono del Eje Volcánico Transversal de México, (CONABIO, 1997).

Las UGOs que incluyeron menos del 50% de la superficie de un cuadro completo, fueron unidas con celdas vecinas. Esta fusión se hizo considerando principalmente la distribución de las especies al analizarlas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta fusión de celdas resultó en un rearrreglo que dio como resultado 48 UGOs (Figura 2), pues numerosas celdas de los extremos norte y sur fueron unidas con sus vecinas siguiendo una orientación latitudinal. Con ello se trató de disminuir la fuerte discrepancia en los valores de riqueza propiciada por la desigual cantidad de registros de especies en cada una de las UGOs. Con estas 48 unidades y utilizando el SIG se calculó la riqueza de especies en cada una; los valores obtenidos se ordenaron en cuartiles, y aquellas UGOs cuyo valor de riqueza fue menor al del primer cuartil se eliminaron del análisis por ser poco informativas. También se discriminaron las especies registradas en una sola UGO

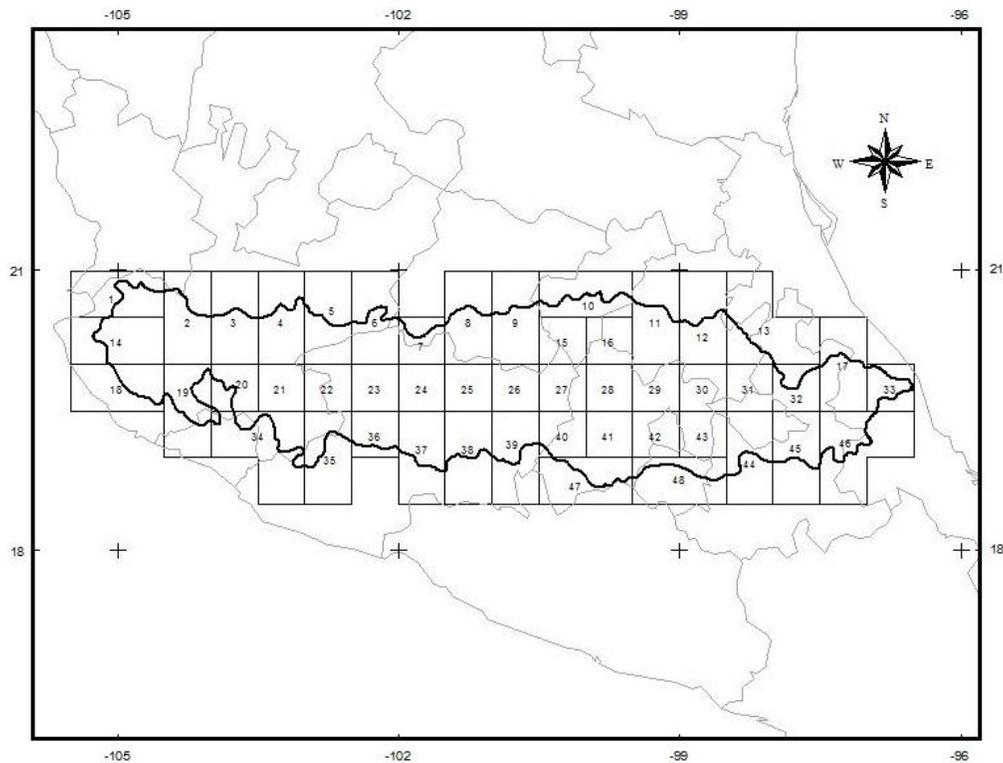


Figura 2. Mapa del EVT modificado al unir UGOs con superficie menor del 50% con su cuadro vecino.

Una vez definido el tamaño de la retícula y la composición de las especies, se estructuró una matriz de presencia–ausencia (datos binarios) con las especies registradas en cada celda. Por medio del SIG, se sobrepuso un mapa de los registros de las especies sobre el del polígono del EVT dividido en celdas. Las especies se ordenaron como renglones y las UGOs como columnas.

Con la matriz de datos estructurada, se realizó un análisis multivariado empleando el coeficiente de similitud de Sorensen implementado en el software NTSyS 2.0 (Rholff, 2002). El agrupamiento de las UGOs por sus similitudes florísticas se realizó utilizando el método de agrupamiento por enlace completo. Con esta clasificación se determinaron las unidades florísticas. Para identificar los elementos florísticos, se utilizó el mapa de las unidades florísticas (Grupos de UGOs formados en el primer análisis), y se sobrepuso en el de los registros de las especies, utilizando nuevamente el SIG.

Para evaluar la distribución de las especies se hizo un análisis de su distribución en los tipos de vegetación que se encuentran en el EVT. Estos tipos de vegetación se delimitaron geográficamente con el mapa de la serie III de INEGI (INEGI, 2005) y su coincidencia en 50 diferentes zonas climáticas definidas como dominios climáticos, los cuales permiten reconocer la variabilidad climática del EVT (ver capítulo 1).

Para reconocer las áreas de endemismo se seleccionaron un conjunto de especies que se distribuyen de manera exclusiva (endémicas) en el EVT. Con los registros de éstas especies se empleó

el Análisis Parsimonioso de Endemismo (PAE) propuesto por Rosen (1988) y modificado por Morrone (1994), para identificar áreas de endemismo. Este método emplea conjuntos de celdas que son definidas por las especies únicas compartidas (sinapomorfias) o sus especies exclusivas. Así, fue posible definir las áreas de concentración de endemismos.

Resultados

El Eje Volcánico Transversal es una de las regiones con mayor diversidad florística en México. Se han reportado al menos 5139 especies vasculares en los bosques templados de esta provincia (Villaseñor y Ortiz, 2007). En este trabajo se analizaron 4055 especies, agrupadas en 999 géneros pertenecientes a 47 familias (Cuadro 1); tales cifras representan 78.9% de las estimadas por Villaseñor y Ortiz (2007). Las familias con mayor número de especies fueron en primer lugar Asteraceae (761, 18.8%), en segundo lugar Fabaceae (592, 14.6%) y en tercer lugar Poaceae (588, 14.5%). Las familias con menor número de especies registradas en el EVT son Hamamelidaceae, Magnoliaceae y Podocarpaceae, con 4, 6 y 3 especies, respectivamente (Cuadro 1).

La distribución de las especies en las 48 UGOs (Figuras 1 y 3) es heterogénea. La UGO con mayor número de especies fue la 33 (1601 especies, 39.5% de la riqueza total), mientras que en la UGO 39 solo se registraron 62 especies (1.5%). En promedio se registraron 266.9 especies por UGO (desviación estándar= 317.8) (Cuadro 2).

La mayoría de las especies presentes en el EVT muestran una distribución restringida. Las frecuencias nos señalan que el primer cuartil comprende las especies que se distribuyen en 1 y 2 celdas. Por lo tanto, 1633 especies caen en este grupo, por lo que podríamos decir que este conjunto de especies constituye la rareza del EVT (40.3%). Con el arreglo de las frecuencias en clases mediante la regla de Sturges (Daniel, 1982), se encontró que el 79.3% de las especies se distribuyen en siete UGOs o menos. De ellas, 789 (24.5%) solamente se han registrado en una sola de las 48 UGOs. Por otra parte, 20.3% del total de las 4,055 especies analizadas se distribuyen entre 8 y 30 UGOs y únicamente 0.3% se distribuyen en 30 UGOs o más (Figura 3).

Cuadro1. Familias Botánicas consideradas para la regionalización florística del Eje Volcánico Transversal. Se indica el número de géneros, especies y registros incluidos.

No.	Familia	Géneros	Especies	Registros
1	Acanthaceae	26	84	697
2	Agavaceae	9	63	442
3	Apiaceae	23	53	390
4	Aquifoliaceae	1	9	124
5	Araceae	10	20	132
6	Araliaceae	6	18	372
7	Asparagaceae	1	7	166
8	Asteraceae	166	761	10740
9	Begoniaceae	1	22	422
10	Bignoniaceae	18	29	183
11	Brassicaceae	20	34	339
12	Bromeliaceae	7	59	616
13	Burseraceae	2	31	488
14	Cactaceae	28	99	738
15	Caprifoliaceae	5	22	475
16	Caryophyllaceae	17	52	1114
17	Celastraceae	9	17	180
18	Convolvulaceae	13	110	1408
19	Crassulaceae	6	54	701
20	Cucurbitaceae	26	77	1925
21	Ericaceae	18	74	1511
22	Euphorbiaceae	23	126	1441
23	Fabaceae	93	592	5417
24	Fagaceae	3	60	1922
25	Gesneriaceae	11	24	273
26	Hamamelidaceae	3	4	96
27	Lauraceae	8	40	395
28	Liliaceae	14	21	421
29	Magnoliaceae	2	6	79
30	Malvaceae	30	104	1619
31	Melastomataceae	12	65	891
32	Myrsinaceae	9	27	289
33	Myrtaceae	10	37	314
34	Orchidaceae	85	321	2541
35	Pinaceae	3	30	500
36	Piperaceae	3	59	891
37	Plantaginaceae	1	13	277
38	Poaceae	126	588	10452
39	Podocarpaceae	1	3	67
40	Polypodiaceae	7	67	1048
41	Pteridaceae	18	85	1258
42	Rubiaceae	49	191	2875
43	Salicaceae	2	15	221
44	Scrophulariaceae	39	116	3032
45	Solanaceae	20	99	1854
46	Tiliaceae	5	14	105
47	Urticaceae	10	32	382

Cuadro 2. Total de especies (TS) número de tipos de vegetación (TV) y dominios climáticos (DM) registradas en cada una de las UGOs en que se dividió el EVT

UGOs	TS	TV	DM	UGOs	TS	TV	DM
1	88	10	7	25	904	9	8
2	171	7	8	26	735	12	12
3	305	11	5	27	554	11	12
4	497	11	7	28	140	7	6
5	96	6	4	29	731	12	11
6	124	6	6	30	731	14	6
7	224	9	5	31	171	10	7
8	229	7	5	32	168	9	14
9	396	7	8	33	1601	9	10
10	174	9	5	34	480	12	7
11	246	10	8	35	63	8	5
12	625	13	10	36	382	9	9
13	254	10	7	37	645	10	11
14	339	10	7	38	235	8	15
15	377	7	10	39	62	6	11
16	228	10	9	40	459	9	13
17	1343	12	21	41	289	11	11
18	65	7	4	42	867	14	12
19	491	9	8	43	759	12	13
20	320	14	8	44	389	12	13
21	338	8	9	45	149	12	10
22	163	8	12	46	1009	13	12
23	302	8	9	47	275	10	8
24	854	10	6	48	489	12	12

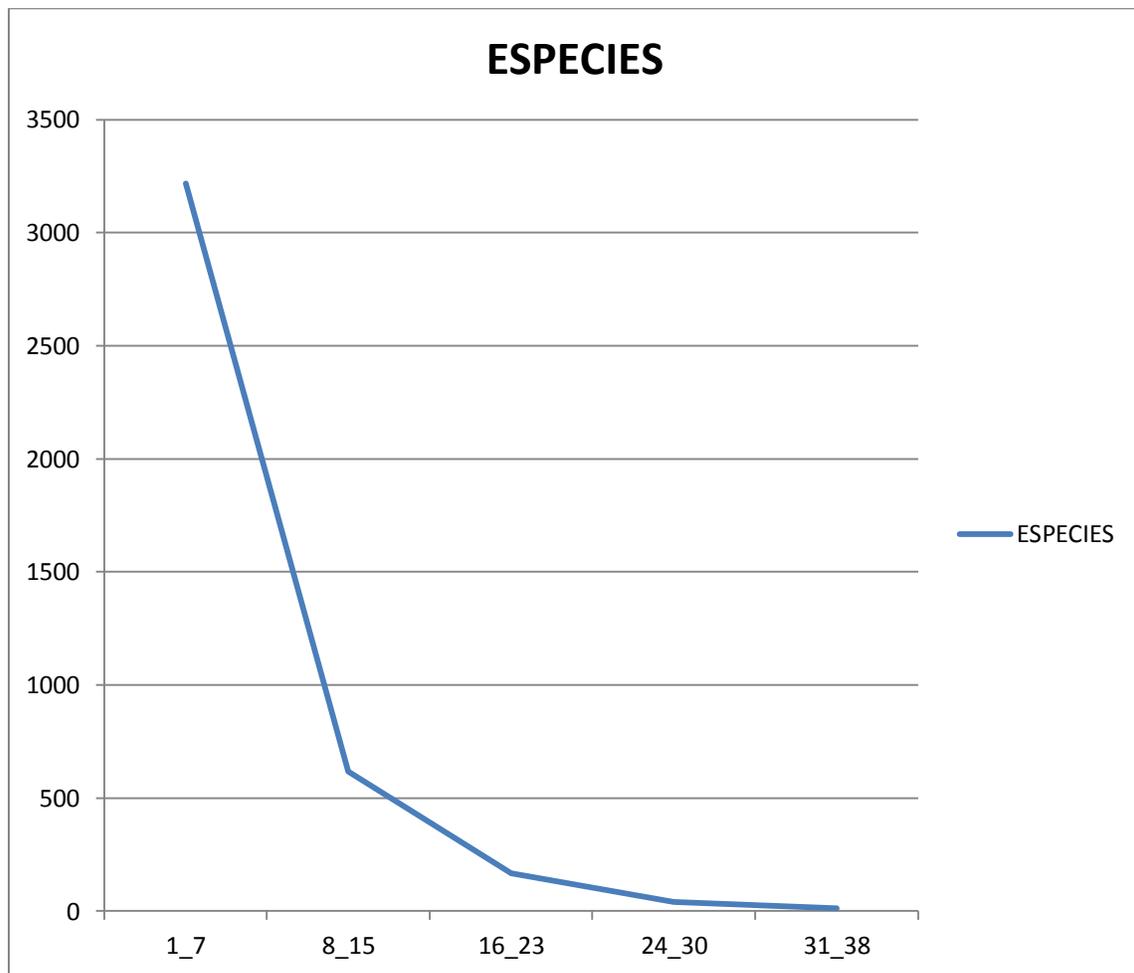


Figura 3. Distribución de las especies analizadas en las 48 UGOs en que se dividió el EVT, agrupadas en clases.

La superficie total de la provincia morfotectónica del EVT es de 163,015 km². La cobertura vegetal es de 58274.2 km² (35.7%), mientras que el resto (104,740.8 km², 64.2%) ha sido ocupado para establecer zonas urbanas, agrícolas, ganaderas o industriales, lo que ha influido notablemente en la reducción del área de distribución de las especies, no sólo de esta región sino de todo el país (Cuadro 3). En promedio se registraron 10 tipos de vegetación por UGO, observándose una correlación relativamente baja ($r = 0.45$; $P < 0.005$) entre la riqueza de especies y los tipos de vegetación. En el Cuadro 3 se indica la riqueza de especies reconocida en los tipos de vegetación utilizados para el análisis. Más de la mitad de las especies se registraron en más de un tipo de vegetación; domina por el número de especies el pastizal inducido (1,460), seguido por el bosque de pino-encino (1,369 especies), mientras que para el bosque húmedo de montaña se reconocen 977 especies (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tipos de vegetación reportados en el EVT (INEGI, 2007). Se indica el área y porcentaje que ocupa cada uno de ellos, así como el número de especies y de registros.

Clave	Tipo de Vegetación	Área	% del EVT	Total de especies	Total de Registros
BE	Bosque de Encino	9687.7	5.94	1387	4418
BEP	Bosque de Encino-Pino	2827.4	1.73	746	1649
BO	Bosque de Oyamel	1143.8	0.70	387	893
BP	Bosque de Pino	5487.9	3.37	1277	5384
BPE	Bosque de Pino-Encino	11617.9	7.13	1369	4498
BT	Bosque de Tascate	489.3	0.30	11	11
BMM	Bosque Mesófilo de Montana	1401.2	0.86	977	2309
MCR	Matorral Crasicaule	1987.8	1.22	355	631
MDR	Matorral Desértico Rosetófilo	658	0.40	414	975
MSUM	Matorral Submontano	76.5	0.05	12	12
PH	Pastizal Halófilo	334.8	0.21	34	39
PI	Pastizal Inducido	10156.8	6.23	1460	4077
PAMO	Pradera de Alta Montaña	139.6	0.09	141	242
SAP	Selva Alta Perennifolia	75.9	0.05	10	13
SBC	Selva Baja Caducifolia	11298.6	6.93	918	1907
SMSUC	Selva Mediana Subcaducifolia	539.4	0.33	12	13
TUL	Tular	167.8	0.10	2	7
VH	Vegetación Halófila	183.8	0.11	33	38
	TOTAL	58274.2	35.75	--	27116

En el EVT se observa que en distancias muy cortas se presentan cambios climáticos drásticos, debido a fuertes gradientes altitudinales, a la complejidad topográfica y a la orografía en general, así como a la elevación de las serranías (Greeland, 2005). Tal variabilidad climática se ve reflejada en el número de dominios climáticos encontrados en cada UGO; solamente en dos de las UGOs se registra un solo dominio, mientras que una sola UGO (17) registra 21 diferentes dominios (cuadro 2). Se encontró una fuerte correlación entre el número de dominios climáticos y tipos de vegetación por UGO ($r = 67.8$, $P < 0.005$). En promedio se registraron 6.7 dominios climáticos por UGO.

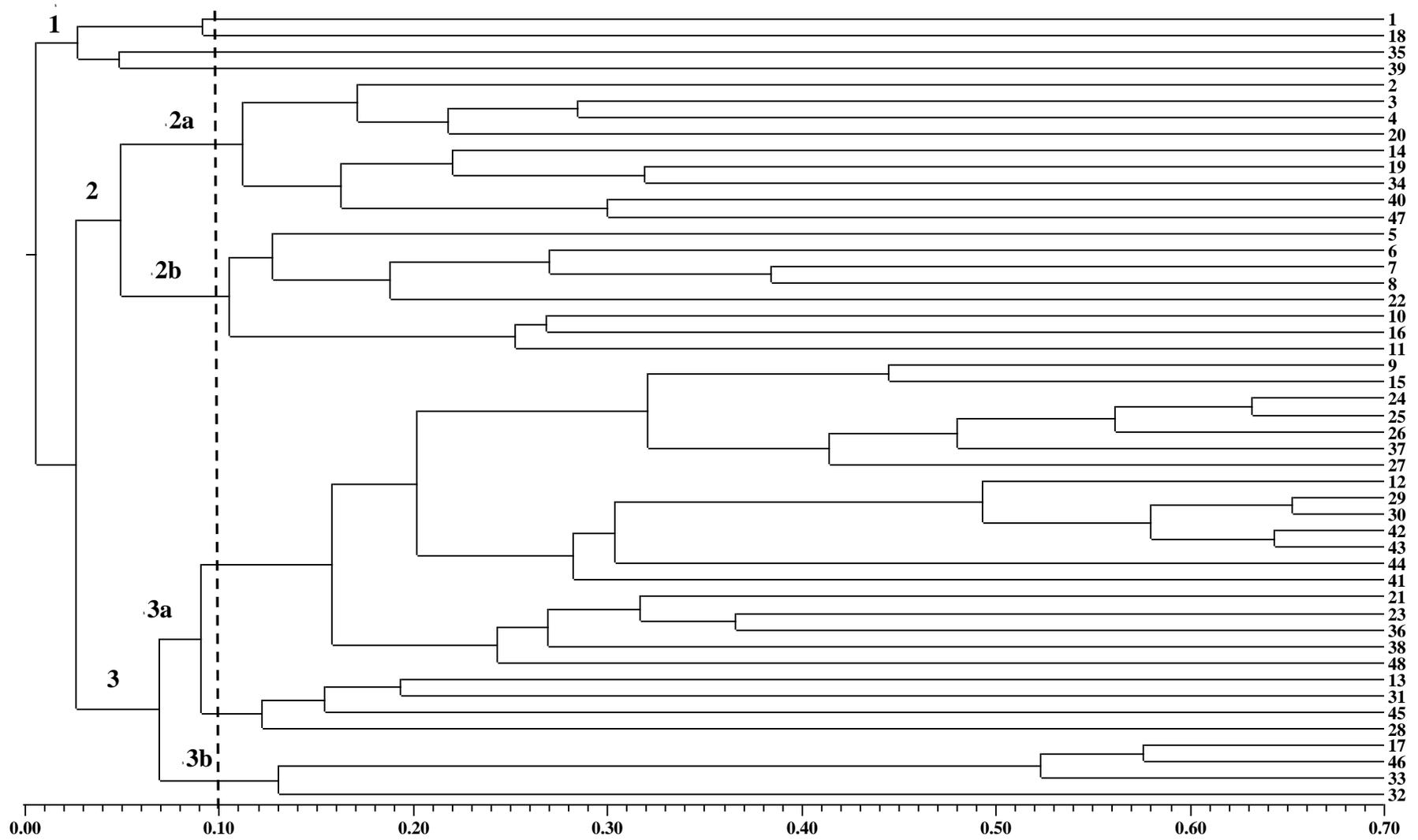
La similitud florística entre las UGOs en que se dividió el EVT permite identificar tres unidades florísticas (Figura 4) (Birks, 1986), aunque estas se forman a niveles de similitud por debajo del 10%. El primer grupo está formado por cuatro UGOs (1, 18, 35 y 39), el segundo grupo incluye 17 UGOs, mientras que al tercer grupo lo conforman 27 UGOs (Figura 4). Diez UGOs del grupo tres (24, 25 y 26; 29 y 30; 42 y 43; 17, 46 y 33) se asociaron por encima del 50% de similitud, valor que no es alcanzado por otro conjunto de UGOs. Las UGOs 29 y 30 son las que registran la mayor similitud florística (65.4%). El segundo grupo se dividió en dos subgrupos, uno (2a) formado por nueve UGOs y

otro subgrupo (2b) con ocho UGOs (figura 4). El tercer grupo también se dividió en dos subgrupos, uno (3a) incluye 23 UGOs mientras que el otro (3b) lo forman cuatro de las UGOs (Figura 4). Estos subgrupos (2a, 2b, 3a y 3b) se corresponden con las unidades florísticas (I, II, III y IV) respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Unidades florísticas definidas en el Eje Volcánico Transversal y elementos florísticos que las caracterizan. Se indica el número de especies exclusivas a cada unidad, el número de UGOs que las constituyen y el número de tipos de vegetación que se registran en ellas.

Unidad Florística	Elemento Florístico (Total de Especies)	Especies exclusivas	UGOs	Tipos de vegetación
I	1876	332	1, 2, 3, 4, 14, 18, 19, 20, 34, 35, 40, 47	14
II	886	31	5, 6, 7, 8, 10, 11, 16, 22	12
III	2642	586	9, 12, 13, 15, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 48	16
IV	2282	764	17, 32, 33, 46	14

Figura 4. Valores de similitud encontrados entre las UGOs en que se dividió el EVT. Coeficiente de similitud: Sorensen Dice; método de agrupamiento: Enlace Completo.



Debido a que las UGOs del primer grupo no forman una unidad geográfica común, sino que están ubicadas en cuadros disyuntos, se reasignaron a los otros dos grupos. De esta manera tres de ellas (1, 18 y 35) se unieron al subgrupo 2a (Figura 4) y una más (UGO 39) al subgrupo 3a (Figura 5). Con la segregación de este grupo finalmente se definieron cuatro unidades florísticas: la unidad I está formada por 12 UGOs distribuidas en la parte occidental del EVT. La unidad II incluye ocho UGOs localizadas en la parte norte, donde el EVT entra en contacto con la Altiplanicie Mexicana (Cuadro 4). La unidad III agrupa 24 UGOs distribuidas en las partes central, NE y SE del EVT. Por último, la unidad IV solo incluye cuatro UGOs localizadas en el extremo oriental del EVT (Figura 5).

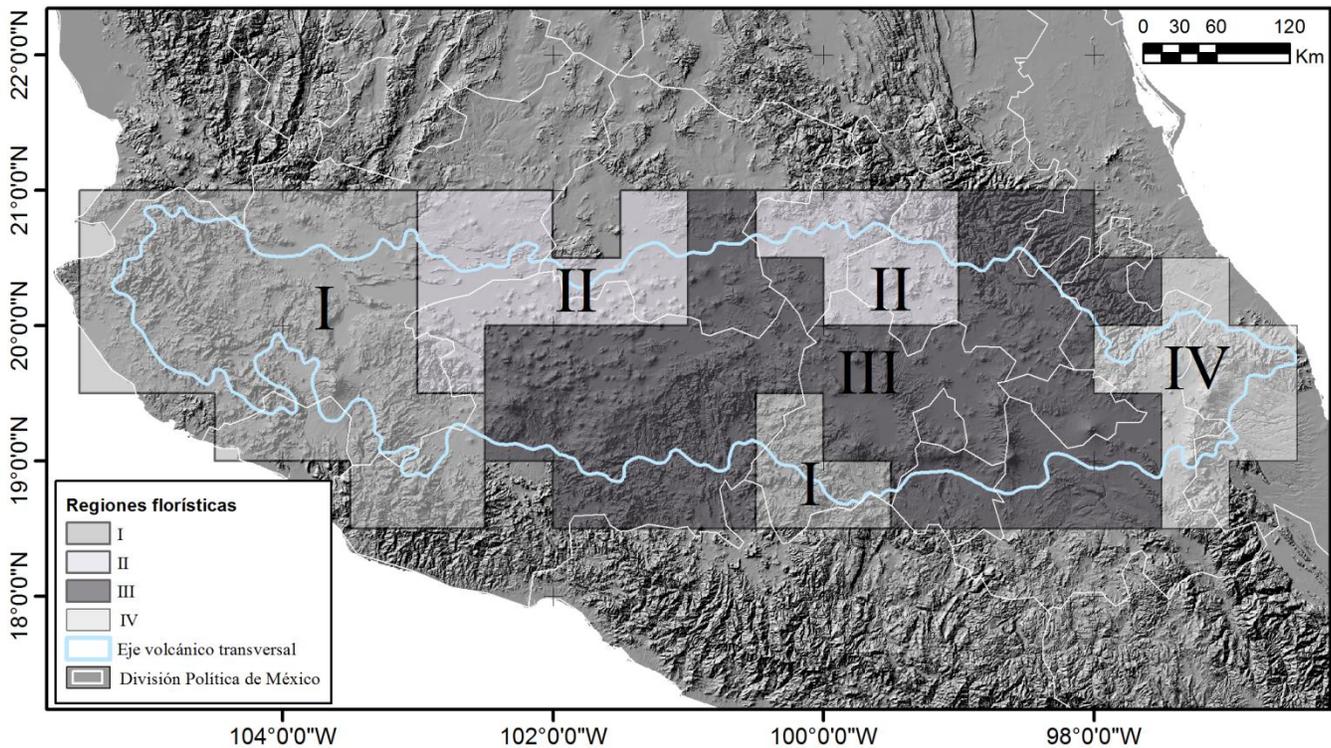


Figura 5. Unidades florísticas definidas con la similitud encontrada entre las UGOs en que se dividió el EVT.

Aunque cada unidad florística contiene un número parecido de tipos de vegetación, es notoria la diferencia en el número de especies que incluyen (Cuadro 4). Aunque la Unidad I, registra 14 tipos de vegetación, el número de especies (1,876) que registra es menor si se compara, por ejemplo, con la riqueza observada en la unidad IV (2,282) que tiene igual número de tipos de vegetación, pero que agrupa un menor número de UGOs. Otra diferencia entre estas unidades es el número de especies exclusivas. Mientras que en la unidad I se registran 332, en la unidad IV se registran más del doble

(764), siendo ésta última la unidad florística con mayor número de especies exclusivas. En la unidad III se registra la mayor riqueza de especies y tipos de vegetación, mientras que la unidad II es la más pobre en riqueza florística, pues sus ocho UGOs registran el menor número de especies, de aquellas etiquetadas como especies exclusivas y de tipos de vegetación (Cuadro 4).

Otro apartado del presente estudio fue la definición de las áreas de endemismo en el EVT, con base en los registros de 48 especies endémicas (Cuadro 5) de esta provincia y con las 48 UGOs de 30' de longitud y latitud en que se dividió el EVT (figura 3). A partir de ello se elaboró un análisis parsimonioso de endemismos (PAE por sus iniciales en inglés) y se obtuvo el cladograma que se muestra en la figura 6.

Cuadro 6. Lista de especies endémicas consideradas para el PAE y las OGU's donde han sido registradas.

No.	Especie	OGU's
1	<i>Achaetogeron mexicanus</i>	29, 42, 43
2	<i>Agrostis thyrsigera</i>	12
3	<i>Arenaria mexicana</i>	11
4	<i>Calamagrostis eriantha</i>	17, 42, 46
5	<i>Calamagrostis schiedeana</i>	17, 46
6	<i>Cerastium ramigerum</i>	17, 46
7	<i>Cirsium lomatolepis</i>	41, 42
8	<i>Cirsium orizabense</i>	46
9	<i>Cirsium pazcuarensis</i>	24, 25, 42
10	<i>Desmodium occidentale</i>	14, 19
11	<i>Digitaria paniculata</i>	20
12	<i>Draba hidalgensis</i>	12, 13
13	<i>Echeandia gracilis</i>	41, 42, 43
14	<i>Echeveria subalpina</i>	17, 46
15	<i>Epidendrum examinis</i>	20
16	<i>Erysimum macradenium</i>	17, 43, 46
17	<i>Festuca rzedowskiana</i>	41, 43
18	<i>Graptopetalum fruticosum</i>	2, 3, 4, 20, 21, 34
19	<i>Ipomoea noctulifolia</i>	19
20	<i>Lobelia jaliscensis</i>	19, 21
21	<i>Lychnis mexicana</i>	29, 42, 43
22	<i>Malpighiawil buriorum</i>	19
23	<i>Muhlenbergia giabrevisetata</i>	24
24	<i>Oreomyza rhisorizabae</i>	42, 43
25	<i>Plantago toluensis</i>	43
26	<i>Poa orizabensis</i>	43
27	<i>Populus guzmanantlensis</i>	19
28	<i>Potentilla richardii</i>	17, 20, 43, 46
29	<i>Robinsonia eciogerberifolius</i>	43

Cuadro 6. Continuación

No.	Especie	OGU's
30	<i>Rumex flexicaulis</i>	24, 30, 42, 43
31	<i>Salix mexicana</i>	4, 12
32	<i>Salvia filifolia</i>	5, 26, 30, 42, 43,
33	<i>Salvia remota</i>	32, 42,
34	<i>Sedum clavifolium</i>	43
36	<i>Sedum minimum</i>	12, 42, 43
37	<i>Sedum pentastamineum</i>	40
38	<i>Senecio inaequidens</i>	15, 43
39	<i>Senecio jacalensis</i>	41, 43
40	<i>Senecio mairetianus</i>	29, 41, 42
41	<i>Sisyrinchium abietum</i>	14, 19, 33
42	<i>Sisyrinchium konzattii</i>	42, 43
43	<i>Tauschia humilis</i>	12, 43
44	<i>Thalictrum pachucense</i>	12
45	<i>Tigridia alpestris</i>	12, 36, 48
46	<i>Triumfetta gonophora</i>	19, 21
47	<i>Verbesina culminicola</i>	14
48	<i>Zea diploperennis</i>	19

Análisis de Parsimonia de Endemismos. El análisis de la distribución de los registros de 48 especies endémicas (cuadro 6) con relación a las 48 UGOs en que se dividió el EVT (figura 3), permitió definir áreas de endemismo compuestas por la distribución de al menos dos especies exclusivas (sinapomorfias). La figura 6 muestra el cladograma de áreas resultante, el cual tiene una longitud = 80; un índice de consistencia de 60 y un índice de retención de 36. El árbol de consenso estricto permitió obtener un cladograma en el que se reconocen cuatro zonas (figura 6). En primera instancia, existen tres áreas denominadas A, B y E en las que se encuentran especies endémicas exclusivas y que corresponden a la superficie de la UGOs 12 y 20 respectivamente, sustentadas por dos especies cada una (*Agrostis thyrsgera* y *Thalictrum pachucense*; *Digitaria paniculata* y *Epidendrum examinis*, respectivamente); por otro lado dos áreas de endemismo una (C) conformada por las UGO's 17 y 46 sustentada por tres especies (*Calamagrostis schiedeana*, *Cerastium ramigerum* y *Echeveria subalpina*) y otra área (D) conformada por las UGOs 42 y 43 sustentada por dos especies (*Oreomyrrhis orizabae* y *Sisyrinchium konzattii*). En el cladograma también sobresalen 7 UGOs (11, 14, 19, 24, 40, 43 y 46) por la presencia de especies endémicas características de estas UGOs por restringir su distribución dentro de sus respectivas áreas; resaltando las UGOs 19 y 43 con cinco y cuatro especies exclusivas respectivamente (figura 6).

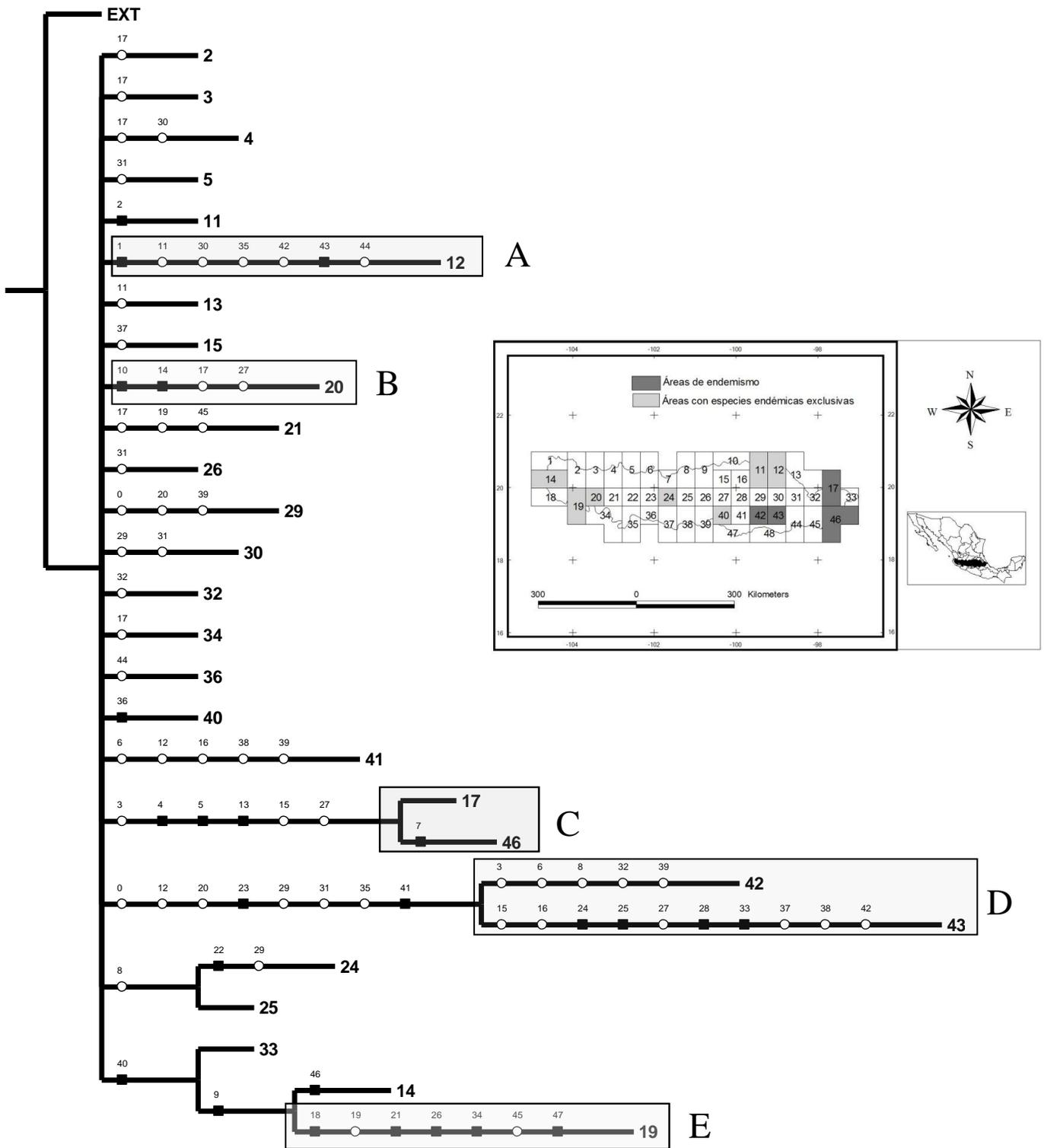


Figura 6. Cladograma de áreas de endemismo, obtenido con el PAE dentro del EVT. En el mapa se indican dos áreas de endemismo y las zonas (UGOs) con especies endémicas exclusivas.

Discusión

La contribución de taxa por familias a lo largo del EVT es heterogénea. Las familias mejor representadas son Asteraceae, Poaceae y Fabaceae, probablemente como consecuencia de ser las familias que en el EVT tienen uno de sus principales centros de diversificación (Rzedowski, 1978), además de ser las más diversas y de las que se tienen mayor número de registros en México. La familia Asteraceae es la más diversa de las regiones templadas de México (Rzedowski, 1978; Villaseñor y Ortiz, 2007).

La riqueza de especies encontrada en las UGOs también señala que la diversidad local (diversidad alfa) en cada UGO en que fue dividido el EVT no es uniforme. Lo anterior permite entender la alta diversidad beta que se observa en esta provincia, responsable de la alta riqueza florística de la zona de estudio. Sin embargo, es necesario documentar mejor la información de su flora, pues algunas partes de su territorio muestran vacíos de información que deberían llenarse con más trabajo de campo.

Un dato relevante encontrado es que la mayoría de las especies (92%) se distribuyen en menos de 15 UGOs. Este patrón puede deberse al relieve tan diverso observado en el EVT ya que la provincia incluye valles, cuencas, planicies y desde luego los geomorfos más abundantes que son las montañas (Ferrusquía-Villafranca, 2007). Esta diversidad morfotectónica, junto con el clima que es también muy diverso, generan barreras que limitan el paso de especies en distancias cortas en esta región, repercutiendo en la distribución de las especies. Por su parte el alto número de especies restringidas en el EVT podría ser causada porque la distribución de muchas especies se reparten con otras zonas montañosas vecinas. Con tales cadenas montañosas el EVT forma zonas complejas, las cuales apoyan el papel que históricamente ha jugado como corredor biológico, conectando por ejemplo la Sierra Madre Occidental con la Sierra Madre Oriental y viceversa (Villaseñor y Ortiz, 2007).

Los resultados apoyan afirmaciones previas de que la flora del EVT es característica de los bosques templados (Encino, Pino, Pino-Encino, Oyamel y Húmedo de Montaña), como ha sugerido Rzedowski (1978). Este componente, junto con el asociado a los bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios, conforman los tipos de vegetación que ocupan la mayor cobertura vegetal en el EVT, superando considerablemente a los demás (Cuadro 3). Desafortunadamente el área que ocupaban originalmente estos tipos de vegetación se ha visto reducida considerablemente, repercutiendo en el área de distribución de las especies. Los datos indican que en los polígonos con algún tipo de vegetación primaria solamente se registraron en 27,116 sitios de recolecta, mientras que 61,823 se registraron en las zonas urbanas, agrícolas, ganaderas, etc. Lo anterior es muestra de cómo se ha

reducido el área de distribución de las especies en el EVT, quedando los actuales tipos de vegetación en pequeños fragmentos.

El pastizal inducido es uno de los tipos de vegetación (INEGI, 2005) que actualmente tiene la mayor cobertura y donde se registra una alta riqueza de especies (Cuadro 3). Estos datos sugieren que los tipos de vegetación primaria han sido fuertemente transformados por las actividades humanas y actualmente se encuentran representados por vegetación secundaria o transformada. Algunos de esos sitios probablemente están funcionando como reservorios o refugios de la flora característica de los tipos de vegetación primaria circundantes. La distribución de especies en tipos de vegetación primaria indica que los bosques templados (Encino, Pino y Pino-Encino) son aquellos en donde se concentran la mayoría de las especies que se distribuyen en el EVT (Cuadro 3).

Las unidades florísticas definidas no solo difieren por la cantidad de UGOs que las forman, sino también por el total de especies que contienen (elementos florísticos *sensu* Birks, 1986). El agrupamiento de las UGOs con base en los valores de similitud revela una división del EVT en dos zonas definidas longitudinalmente, una oriental y otra occidental (Figura 5). Los resultados también indican que las especies se pueden dividir en tres grupos: 1) aquellas que prosperan preferentemente en las condiciones de aridez que se presentan en la parte norte, en donde el EVT entra en contacto con la Altiplanicie Mexicana (Unidad florística II), 2) aquellas que se distribuyen básicamente en hábitats con climas templados, localizados en la parte central del EVT (Unidad florística III) y 3) aquellas que se distribuyen en climas más cálidos, pero con un contraste importante de humedad ambiental, siendo representados en la porción occidental (Unidad I) conspicuamente más seca que la porción oriental (unidad IV).

Legendre y Legendre (1998) recomiendan que las unidades florísticas tengan una continuidad espacial y por lo tanto se deben unir aquellas que no difieran ostensiblemente en su composición florística, pero que se encuentren separadas geográficamente. En este estudio, la unidad I forma dos grupos con importantes niveles de similitud florística (Figura 4), aunque se encuentran separados geográficamente (Figura 5). La división de esta unidad I coincide en general con la distribución de la cubierta vegetal y con los rasgos climáticos presentes en las provincias florísticas propuestas por Rzedowski (1978). Las especies de la Unidad I prosperan preferentemente en las condiciones ambientales características de las provincias Costa del Pacífico y Depresión del Balsas. Estas dos provincias, al igual que la Unidad I, están divididas por la provincia definida como Serranías Meridionales (Unidad florística III), la cual está formada por especies que se distribuyen preferentemente en hábitats con climas templados.

Alcántara y Paniagua (2007) reportan 63 especies endémicas del EVT. Algunas de ellas (16) tienen su distribución de manera exclusiva en una de las cuatro unidades definidas en este estudio. En la Unidad I se distribuyen tres de estas 16 especies (*Epidendrum examinis* S. Rosillo, *Graptopetalum fruticosum* Moran y *Verbesina culminicola* McVaugh); en la Unidad III hay diez (*Achaetogeron mexicanus* (A.Gray) DeJong, *Cirsium pazcuarensis* (Kunth) Spreng, *Echeandia gracilis* Cruden, *Festuca rzedowskiana* E.B.Alexeev, *Lychnis mexicana* Rose, *Muhlenbergia breviseta* Griseb. ex E.Fourn, *Plantago tolucensis* Pilg., *Poa orizabensis* Hitchc., *Salix mexicana* Seem. y *Sedum mínimum* Rose) y en la Unidad IV tres más (*Calamagrostis eriantha* (Kunth) Steud., *Echeveria subalpina* Rose et Purpus, *Oreomyrrhis orizabae* I.M.Johnst.). La unidad II es la única en la que no se registran especies endémicas exclusivas, pues las demás especies endémicas se comparten entre dos o más de las unidades florísticas.

Datos reportados para especies de la tribu Senecioneae (Asteraceae) y para briófitas (Villaseñor *et al.*, 2007), señalan que el endemismo en el EVT es mayor a lo que reportan Alcántara y Paniagua (2007). Villaseñor *et al.* (2006) describen cuatro zonas de riqueza de especies (hotspots) en el EVT, las cuales coinciden con las unidades florísticas definidas en este análisis. Una de ellas está incluida en la unidad I, otras dos en la unidad III y la última en la Unidad IV. Estas coincidencias sugieren que el endemismo es un elemento importante para ser considerado en propuestas de regionalización de áreas.

Las unidades florísticas definidas en este trabajo pueden ser contrastadas con las propuestas planteadas con otros grupos taxonómicos. Por ejemplo, Sánchez-Cordero *et al.* (2005) proponen tres zonas de concentración de especies de mamíferos en el EVT, una oriente, otra central y otra occidental. Por otra parte, Escalante *et al.* (2007), basándose en datos de distribución potencial de mamíferos solamente reconocen dos áreas, una oriental y otra occidental. Ambos trabajos tienen ciertas coincidencias con la distribución de las unidades florísticas delimitadas en este análisis (Figura 5), en la que latitudinalmente se distinguen también tres zonas. Sin embargo, longitudinalmente se aprecian diferencias, pues ningún otro estudio reconoce la parte norte y sur del EVT (aquí denominadas unidades II y III). Las diez regiones avifaunísticas identificadas en el EVT por Navarro-Sigüenza *et al.* (2007) coinciden en parte con las reconocidas en este trabajo, aunque los autores utilizan polígonos diferentes (provincias biogeográficas) a los aquí utilizados (provincias geomorfológicas). Por otra parte, las unidades florísticas definidas también coinciden en algunos sitios con la propuesta de Moore (1945), quien reconoce cinco distritos avifaunísticos en el EVT. Su propuesta coincide con la de Torres-Miranda y Luna-Vega (2007), la cual, con base en otros grupos taxonómicos también delimitan cinco distritos en el EVT. Aunque estos cinco distritos son delimitados utilizando áreas mayores a las

del polígono empleado en este trabajo, son muy coincidentes con las unidades florísticas aquí delimitadas.

Los esfuerzos realizados para reconocer áreas de concentración de especies que permitan regionalizar el EVT, indican que hay demasiada complejidad para lograrlo, debido a la amplia heterogeneidad mostrada por la distribución de la flora y la fauna en esta zona del país, considerada como una de las más importantes por su riqueza biológica. Sin embargo, el reconocimiento de áreas biogeográficas con todos estos trabajos permitirá planificar mejores estrategias para delimitar áreas prioritarias de conservación.

La concentración de taxones endémicos dentro de esta provincia como dentro de cualquier otra, son casos excepcionales. El endemismo puede ser explicado por diversos factores. Es reconocido que la conjunción de procesos vicariantes dados por la compleja geología, la diversificación hacia nuevos ambientes (clima, suelo, etc.), la capacidad de dispersión de las especies, etc., son promotores del endemismo y el EVT no parece ser la excepción y menos aún por su compleja orografía. Desafortunadamente, el desconocimiento de la distribución total de cada una de las especies, no permite hacer análisis espaciales detallados, por lo que la definición de las áreas de riqueza, de endemismo y las prioritarias de conservación están supeditadas a ser reconocidas con base en la información disponible en un momento determinado.

Literatura Citada

Akeroyd J. y Synge H. 1992. Higher plant diversity. En: Groombridge, B. (editor). Global biodiversity: status of the Earth's living resources. Chapman & Hall, Londres. Pp. 64-87.

Alcántara, O. y Paniagua, M. 2007. Patrones de distribución y conservación de plantas endémicas. En: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. pp. 421-438. UNAM, México.

Alcorta-Guerrero, R. 1958. Caminos de México. Guía Goodrich-Euskadi. México, D. F.

Almeida-Leñero, L., Escamilla, M., Giménez de Azcárate, J., González-Trápaga, A. y Cleef, A. 2007. Vegetación alpina de los volcánes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca. En: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. pp. 179-198. UNAM, México.

Arriaga, L., Aguilar C., Espinosa-Organista D. y Jiménez R. 1997. Regionalización ecológica y biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), México, D.F.

Casas-Andreu, G. y T. Reyna-Trujillo T. 1990. "Provincias herpetofaunísticas" en Herpetofauna (Anfibios y reptiles). IV.8.6. Atlas Nacional de México II. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, UNAM. México

Clausen, R.T. 1959. *Sedum* of the Trans-Mexican Volcanic Belt: an exposition of taxonomic methods. Cornell University Press. Ithaca, New York. 380 pp.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1997. Provincias geomorfológicas de México. Escala 1:4 000 000. México.

Contreras-Medina, R. y H. Eliosa-León. 2001. Una visión panbiogeográfica preliminar de México. En: Llorente-Bousquets, J. y J. J. Morrone (eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: conceptos, teorías, métodos y aplicaciones. pp. 197-211. UNAM, México, D.F.

Contreras-Medina, R., Castañeda-Aguado, D. y González-Zamora, A. 2007. Gimnospermas. En: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinosa (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. pp. 129-138. UNAM, México.

Cuanalo De La Cerda, H., Ojeda-Trejo E., Santos-Ocampo A. y C.A. Ortiz-Solorio. 1989. Provincias, Regiones y Subregiones Terrestres. Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología, Chapingo. 624 pp.

Darlington, P.J.Jr. 1957. Zoogeography: The geographical distribution of animals. John Wiley, New York. 675 pp.

Delgadillo, C., Villaseñor, J. L. y Dávila-Aranda. P. 2003. Endemism in the Mexican flora: a comparative study in three plant groups. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **90**: 25-34.

Demant, A. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Revista del Instituto de Geología* **2**: 172-187.

Escalante T., Rodríguez G. y J.J. Morrone. 2005. Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **76** (2): 199-205.

Escalante T., Rodríguez G., Gámez N., León-Paniagua L., Barrera O. y V. Sánchez-Cordero. 2007. Biogeografía y conservación de los mamíferos. En: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. pp. 485-502. UNAM, México.

ESRI (Environmental Scientific Research Institute) 2000. ArcView 3.2. ESRI. Redlands. California. U.S.A.

Fa, J.E y L.M. Morales. 1991. Mammals and Protected Areas in the Trans-Mexican Neovolcanic Belt. In: Mares, M.A. y D.J. Schmidly (eds.) *Latin American mammalogy: History, biodiversity, and conservation*. pp. 199-226. University of Oklahoma Press. Oklahoma.

Ferrari, L. 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica de México* **53**: 84–92.

Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G. y G. Carrasco-Nuñez. 1999. Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: From the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology* **27**: 303-306.

Ferrusquía-Villafranca, I. 1990. Provincias Bióticas (con énfasis en criterios morfotectónicos). En: *Regionalización biogeográfica, IV.8.10. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala: 1: 4000000*. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Ferrusquía-Villafranca, I. 1993. La geología de México: una sinopsis. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología. pp. 1–107. UNAM, México D. F.

Ferrusquía-Villafranca, I. 2007. Ensayo sobre la caracterización y la significación biológica. En: Luna, I., J.J. Monrroe y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Franja Volcánica Transmexicana*. pp. 7-23. UNAM, México.

Goldman, E.A. y R.T. Moore 1945. The biotic provinces of Mexico. *Journal of Mammalogy* **26**: 347-360.

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel M.T. y L. Ferrari. 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica de México* **2**(3): 227-285.

Legendre P. y Legendre, L. 1998. *Numerical Ecology*. Second Edition, Elsevier Publishers, Amsterdam.

López-Ramos, E. 1979. *Geología de México Tomo III*. México D.F. E. López-Ramos. 446 p.

Lozano-García, M.S. y M.S. Xelhuantzi-López. 1997. Some problems in the late Quaternary pollen records of central México: Basins of Mexico and Zacapu. *Quaternary International*. **43** (44): 117-123.

Lugo-Hubp, J. 1990. El relieve de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista del Instituto de Geología*. **9** (1): 82-111.

Luna-Vega, I., Morrone J.J. y D. Espinosa. 2007. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

McLaughlin, S.P. 1994. Floristic plant geography: the classification of floristic areas and floristic elements. *Progress in Physical Geography*. **18**: 185-208.

Mooser, F. 1972. The Mexican Volcanic Belt - Structure and tectonics. *Geofísica Internacional* 12: 55-70.

Morafka, D.J., G.A. Adest, L.M. Reyes, G. Aguirre y S. Lieberman. 1992. Differentiation of North American Deserts: a phylogenetic evaluation of a vicariant model. In: S.P. Darwin A.L. Welden (ed.) *Biogeography of Mesoamerica*. pp. 195-226. Tulane University, New Orleans.

Morán-Zenteno, D. 1984. *Geología de la República Mexicana*. Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 82 p.

Morrone J.J. 1994. On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology* **43**: 438-441.

Morrone, J.J. 2001. Toward a cladistic model for the Caribbean subregion: Delimitation of areas of endemism. *Caldasia* **23**: 43-76.

Morrone, J.J. y J. Márquez 2003. Aproximación a un Atlas biogeográfico mexicano: componentes bióticos principales y provincias biogeográficas. En: J. J. Morrone y J. Llorente-Bousquets (eds.). Una

perspectiva latinoamericana de la biogeografía, Las Prensas de Ciencias. pp. 217-220. UNAM, México, D.F.

Morrone, J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **76**(2): 207-252.

Morrone, J. J. 2006. Biogeographic areas and transition zones of Latin America and the Caribbean islands based on panbiogeographic and cladistic analyses of the entomofauna. *Annual Review of Entomology* **51**: 467-494.

Navarro-Sigüenza, A.G., A. Lira-Noriega, A.T. Peterson, de Ita A. Oliveras y A. Gordillo-Martínez 2007. Diversidad, endemismo y conservación de las aves. En: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. pp. 461-483. UNAM, México.

Nixon, K.C. 2002. Winclada (Beta) Versión 09.09. Published by the author, Cornell University, Ithaca, New York.

Nixon, K.C & J.M. Carpenter 1993. On Outgroups. *Cladistics* **9**: 413–426.

Ochoa, T.V. 2001. Geomorfología, clima y vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán Puebla-Oaxaca. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 85 p.

Ortega-Gutiérrez, F., L.M. Mitre-Salazar, J. Roldán-Quintana, J. Aranda-Gómez, D. Morán-Zenteno, S.A. Alanís-Álvarez y A. Nieto-Samaniego. 1992. Carta geológica de la República Mexicana, escala 1: 2,000,000, 5a. edición, Consejo de Recursos Naturales, Instituto de Geología, UNAM.

Palma M.M., A. Velázquez, F.J. Romero y G. Bocco 1999. Zonificación de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad: el caso de la región montaña del sur de la Cuenca de México. En: Velázquez A. y F.J. Romero (comp.) *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México*. 287-301. Universidad Autónoma Metropolitana, México D. F.

Raisz, E. 1964. Landforms of Mexico (chart). Geography Branch of the Naval Research. 2° ed. Cambridge, Massachusetts.

- Ramírez-Pulido, J. y A. Castro-Campillo. 1990. Regiones y Provincias Mastogeográficas. Extraído de Regionalización Mastofaunística, IV.8.8. Atlas Nacional de México. Vol. III. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rohlf F. J. 2002. NTSYS-PC 2.2. Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Exeter Software: *Applied Biostatistics*. New York.
- Rosen, B.R. 1988. From fossil to earth history: applied historical biogeography. En: A.A. Myers y P.S. Giller (Eds.) *Analytical Biogeography*. pp. 437-481. Chapman and Hall. New York.
- Rzedowski, J. 1973. Geographical relationships of the flora of Mexican dry regions. En: Alan Graham (Ed.) *Vegetation and Vegetational History of Northern Latin America*. pp. 61-73. Elsevier Scientific Company. Ámsterdam.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México. 432 p.
- Rzedowski, J. y T. Reyna-Trujillo. 1990. Divisiones florísticas. En: Tópicos fitogeográficos provincias, matorral xerófilo y cactáceas. IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* **14**: 3-21.
- Rzedowski, J. 1991b. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* **15**: 47-64.
- Sánchez-Cordero, V., V. Cirelli, M. Murguía y S. Sarkar. 2005. Place prioritization for biodiversity representation using species ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics* **2**: 11-23.
- Suárez-Mota, M.E. 2006. Afinidades geográficas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán analizando las Asteraceae mexicanas. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 35 p.
- Torres-Miranda A. y I. Luna-Vega. 2007. Hacia una síntesis panbiogeográfica. En: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. pp. 503-514. UNAM, México.

UICN. 2001. Categorías y criterios de la lista Roja de la UICN. Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.

Velázquez A. y F.J. Romero. 1999. Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México. Universidad Autónoma Metropolitana. México D. F.

Villaseñor, J.L. 2004. Los géneros de las plantas vasculares de la flora de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. **75**: 105-135.

Villaseñor, J.L., Ibarra-Manríquez G., Meave J.A., y E. Ortiz 2005. Higher taxa surrogates of plant biodiversity in a megadiverse country. *Conservation Biology*. **19**: 232-238

Villaseñor, J.L., P. Maeda, J.A. Rosell y E. Ortiz. 2007. Plant families as predictors of plant biodiversity in Mexico. *Diversity and Distributions* **13**: 871-876.

Villaseñor, J.L. y E. Ortiz 2007. La familia Asteraceae. En: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. pp. 289-310. UNAM, México.

Vivó, J.A. 1943. Los límites biogeográficos en América y la zona cultural mesoamericana. *Revista Geográfica* **3**: 109- 131.

Capítulo III

Análisis de Complementariedad en el Eje Volcánico Transversal de México

Introducción

Las grandes redes de reservas son y serán los componentes integrales de la conservación exitosa de la biodiversidad. Aunque la identificación de tales redes está limitada debido a la confusión que se genera por la importancia relativa que existe entre el endemismo y la riqueza de especies (Prendergast et al., 1993). Existe evidencia que las regiones con alta riqueza de especies, tienden a ser diferentes de aquellas otras con alto endemismo (Kerr, 1997). La controversia sobre la importancia relativa del endemismo y de la riqueza de especies tal vez no sería necesaria si los esfuerzos de conservación estuvieran orientados a un taxón individual (Kerr, 1997).

Para definir redes de conservación adecuadas, es necesario integrar grupos que incluyan a todos los sectores de la sociedad. Para ello, la biología de la conservación debe generar respuestas y estructurar líneas de investigación en torno a políticas y debates que influyan en lo que es valorado como conservación, ir más allá de la certeza de las ciencias biológicas hacia los debates más contextuales de las ciencias sociales, comprometerse científicamente con paisajes dominados por humanos y abordar la pregunta de cómo puede contribuir la conservación al mejoramiento del sustento y de la calidad de vida de los humanos (Robinson, 2006).

Una pregunta importante en biología de la conservación es el grado en que número de categorías taxonómicas supraespecíficas puede servir como indicador indirecto (sustituto o subrogado) de la riqueza de especies. Al respecto, Villaseñor (2005) señala que las familias son un nivel taxonómico adecuado para ser empleado como subrogado y pueden ser una herramienta valiosa para localizar y diseñar sistemas representativos de las áreas protegidas para conservar la diversidad de plantas vasculares, especialmente en países megadiversos, donde los esfuerzos de conservación han sido obstaculizados por la carencia de inventarios completos y la insuficiencia de recursos (Villaseñor et al., 2005)

Los tiempos en los cuales se llevan a cabo decisiones de manejo frecuentemente excluyen análisis detallados para la planeación de la conservación. En éstas circunstancias, la generación de medidas alternativas deben permitir estudios minuciosos y factibles bajo un esquema de recursos y tiempo extensivos (Burgman et al., 2001). Así, las unidades ecorregionales son elementos clave para determinar las necesidades de conservación, ya que representan los diferentes ecosistemas de una región. En múltiples estudios realizados para determinar las ecorregiones más importantes desde el punto de vista de la biodiversidad y sus amenazas, México ha destacado a nivel global (Olson y Dinerstein, 2002).

En México, se han empleado métodos llamados de complementariedad de áreas, basados en fórmulas matemáticas que minimizan o maximizan ciertas condiciones, como la superficie, los costos,

la cantidad de especies entre otros atributos ambientales que serán empleados en el análisis (Torres-Miranda y Luna-Vega, 2006). La selección de las áreas importantes para la conservación biológica se determina por medio de un algoritmo que las selecciona iterativamente, con el objeto de lograr la representación de una o más poblaciones de todas las especies de una manera eficiente (Vane-Wright et al., 1991; Ceballos, 1999; Rodrigues et al., 1999, 2000a). Este método posee la característica de ser explícito y flexible y se basa en la eficiencia y la eficacia. Por medio de la eficiencia máxima se obtiene el número mínimo de sitios o la menor superficie para albergar y proteger a todas las especies, al menos una vez (Rodrigues et al., 1999). También se puede llegar a un conjunto de máxima representatividad, cuando se tienen áreas en una cantidad o superficie determinada y se busca que representen la máxima biodiversidad (Williams, 2001).

La aproximación desde el punto de vista de la eficacia selecciona la superficie mínima o número de sitios que representan a todas las especies, pero a diferencia y en adición al método de la eficiencia, cumple con objetivos o condiciones específicas para cada una de ellas. Un objetivo común es asegurar la persistencia de toda la biodiversidad posible para el futuro (Rodrigues et al., 1999; 2000a; Sánchez-Cordero et al., 2001; Williams, 2001). Estas dos aproximaciones priorizan dos aspectos diferentes: en el caso de la eficiencia, la mínima superficie, y el de la eficacia, la máxima permanencia de las especies en los sitios. Estas dos características están relacionadas negativamente, ya que para asegurar la conservación de especies a largo plazo (eficacia) generalmente se requieren de grandes superficies, varias poblaciones, etc., por lo que es imposible maximizar ambas características simultáneamente. La cuidadosa determinación de condiciones en el algoritmo puede producir resultados intermedios entre ambos métodos (Rodrigues et al., 2000a). Los algoritmos heurísticos usan un conjunto relativamente simple de reglas, algunos dan un resultado pobre, pero otros alcanzan un resultado muy cercano al óptimo ello depende del resultado de la búsqueda realizada por el algoritmo. Este tipo de búsqueda es la técnica más rápida disponible basada en la complementariedad. Los algoritmos pueden ser enriquecidos con procedimientos adicionales diseñados para mejorar su eficiencia (Williams, 2001). La complementariedad puede maximizar el valor representado en una selección de áreas, sin embargo, estas no necesariamente son las prioritarias.

En la biología de la conservación se pueden alcanzar objetivos importantes, pero se debe dejar atrás la idea de que un incremento en nuestro conocimiento científico, por sí mismo, siempre nos moverá hacia una conservación efectiva (Ehrenfeld, 2000). Los estudios sobre métodos y planes de conservación han tenido un incremento significativo, se han generado amplias bases de datos que han permitido la incorporación de conceptos que posibilitan el análisis sobre la biodiversidad regional para

reconocer áreas de mayor concentración de taxa denominadas como hotspots (áreas con concentración importante de riqueza y/o rareza).

Diversos estudios de conservación se realizan de manera general en todo el mundo, los resultados muestran que la mayoría de lo publicado en cuanto a conservación es de origen local, debido a que los inventarios de la biodiversidad son propuestos para la solución de problemas de cada país. En México, como en otros países megadiversos, donde los esfuerzos de conservación son obstaculizados por la carencia de inventarios completos y la insuficiencia de recursos (Villaseñor et al., 2005). Sin embargo, es importante hacer un mayor esfuerzo para reconocer las zonas de alta concentración biológica y así proponer planes adecuados de conservación.

La selección de áreas prioritarias de conservación es primordial en la planeación estratégica en países megadiversos como México, donde la tasa de deforestación y los cambios en el uso del suelo son considerables (Sánchez-Cordero et al., 2005). Las decisiones sobre cómo, cuándo y dónde deben sugerirse áreas de conservación, se basan generalmente sobre expectativas para el futuro. La planificación de la conservación biológica puede incorporar una diversidad de información cuantitativa y cualitativa en el proceso de toma de decisiones actuales (Peterson et al., 2003). Además, la participación de diversas personas en un proceso sistemático de recolección, discusión y análisis de métodos y estrategias para definir áreas de conservación da lugar a un conocimiento más amplio y compartido.

El presente trabajo se propone con el objetivo de definir una red de áreas de conservación biológica, mediante un análisis de complementariedad, considerando la riqueza florística y atributos abióticos que constituyen el EVT.

Método

Selección de una Red de Áreas de Conservación

Con el fin de definir una red de áreas de conservación (RAC) en el Eje Volcánico Transversal (EVT). Para ello se utilizó el método de complementariedad implementado en el software ConsNet (Ciarleglio et al., 2008, 2009).

Selección del Área y subrogados

Área. Para definir el área de estudio se eligió el polígono del Eje Volcánico Transversal de México (EVT), correspondiente a las regiones geomorfológicas propuesto por Conabio (1997), descrito en los capítulos 1 y 2 de este trabajo (Figura 1). El EVT se dividió en Unidades Geográficas Operativas (UGOs) tomando en consideración que, la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) menciona que

una buena estrategia de análisis de los patrones de distribución de las especies es mediante el uso de cuadros o celdas en que se divide a la región de estudio (UICN, 2001). El tamaño de la cuadrícula en que se dividió el EVT fue determinada haciendo una modificación a las recomendaciones de la UICN. Esta modificación consistió en subdividir el tamaño de las OGU's encontrado, para ajustarlo a los requerimientos de ConsNet.

Subrogados. Fueron seleccionados un conjunto de especies de plantas, las Áreas Naturales Protegidas, Regiones Terrestres Prioritarias, los tipos de vegetación y los dominios climáticos que se distribuyen en el EVT. Los criterios de selección de las especies fueron: (1) pertenecer a familias de plantas que se distribuyen en los tipos de vegetación que se registran en el EVT, (2) estar registradas en colecciones biológicas y/o bases de datos disponibles y (3) que sus localidades de colecta estén georreferenciadas. Con estos criterios fueron seleccionadas especies documentadas en las bases de datos incluidas en la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB), disponible en la página web de la Comisión Nacional sobre Uso de la Biodiversidad (Conabio). Con los límites del polígono de la provincia morfotectónica del EVT y con los datos de las especies (nombre científico y georreferencias), se estructuró una base de datos, la cual se organizó utilizando el programa Microsoft Access 2007.

Se obtuvieron los polígonos de las Áreas Naturales protegidas (ANP's) con el mapa generado por la Comisión Nacional de Áreas naturales Protegidas (CONANP). Además se identificaron áreas antropogénicas (los asentamientos humanos, plantaciones forestales, urbanos, agrícolas, pastizales) con la tercera serie de la capa de vegetación y uso de la tierra (INEGI 2005) y se definieron en ConsNet como las celdas para excluirse de la asignación de prioridades y el diseño de la red de áreas de conservación porque son actualmente inadecuadas para la supervivencia de la mayoría de las especies. Con este mismo mapa de INEGI se seleccionaron los polígonos que contienen cobertura de los tipos de vegetación que se encuentran en el EVT estos tipos de vegetación se clasificaron en cinco categorías (Suárez-Mota y Villaseñor, 2011). También se incluyeron las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's, CONABIO, 1997) y los 50 dominios climáticos que se encuentran en el EVT, (Suárez-Mota et al., 2012 en revisión). Finalmente con los subrogados definidos (especies de flora, ANP's, RTP's, tipos de vegetación y dominios climáticos) se estructuró una matriz de presencia-ausencia en la que las OGU's se acomodaron como filas versus los subrogados como columnas. Con esta matriz se crearon los escenarios de conservación al 5%, 10% y 25%, expresado como porcentaje de la representación total obtenida de la probabilidad de ocurrencia de los subrogados en las celdas en que se dividió el EVT.

Haciendo uso de algoritmos metaheurísticos, como los implementados en el software ConsNet (Ciarleglio *et al.* 2008, 2009), se asegura la representatividad de los objetos de conservación definidos

como sustitutos (subrogados) o indicadores de la biodiversidad (especies y ecosistemas) en ambientes donde aún existen hábitats naturales y con base en criterios de configuración espacial (área, forma y conectividad). Estos criterios espaciales son parte integral del proceso de planeación de ConsNet (Ciarleglio *et al.* 2008). Con el uso de ConsNet, el área de estudio se divide en celdas que contienen datos sobre la riqueza biológica incluyendo especies amenazadas, endémicas y migratorias; ambientales y de los ecosistemas a través de un algoritmo de inteligencia artificial (“búsqueda tabú”). A partir de ésta división se diseña y define una red de áreas de conservación con base en el conjunto de celdas que mejor se adapten a los escenarios de planeación (Margules y Sarkar 2007).

ConsNet es compatible con objetivos basados en una selección de dinámicas de búsqueda, que controla los agrupamientos de celdas posibles durante para la soluciones, estos objetivos resultantes representan los escenarios (RAC). Los organiza y estructura para solucionar los problemas espaciales (Ciarleglio *et al.* 2009). Mediante la probabilidad de la distribución de especies para cada celda en una cuadrícula geográfica, ConsNet hace una decisión de tipo binario (para seleccionar o no una celda en un plan de conservación) y ordena cada celda jerárquicamente, sobre la base de su valor de la biodiversidad. Con ello puede generar escenarios sobre seis algoritmos (Cuadro 1).

En el análisis definimos un escenario que redujo el número de celdas seleccionadas y maximiza la contigüidad de la RAC (llamados celdas min y forma un objetivo de manera intransitiva [ITS]). SE utilizaron los seis algoritmos descritos en el cuadro 1, tres porcentajes de conservación (5%, 10% y 25), del total de las representaciones (registros por celda) de cada uno de los subrogados empleados.

Cuadro 1. Algoritmos que implementados en ConsNet para estructurar objetivos (RAC) en una región determinada (EVT).

Algoritmo	Definición
MDS2	Selecciona las celdas que contienen las especies con menos representación y reduce el déficit en la búsqueda de los sustitutos (subrogados) más deficientes. (Ciarleglio <i>et al.</i> , 2008). En caso de tener un empate (celdas con igual número de sustitutos) se emplea la complementariedad.
MDS2 adyacente	En este algoritmo se repite lo mismo del MDS2 pero busca con prioridad la adyacencia de las celdas seleccionadas.
RF4	Utiliza como regla la elección de rareza (es decir, la presencia de atributos que son geográficamente restringidos, menos abundantes, o tienen especificidad de nicho) y complementariedad es decir, determina si un nuevo sitio maximiza la representación de sustitutos raros en un nuevo sitio (celda) que agrega a los demás sustitutos, representados en un conjunto de celdas previamente seleccionadas (Margules y Sarkar, 2007).
RF4 adyacencia	En este algoritmo se repite lo mismo del RF4 pero busca con prioridad la

Cuadro 1, continuación

Algoritmo	Definición
	adyacencia de las celdas seleccionadas.
ILV4	Elige y alterna las celdas que contienen a los sustitutos raros con celdas que contienen a los más deficientes. Este algoritmo crea soluciones que integra en conjunto a los sustitutos de algoritmos MDS y RF.
ILV4 adyacencia	En este algoritmo se repite lo mismo del anterior pero busca con prioridad la adyacencia de las celdas seleccionadas.

Se usaron los polígonos de las Áreas Naturales protegidas (ANP's) generados por la Comisión Nacional de Áreas naturales Protegidas (CONANP) y se incluyeron en el análisis de la asignación de prioridades de ConsNet. Además se identificaron áreas antropógenicas (los asentamientos humanos, plantaciones forestales, urbanos, agrícolas, pastizales) con la serie III de la capa de vegetación y uso de la tierra (INEGI, 2005) y fueron excluidas de los análisis en ConsNet en la asignación de prioridades y el diseño de la RAC porque son actualmente inadecuadas para la supervivencia de la mayoría de las especies. Con este mismo archivo de la serie III (INEGI, 2005) se seleccionaron los distintos tipos de vegetación que se encuentran en el EVT y se clasificaron en cinco categorías (Suárez-Mota y Villaseñor, 2011). Los escenarios de conservación fueron evaluados a través de las UGO's (celdas). También se incluyeron las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's, CONABIO, 1997) y los 50 dominios climáticos que se encuentran en el EVT, definidos en el capítulo 1 (Suárez-Mota et al., 2011 en prep.). Finalmente con los subrogados definidos (especies de flora, ANP's, RTP's, tipos de vegetación y dominios climáticos) se estructuró una matriz de presencia-ausencia en la que las OGU's se acomodaron como filas versus los atributos (subrogados) como columnas. Con esta matriz se crearon nueve escenarios de conservación al 5%, 10% y 25%, de la representación total obtenida de la ocurrencia de los subrogados en las celdas en que se dividió el EVT.

Los resultados de los nueve escenarios de conservación resueltos por ConsNet se transformaron en polígonos, y se calculó el área y perímetro de cada uno con el sistema de información geográfica (SIG) ArcView versión 3.2 (ESRI 2002).

Resultados

La distribución de los subrogados en las celdas en que se dividió el EVT es muy variable. La OGU 1596 cuenta con 858 subrogados (el mayor número de atributos reconocidos), las UGO's (323, 542 y 1463) solo cuentan con dos. En promedio las OGU's contienen 37.4 de los subrogados e incluso, algunas UGO's no contienen ninguno de los atributos.

La distribución de las especies en las 1242 UGO's que tienen registros no es uniforme. La riqueza de especies por UGO varió de 855 (20.8% del total de especies) en la UGO 1596 a una especie

(0.02%) en 137 UGO's. En promedio se tienen 32.7 especies por UGO (Cuadro 4). El número de tipos de vegetación representados en cada UGO también difirió, de cuatro (UGO 2170) a cero (en 71 UGO's). En promedio se tienen 1.5 tipos de vegetación por UGO. En el caso de los dominios climáticos estos van de 8 en la OGU 1393 a un dominio, en 191 UGO's. En promedio se registraron 2.8 dominios por cada una de las OGU's (cuadro 4). En general, las UGO's con más tipos de vegetación son de las menos diversas, sin embargo, la UGO (2170) que registra el mayor número de tipos de vegetación (4), coincide con igual número de dominios, 2 ANP's, una RTP y alberga 81 especies. Sin embargo, es notable que la UGO 1596, ubicada en el primer lugar por su riqueza total de especies, tenga solamente dos de tipos de vegetación, un dominio climático y no se encuentre dentro de los límites de alguna de las ANP's o RTP's registradas en el EVT.

En el cuadro dos se muestran los resultados presentados de forma comparativa entre los nueve escenarios de conservación generados. El algoritmo MDS2 dio las mejores soluciones con menor cantidad de celdas (311) y el valor más bajo de forma en los tres porcentajes empleados (Cuadro 2). Los algoritmos ILV4 y RF4 resultaron muy similares entre sus valores (cuadro 2). En este ejercicio el escenario con menor número de celdas (311) se obtuvo con los algoritmos MDS2 y RF4 empleando el 5% de la representación de los subrogados mientras que con el algoritmo ILV4 utilizando el 25% de representaciones se obtuvo el escenario más amplio con un total de 477 celdas. El total de las 1172 celdas en donde hay registros de especies cubren un área de 104433.12 Km² (64% del EVT). Sin embargo, en cada búsqueda al 5% y 10% la diferencia entre el uso de celdas es poco significativo (311-320). El área y celdas que cada búsqueda ocupan se muestran en la figura uno y el cuadro 2.

Cuadro 2. Datos obtenidos en el análisis de ConsNet para nueve escenarios, excluyendo las celdas correspondientes a las Áreas Naturales Protegidas y RTP's que se ubican en el EVT. En la búsqueda a diferentes porcentajes de los subrogados incluidos.

Búsqueda	5%			10.0%			25.0%		
	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4
Total de Celdas	313	311	311	323	321	320	477	472	472
Área	27890.9	27713.2	27712.5	28782.5	28605.4	28516.1	42508.7	42061.5	42060.1
Perímetro	7843.6	7635.3	7727.9	7995.8	7938.8	7936.5	9962.1	9741.1	10152.3
nClusters	131	130	130	133	133	133	118	120	137
total Representaciones	19760	19753	19737	20328	20078	20011	23306	23347	23408

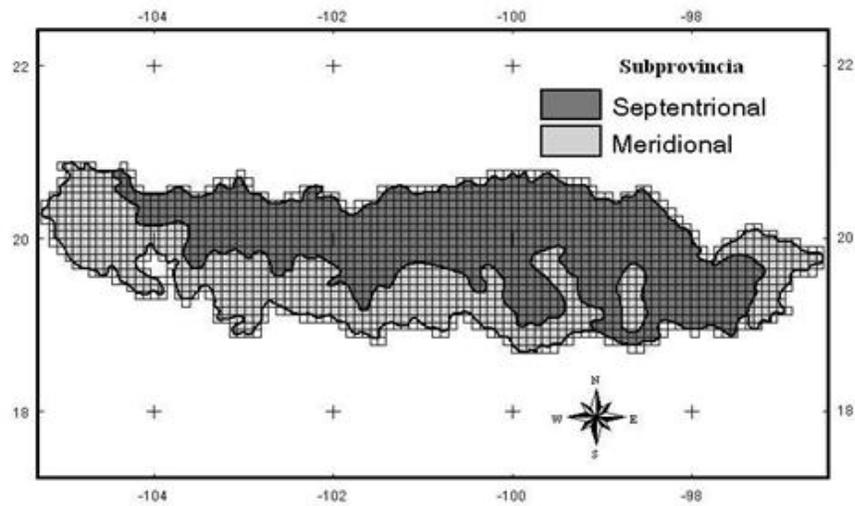
Al buscar escenarios de conservación incluyendo las celdas en donde se distribuyen la Áreas Naturales Protegidas y las Regiones Terrestres Prioritarias, se obtuvieron resultados muy similares a los anteriores. En este ejercicio el programa ocupó un total de 1664 celdas que en total cubren un área de

148295.7 km² (90.9% del EVT). El área y celdas que cada búsqueda ocupan se muestran en la figura dos y en el cuadro 3.

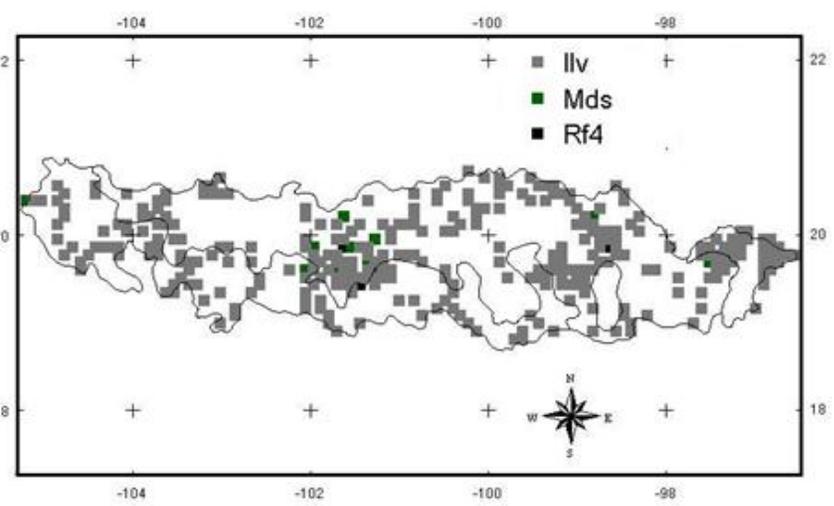
La sobreposición de mapas de las Redes de Áreas de Conservación obtenidas con los diferentes algoritmos y con los diferentes porcentajes empleados, permitió definir una posible extensión de la superficie de las ANP's y RTP's registradas en el EVT (Figura 4). Este último mapa es la base para proponer áreas prioritarias de conservación biológica en el EVT considerando un total de 4209 subrogados representados en 295 de las 1242 celdas donde se registraron.

Cuadro 3. Datos obtenidos en el análisis de ConsNet para nueve escenarios de conservación de la biodiversidad, incluyendo las celdas correspondientes a las Áreas Naturales Protegidas que han sido decretadas en el EVT. En la búsqueda a diferentes porcentajes de los subrogados incluidos.

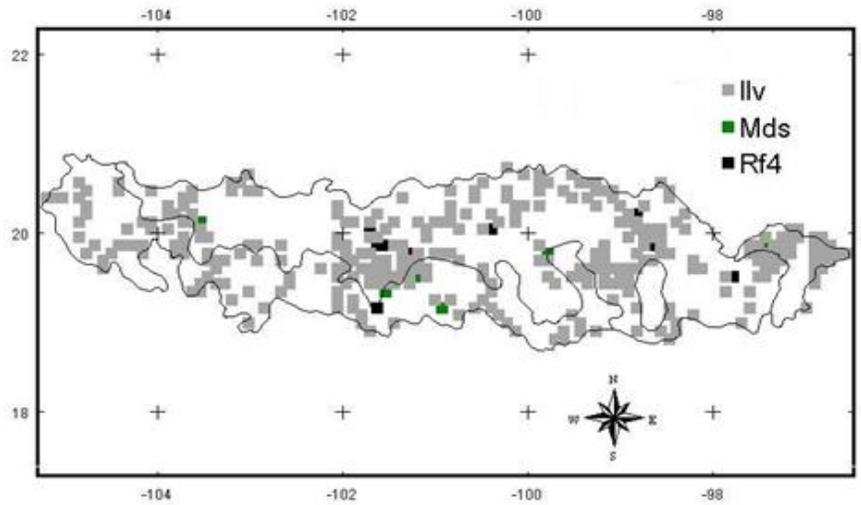
Búsqueda	5%			10.0%			25.0%		
	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4
Total de Celdas	311	308	305	323	318	312	424	415	416
Área	27727.7	27457.9	27190.8	28796.9	28351.8	27817.9	37796.9	36994.3	37084
Perímetro	7707.8	7749.8	7692.6	8090.1	8029.6	7935.7	9885.1	9785.4	9117.3
nClusters	124	128	126	133	135	132	138	141	122
total Representaciones	27579	27500	27021	27860	27678	26971	30308	29980	29450



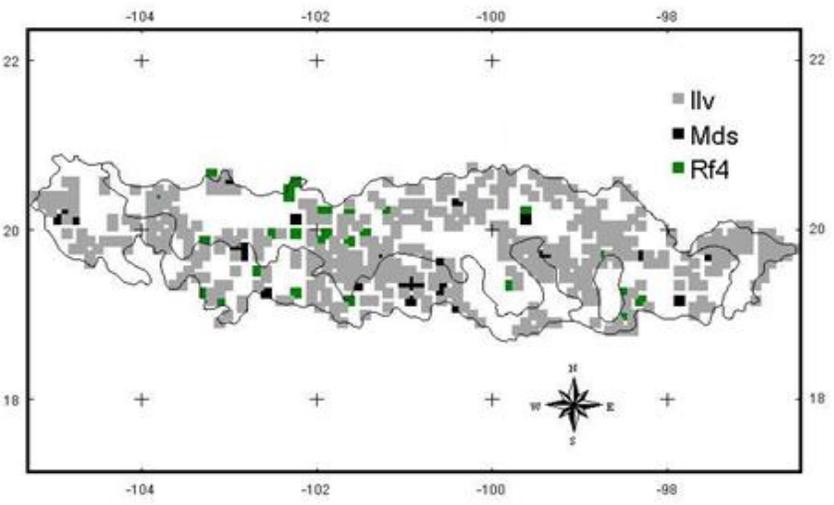
A



B

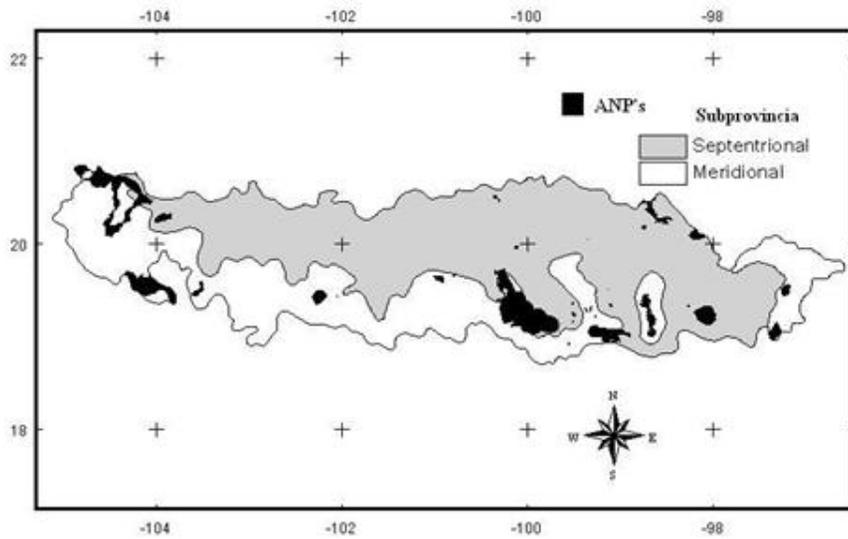


C

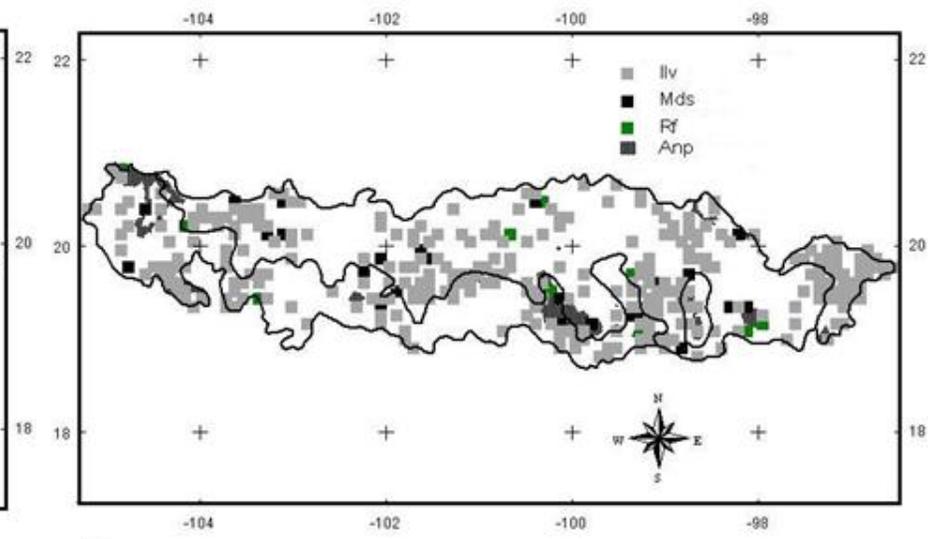


D

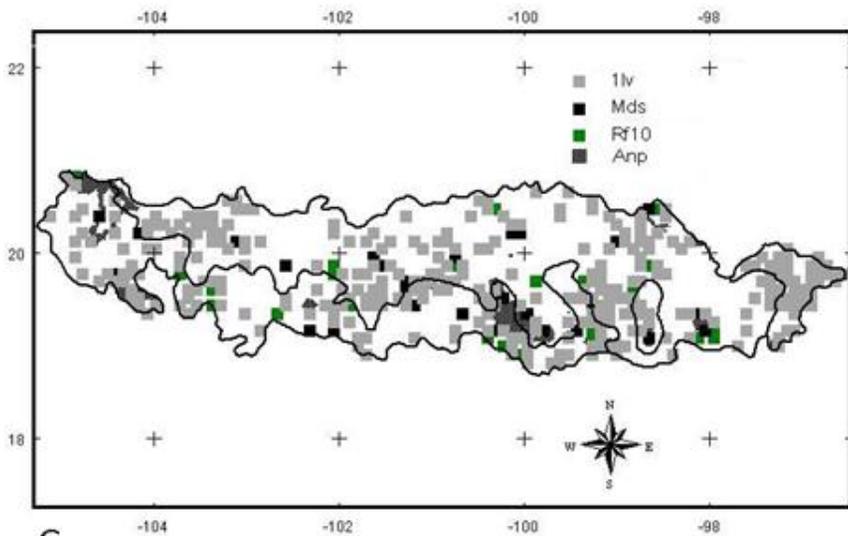
Figura 2. Red de Áreas de Conservación definidas al excluir las ANP's y RTP's del EVT. A: EVT dividido en celdas de 10 x 10 km, B, Red Áreas de Conservación, obtenidas con el 5% de los subrogados; C con el 10% y D con el 25%. Las abreviaciones (Ilv, Mds y Rf), se definen en el cuadro 1.



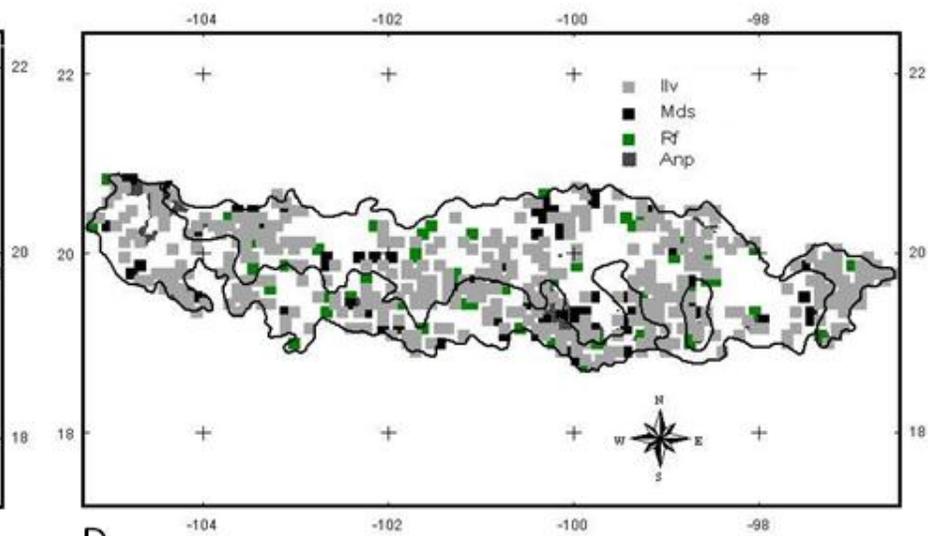
A



B



C



D

Figura 3. Red de Áreas de Conservación definidas al incluir las ANP's y RTP's del EVT. A: EVT dividido en celdas de 10 x 10 km, B, Red Áreas de Conservación, obtenidas con el 5% de los subdelegados; C con el 10% y D con el 25%. Las abreviaciones (Ilv, Mds y Rf), se definen en el cuadro 1

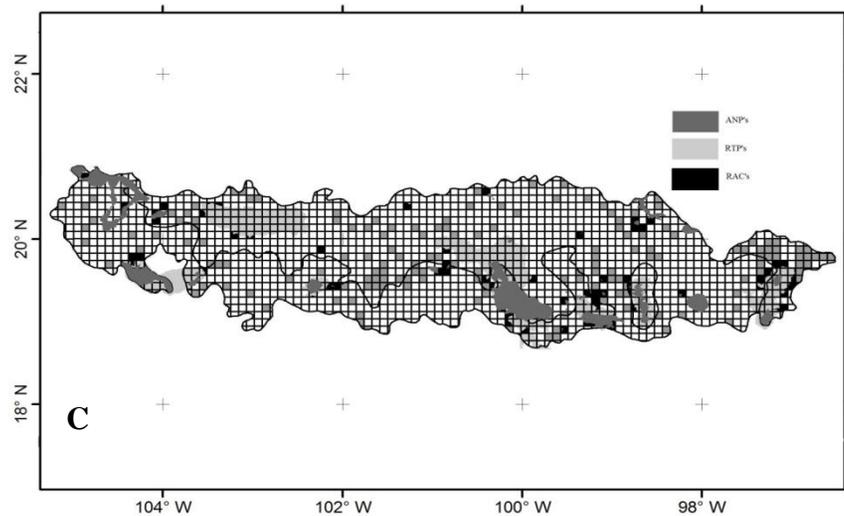
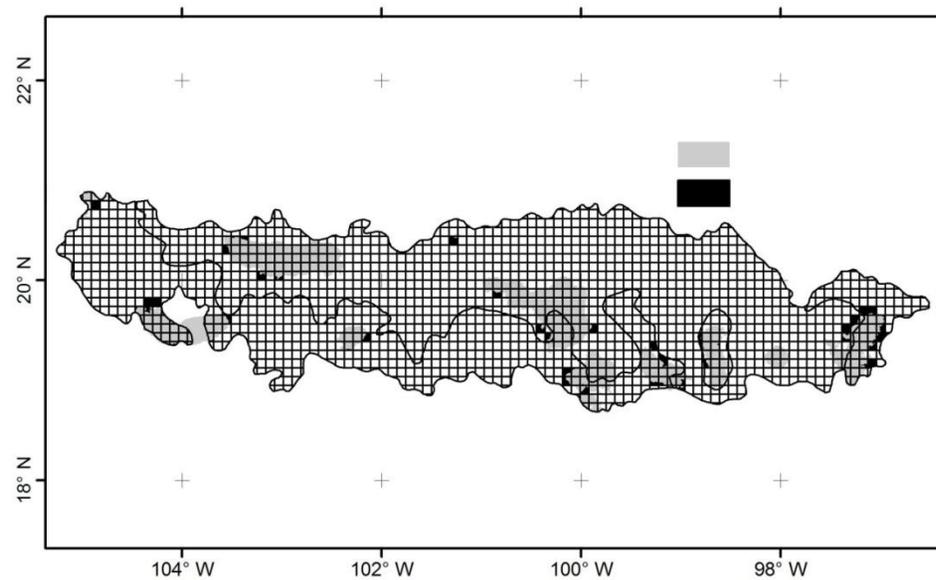
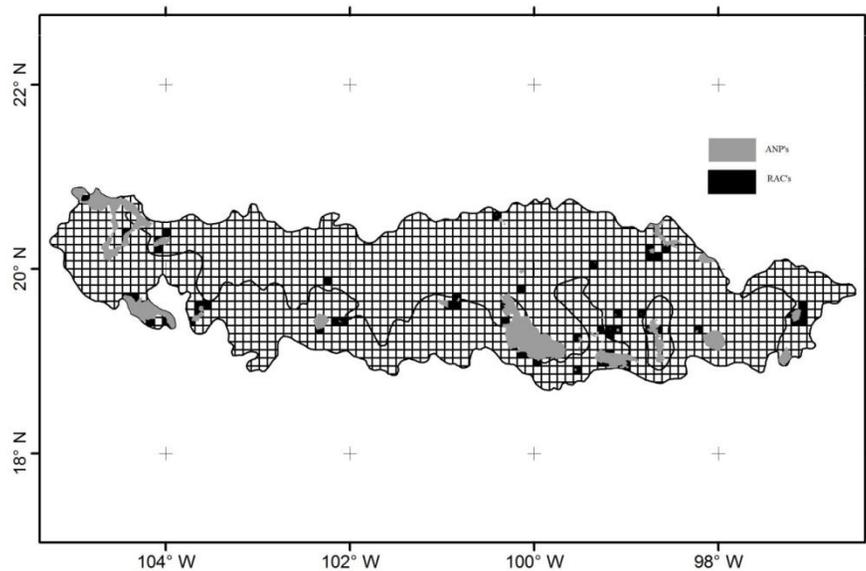


Figura 4. A) RAC's que posibilitan la extensión del área de las ANP's ; B) RAC's que posibilitan la extensión del área de las RTP's; C) Área total de las RAC's, ANP's y RTP's del EVT.

Cuadro 4. Datos estadísticos encontrados con la presencia de subrogados en las UGO's. ANP's= Áreas Naturales Protegidas; RTP's= Regiones Terrestres Prioritarias.

Subrogados	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Estándar	Varianza
Especies	1	855	32.7	60.9	3703.4
ANP's	0	3	0.2	0.5	0.2
RTP's	0	2	0.3	0.4	0.2
Tipos de Vegetación	0	4	1.5	0.6	0.4
Dominios ambientales	1	8	2.8	1.3	1.7

Discusión

Los programas para la selección de áreas prioritarias para la conservación incorporan el concepto de complementariedad, utilizando una gran variedad de algoritmos matemáticos, que en esencia son similares y siguen una serie de pasos iterativos (Ochoa-Ochoa et al., *en prensa*). En cada paso, todas las áreas elegibles se comparan en términos cualitativos, es decir, se busca saber que tan bien complementan aquellas áreas seleccionadas previamente (Pressey *et al.*, 1993; Williams, 1998; Balmford, 2002). La selección complementaria de áreas a partir de algoritmos genera un conjunto de sitios que ofrecen flexibilidad a los planeadores, en la elección de áreas a conservar (Urbina-Cardona y Flores-Villela, 2010). En esencia todos los algoritmos de selección deben cumplir con ciertos supuestos para tener un mejor desempeño (Ciarleglio *et al.*, 2008, 2009). Estos supuestos son la flexibilidad (eficacia y eficiencia), la irremplazabilidad y la complementariedad.

Dado que el 62.2% de la vegetación original de la región de estudio ha sido modificada por las actividades antropogénicas y que la tasa de deforestación anual ha aumentado significativamente, se ha vuelto cada vez más difícil diseñar zonas de conservación en entornos con vegetación nativa. Los procesos biológicos difieren ampliamente a diferentes escalas y las prioridades de selección de escenarios para conservación también pueden variar según la escala que se emplee en una misma región y el mismo grupo de especies que en ella se encuentren (Margules & Sarkar 2007). Debido a la necesidad de preservar una parte significativa de la biodiversidad en áreas naturales, se necesitan más recursos humanos y financieros para lograr esta meta.

Los resultados obtenidos en este estudio, sobre todo aquellos relacionados con la búsqueda del menor número de unidades en donde pudiera quedar representada la totalidad de los atributos (subrogados) empleados, son coincidentes con la solución del mejor juego de áreas prioritarias definido en este estudio y compuesto por 305 celdas. Uno de estos estudios es el de las áreas seleccionadas para conservar la biodiversidad mexicana a nivel nacional (Koleff et al., 2009), existe una coincidencia del 70% de las áreas seleccionadas (cuadro 4). Sin embargo, los resultados de otros estudios regionales sobre mamíferos en el EVT (Sánchez-Cordero et al., 2005; Escalante et al., 2007), muestran una coincidencia muy baja con este estudio. Estas diferencias pueden ser parcialmente explicadas por la diferencia en la escala utilizada, pero principalmente se debe a que esos estudios priorizan las áreas de conservación, independientemente del tipo de terreno, que simplifica el grave problema de la deforestación que coadyuva a la eliminación de las últimas áreas de vegetación nativa que apoyan a las poblaciones de especies con rangos de distribución circunscritos (Flores-Villela et al., 2010).

Para las regiones con prioridad de este estudio (cuadro 4), las expectativas de protección no son muy prometedoras, porque la mayoría de ellas están fuera de los límites actuales de las ANP's. Una comparación con análisis anteriores (capítulo 2; Villaseñor et al., 2006) muestra que los centros de endemismo coinciden con la Red de Áreas de Conservación aquí definida sólo en un 38.4%. Esta discrepancia podría ser debido a la influencia y la importancia del tamaño de la gama de especies que no son endémicas, por lo que no necesariamente ocupan áreas de alto endemismo. La mayoría de las áreas seleccionadas en nuestro estudio se encuentran en las regiones montañosas meridionales del EVT.

El establecimiento de áreas donde se puede conservar la biodiversidad debe ser un objetivo de política para las instancias de gobierno responsables de la conservación y manejo de recursos naturales, intergubernamental y las organizaciones no gubernamentales (Margules y Sarkar 2007). La conservación a nivel local debe reconocerse como un componente esencial en la solución de la crisis de la biodiversidad (Ochoa-Ochoa et al., 2009b). Nuestro enfoque de área-mínima para dar prioridad a las zonas de conservación se basa en el uso de la rareza y complementariedad para obtener una solución cuantitativa a la representación de especies de la flora, tipos de vegetación, dominios climáticos, ANP's y RTP's, se establecen escenarios y tiene en cuenta los patrones de uso de la tierra. Este análisis podría incluirse en la selección de áreas para fortalecer la práctica de la conservación y planificación en el EVT y también otras partes del país. Nuestros resultados

muestran que las áreas necesarias para preservar la biodiversidad mexicana no deben utilizarse para identificar áreas prioritarias para otros grupos de la biota. Un grupo de especies puede ser un buen sustituto para la biodiversidad en una región, pero no hay ninguna garantía de que lo será en otros lugares, y la distribución de especies entre taxones superiores puede cambiar de un lugar a otro (Gaston, 1996). Para establecer escenarios reales de la representación de cada especie y garantizar la persistencia de la biodiversidad en las áreas seleccionadas, se necesita trabajar más para cuantificar los tamaños de población viable, diversidad filogenética, rangos de hogar de especies y estructura de la población; Así como definir criterios de diseño: tamaño, forma, su tamaño compacto, conectividad, dispersión, ancho de búferes, espaciado, replicación y alineación (Margules y Sarkar 2007). Se requiere llenar las lagunas de conocimiento, mejorar datos y modelos de la distribución de la biodiversidad para predecir las características biológicas y socioeconómicas (por ejemplo, la pobreza, los desastres naturales y distancia a carreteras) de la región necesitan ser analizadas. A pesar de que los conjuntos de datos actuales distan mucho de ser ideales, se deben utilizar para mitigar la pérdida de hábitat natural ante la política inadecuada y decisiones de diseño que se están haciendo cada día (Margules y Sarkar 2007).

Es importante señalar que en la revisión de metodologías empleadas en los últimos 25 años para la conservación de la biodiversidad, se encontró que desde hace 10 años trabajos encaminados a la distribución y conservación se realizan con estudios de panbiogeografía, cladística, análisis parsimoniosos de endemismos y análisis multivariados. Más recientemente durante los últimos 5 años se han implementado los modelos de distribución potencial para especies específicas con diferentes algoritmos (Bioclim, MaxEnt, etc.). Actualmente se realizan análisis de complementariedad (ConsNet). Considero que el conjunto de las distribuciones potenciales de especies que se distribuyen en el EVT será un elemento importante para enriquecer los resultados aquí mostrados y que seguramente serán buenos argumentos para quienes toman decisiones en el decreto de Áreas para la conservación biológica.

El análisis de este trabajo es un ejemplo para mostrar que las ANP's presentes en el EVT deben incrementar su área al menos con las celdas contiguas a ellas y definidas en este ejercicio (figura 4). Una de las ANP (Mariposa Monarca) no se incluye dentro de las RAC's, siendo una ANP propuesta seguramente por la importancia de conservar una especie carismática como es la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). Sin embargo, La Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, que abarca el conjunto de la Sierra Chincua, es un "corredor" que une el nodo 6 y el nodo

7 de los reconocidos por Torres y Luna (2006) quienes lo reconocen como un sitio prioritario de conservación.

Alternativamente se han empleado métodos iterativos, que se basan en el principio de complementariedad y para ello se utiliza un algoritmo, con el que se intenta conservar el mayor número de especies en el menor número de sitios (UGO's). En México, se han realizado trabajos con este método (Villaseñor *et al.*, 1998, 2003; Lira *et al.*, 2002). Dentro de estos métodos algunos autores le dan mayor importancia a las especies endémicas, debido a que las que se distribuyen ampliamente pueden ser simultáneamente protegidas (Villaseñor *et al.*, 1998, 2003; Lira *et al.*, 2002). Sin embargo, se ha demostrado que las áreas con alta diversidad y endemismo como lo es el EVT no siempre son coincidentes, por lo que es necesario desarrollar diferentes esfuerzos de la conservación de sus áreas (Gentry, 1992; Arita *et al.*, 1997; Ceballos *et al.*, 1998).

Trabajos de complementariedad, como el de Torres-Miranda y Luna-Vega (2006), a partir de la definición de 15 nodos, proponen áreas de conservación en el EVT considerando ciertos corredores biológicos previamente propuestos por Munguía (2004) y Sánchez-Cordero *et al.* (2005). Los nodos reconocidos por Torres y Luna (2006), coinciden con la Red de Áreas de Conservación encontradas en este estudio. Aunque los algoritmos de complementariedad empleados en ambos análisis son diferentes, la correspondencia de sitios propuestos para conservar la riqueza biológica que se encuentra en EVT, son bastante congruentes. Por lo que es importante considerar la coincidencia que tienen los trabajos para que en conjunto se puedan realizar análisis GAP con el objetivo de establecer sitios prioritarios de conservación de la biodiversidad en esta importante provincia de México.

Literatura Citada

Arita, H., F. Figueroa, A. Frisch, P. Rodríguez and K. Santos-Del Prado. 1997. Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology*. **11**: 92-100.

Balmford, A., A.J. E. Lyon, y R.M. Lang. 2000. Testing the higher taxon approach to conservation planning in a megadiverse group: the macrofungi. *Biological Conservation* **93**: 209–217.

Burgman, M. A., H. P. Possingham, A. J. J. Lynch, D. A. Keith, M. A. Mc-Carthy, S. D. Hopper, W. L. Drury, J. A. Passioura, y R. J. Devries. 2001. A method for setting the size of plant conservation target areas. *Conservation Biology* **15**:603–616.

Ceballos, G. 1999. Áreas prioritarias para la conservación de los mamíferos de México. *Biodiversitas*. **27**: 1-8.

Ceballos, G., P. Rodríguez, and R. A. Medellín. 1998. Assessing conservation priorities in megadiverse Mexico: mammalian diversity, endemism, and endangerment. *Ecological Applications*. 8:8–17.

Ciarleglio, M., J.W. Barnes, S. Sarkar. 2009. ConsNet: New software for the selection of CANs with spatial and multi-criteria analyses. *Ecography* **32**:205–209

Ciarleglio, M, Sarkar S, Barnes J.W. 2008. ConsNet manual, V.1.10. University of Texas at Austin, biodiversity and biocultural. Conservation Laboratory, Austin, Texas.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), 1997. Provincias biogeográficas de México. Escala 1:4 000 000. México.

Ehrenfeld, D. 2000. War and peace and conservation biology. *Conservation Biology* **14**:105–112.

Escalante, T., Rodríguez G., Gámez N., León-Paniagua L., Barrera O. y Sánchez-Cordero V. 2007. Biogeografía y conservación de los mamíferos. En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. pp. 485-502. UNAM, México.

ESRI (Environmental Scientific Research Institute) 2000. ArcView 3.2. ESRI. Redlands. California. U.S.A.

Gaston, K. J. 1996. *Biodiversity: a biology of numbers and difference*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.

Gentry, A.H. 1992. Tropical forest biodiversity: distributional patterns and their conservational significance. *Oikos*. **63**:19-28.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) 2005. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000, Serie3 (continuo nacional). Instituto Nacional de Geografía y Estadística, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, México.

Kerr, J.T. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conservation Biology* **11**: 1094-1100

Koleff, P. 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. En: R. Dirzo, R. Gonzalez, and I. J. March, editores. *Capital Natural de México*. pp. 651–718. CONABIO, México, D.F.

- Lira, R., J.L. Villaseñor y E. Ortiz. 2002. A proposal for the conservation of the family cucurbitaceae in México. *Biodiversity and Conservation* **11**: 1699-1720.
- Margules, C.R., R.L. Pressey y P.H. Williams. 2002. Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *Journal of Bioscience*. **27** (4):309–326
- Margules, C.R, S. Sarkar. 2007. *Systematic conservation planning*. Cambridge University. Press, Cambridge
- Munguía, M. 2004. Representatividad mastofaunística en áreas naturales protegidas y regiones terrestres prioritarias en el Eje Neovolcánico: un modelo de conservación. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ochoa-Ochoa L., J.N. Urbina-Cardona, L.B. Vázquez, O. Flores-Villela y J. Bezaury-Creel. 2009. The effects of governmental protected areas and social initiatives for land protection on the conservation of mexican amphibians. *Plos One*. **4** (9): e6878.
- Olson, D.M. y E. Dinerstein. 2002. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. **89**:199-224.
- Peterson, A.T. 2003. Predicting the geography of species invasions via ecological niche modeling. *Quarterly Review of Biology*. **78**: 419-433.
- Prendergast J.R., R.M. Quinn, J.A. Lawton, B.C. Eversham y D. Gibbons. 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature*. **365**: 335-337.
- Pressey R.L., C.J. Humphries, C.R. Margules, R.I. Vane-Wright y P.H. Williams. 1993. Beyond opportunism: key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology and Evolution* **8**:124-128.
- Robinson G.J. 2006. Conservation biology and real-world. *Conservation Biology*. **20** (3): 658-669.
- Rodrigues, A.S.L. 1999. The Performance of existing networks of conservation areas in representing biodiversity. *Proceedings Royal Society Lond. B* **266**: 1453–1460.
- Rodrigues, A.S.L., R.G. Gregory y K.J. Gaston. 2000. Robustness of reserve selection procedures under temporal species turnover. *Proceedings Royal Society Lond. B* **267**: 49–55.
- Sánchez-Cordero, V., A.T. Peterson y P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández H.M., García A.N., Álvarez F, Ulloa M. (Comps.). *Enfoques Contemporáneos para el Estudio de la Biodiversidad*. pp. 359-380. Ediciones Científicas Universitarias. México, D.F.

Sánchez-Cordero, V., V. Cirelli, M. Murguía, S. Sarkar. 2005. Place prioritization for biodiversity representation using species ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics*. **2**:11-23.

Suárez-Mota, M.E. y J.L. Villaseñor. 2011. Las Compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **88**: 1-12.

Torres-Miranda, A. y Luna-Vega I. 2007. Hacia una síntesis panbiogeográfica. En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. pp. 503-514. UNAM, México.

UICN. 2001. Categorías y criterios de la lista roja de la UICN. Versión 3.1. Comisión de supervivencia de especies de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.

Urbina-Cardona, J.N. y O. Flores-Villela. 2010. Ecological-niche modeling and prioritization of conservation-area networks for mexican herpetofauna. *Conservation Biology* **24** (4): 915-1168.

Vane-Wright, R.I., C.J. Humphries y P.W. Williams. 1991. What to protect? Systematics and the agony of choice. *Biology Conservation*. **55**: 235–254.

Villaseñor, J.L., G. Ibarra y D. Ocaña. 1998. Strategies for the conservation of Asteraceae in Mexico. *Conservation Biology*. **12**: 1066-1075.

Villaseñor, J.L. 2003. Diversidad y Distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*. **28**:160-167.

Villaseñor, J.L., C. Delgadillo y E. Ortiz. 2006. Biodiversity hotspots from a multigroup perspective: Mosses and Senecios in the transmexican volcanic belt. *Biodiversity and Conservation*. **15**:4045–4058

Villaseñor, J.L., G. Ibarra-Manríquez, J.A. Meave y E. Ortiz. 2005. Higher taxon surrogates of plant biodiversity in a megadiverse country. *Conservation Biology* **19**(1): 232-238

Williams, P. (2001). Complementarity. In: *encyclopedia of biodiversity* (ed. Levin, S.A.). Academic Press, San Diego, CA. 813–829 pp.

Williams, P. H. 1998. Key sites for conservation: area-selection methods for biodiversity. In: Mace, G. M., Balmford, A. and Ginsberg, J. R. (eds). *Conservation in a Changing World: Integrating Processes Into Priorities for Action*. pp. 221–249 Cambridge University Press.



Sociedad Botánica de México, A.C.

México, D.F. a 16 de agosto de 2012

M. en C. Mario E. Suárez Mota
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Universidad Nacional Autónoma de México

REF: MS1223

Estimado M. en C. Suárez:

Por este conducto tengo el agrado de comunicarle que la versión corregida de su trabajo, con el título modificado: "Una regionalización del Eje Volcánico Transversal de México con base en su riqueza florística", (autores: Mario E. Suárez-Mota, Oswaldo Téllez-Valdés, Rafael Lira-Saade y José Luis Villaseñor), ha sido aceptado y será incluido como artículo regular del *Botanical Sciences*. A partir de este momento me mantendré en contacto constante con los autores con el fin de resolver detalles técnicos y aclarar las dudas particulares que surjan durante el proceso editorial de su manuscrito. Posteriormente le serán enviadas las galeras para su revisión, las cuales deberán ser devueltas de inmediato.

Aprovecho la oportunidad para recordarle que, debido a la insuficiencia de recursos para la publicación de la revista, es un requisito ineludible cubrir, previamente a la publicación de cualquier artículo, el pago por derechos de página, cuyo costo es de \$250.00 por página impresa. Los autores con membresía vigente en la Sociedad Botánica de México (en este caso, 2012-2013) tienen derecho a un descuento equivalente a cinco páginas impresas.

Sin otro particular, le envío una calurosa felicitación por su trabajo y un saludo muy cordial.

Atentamente



Dra. Teresa Ferrazas Salgado
Editora, *Botanical Sciences*

Departamento de Botánica, Instituto de Biología,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Copilco, Coyoacán
A.P. 70-233 México, Distrito Federal. C.P. 04510
Tel(s). (01) 562-29116, FAX (01) 5550-1760
Correo electrónico: bolsocbotmex@gmail.com

1 **Una regionalización del Eje Volcánico Transversal de México con base en su riqueza**
2 **florística**

3 **A regionalization of the Mexican Transversal Volcanic Belt based on its floristic richness**

4 **Mario E. Suárez-Mota*, Oswaldo Téllez-Valdés*, Rafael Lira-Saade* y José Luis**
5 **Villaseñor****

6 *Facultad de Estudios Superiores Iztacala, U. N. A. M.

7 Unidad de Biotecnología y Prototipos

8 Avenida de los Barrios 1; Los Reyes Iztacala

9 C.P. 54090 Tlalnepantla, estado de México

10
11 ** Instituto de Biología, U. N. A. M.

12 Departamento de Botánica

13 Apartado Postal 70-367

14 04510 México, D. F.

15
16 **Resumen:** Se propone una regionalización de la provincia morfotectónica del Eje Volcánico
17 Transversal basada en la distribución geográfica de 4,434 especies de plantas vasculares,
18 pertenecientes a 999 géneros y 47 familias. Mediante la clasificación de una matriz de datos
19 estructurada, con la distribución de los registros de las especies sobre una rejilla de celdas de 30'
20 de latitud y longitud (aproximadamente 2,500 km²) se calcularon las similitudes florísticas entre
21 las celdas utilizando el coeficiente de similitud de Sorensen-Dice. A partir de los agrupamientos
22 de celdas mediante el método de enlace completo se definieron cuatro unidades florísticas
23 (grupos de celdas) dentro del Eje Volcánico Transversal. Un par de estas unidades no son
24 continuas, pues muestran disyunciones entre las otras unidades, debido a accidentes orográficos
25 que las separan. Igualmente, las unidades difieren en tamaño y composición florística y ocupan
26 espacios geográficos particulares del Eje Volcánico Transversal, en función de los parámetros
27 abióticos que las caracterizan.

28
29 **Palabras clave:** distribución geográfica, elementos florísticos, unidades florísticas.

30
31 **Abstract:** We propose the regionalization of the Transmexican Volcanic Belt morphotectonic
32 province, based on the distribution of 4,434 of plant species belonging to 999 genera and 47
33 families. Regionalization was done using a data matrix with species recorded in grid-cells of 30'
34 latitude and longitude (about 2,500 km²) all along the Transmexican Volcanic Belt
35 morphotectonic province. Based on clusters obtained with the complete linkage method, cells in
36 the Transmexican Volcanic Belt were grouped in four floristic units; a couple of them show
37 disjunct distribution due mostly to the orographic accidents that separate them. Likewise, the
38 units differ in size and floristic composition and they occupy particular geographic positions
39 inside the Transmexican Volcanic Belt, as response to the abiotic parameters that characterize
40 them.

41 **Key words:** geographical distribution, floristic elements, floristic units.

42 La distribución de la biodiversidad en el planeta es discontinua. Algunos países donde se
43 concentran importantes cantidades de especies se han identificado como megadiversos
44 (Mittermeier, 1988; Akeroyd y Synge, 1992) y México está considerado entre estos países por su
45 alta diversidad biológica (Rzedowski, 1978; Mittermeier, 1988; Villaseñor, 2003). El territorio
46 mexicano ha funcionado como centro de evolución de linajes, debido a su gran diversidad
47 climática, fisiográfica, geológica y edáfica. Esto se ve reflejado en condiciones que permiten
48 observar una alta diversidad alfa, que a su vez favorece la notable diversidad beta (Rzedowski,
49 1991a) y gama encontradas en el país.

50 En México se encuentra una diversidad vegetal excepcional, en la que resalta la combinación
51 de elementos boreales y meridionales, que han propiciado el origen de la riqueza florística que se
52 distribuye en el país (Rzedowski, 1991a). Los principales factores que favorecen la riqueza
53 florística de México son la variedad de climas y las condiciones fisiográficas. Además, su
54 situación geográfica entre las dos regiones continentales boreal y meridional ha sido escenario de
55 migraciones de plantas que constituyen una zona de influencia mixta de los elementos florísticos
56 neotropical y holártico (Rzedowski, 1978). Existen clasificaciones biogeográficas que han
57 dividido esta diversidad vegetal en diferentes regiones o provincias; por ejemplo, Rzedowski
58 (1978) divide al país en 17 provincias florísticas agrupadas en cuatro regiones, una de las cuales
59 (Región Mesoamericana de Montaña) incluye al Eje Volcánico Transversal (en adelante EVT),
60 zona que resalta por una flora constituida por alrededor de 5,139 especies distribuidas
61 principalmente en los bosques templados que lo constituyen (Villaseñor y Ortiz, 2007).

62 Cualquier flora es la representación de los grupos de plantas que se encuentran en un área
63 determinada (McLaughlin, 1994). Esta área puede ser referida a distintas escalas, como local,
64 regional o nacional. El uso de clasificaciones realizadas a partir de agrupamientos formados por
65 la distribución de la diversidad florística ha permitido diferenciar las diversas floras que se
66 encuentran en México y a su vez agruparlas en provincias florísticas (Rzedowski y Reyna, 1990).

67 Algunos autores, como Rzedowski (1973, 1978), Morafka *et al.* (1992), Arriaga *et al.* (1997),
68 Contreras-Medina y Eliosa-León (2001) o Morrone (2001, 2005, 2006) han propuesto esquemas
69 de regionalización del país en diferentes provincias y subprovincias. Entre ellas resalta el EVT
70 como una provincia, delimitada con base en su composición florística y faunística analizada
71 desde distintas perspectivas metodológicas como los análisis de parsimonia de endemismos, la
72 cladística, la fenética y la panbiogeografía.

73 El conocimiento sobre los patrones de distribución geográfica de las especies se acumula
74 continuamente. Esto permite rehacer análisis de los límites geográficos y sus relaciones bióticas,
75 que permiten proponer nuevas propuestas de regionalización. La definición y delimitación de las
76 áreas geográficas donde se distribuyen las especies siempre será motivo de discusión, debido a
77 que existen diferentes criterios en el conocimiento biológico y ambiental, que están sujetos a
78 continuos cambios (Ochoa, 2001).

79 Una regionalización es el proceso de agrupar u ordenar la información de un número
80 determinado de unidades territoriales, con el propósito de evaluar sus similitudes y relaciones
81 (Bailey *et al.*, 1978). Existen diferentes formas de regionalizar biogeográficamente un territorio;
82 por ejemplo, Morrone y Márquez (2003) y Morrone (2005, 2006) proponen un esquema de

83 regionalización de México compuesto por 14 provincias, agrupadas en dos regiones y una zona
84 de transición. La región Neártica incluye cinco provincias y la Neotropical cuatro provincias,
85 mientras que la zona de transición la definen como el "Componente Mexicano de Montaña",
86 caracterizado por otras cinco provincias: (1) Sierra Madre Occidental, (2) Sierra Madre Oriental,
87 (3) Eje Volcánico Transversal, (4) Depresión del Balsas y (5) Sierra Madre del Sur.

88 El Componente Mexicano de Montaña es equivalente a la Zona de Transición Mexicana,
89 (Halffter, 1976, 2003; Morrone, 2005, 2006), área que exhibe una alta diversidad biológica, como
90 resultado de importantes procesos de especiación ocurridos por la notable actividad volcánica en
91 dicha zona. Adicionalmente, en ella entran en contacto las regiones Neártica y Neotropical. Todo
92 ello, junto con su variabilidad climática, edáfica o geológica, favorece condiciones responsables
93 de la gran riqueza de especies observada en esta zona. El Eje Volcánico Transversal es
94 considerado como la zona de transición entre estas dos regiones y además conecta
95 transversalmente a la Sierra Madre Oriental con la Sierra Madre Occidental (Vivó, 1943;
96 Darlington, 1957).

97 La región del Eje Volcánico Transversal, que en adelante abreviaremos como EVT, ha sido
98 estrechamente relacionada por su semejanza florística y faunística con otras regiones, como la
99 Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Delgadillo *et*
100 *al.*, 2003; Villaseñor, 2004; Escalante *et al.*, 2005; Morrone, 2005; Suárez-Mota, 2006). Sin
101 embargo, existen pocos trabajos que consideren los patrones de distribución geográfica de la flora
102 y fauna que permitan proponer divisiones biogeográficas dentro del EVT para complementar o
103 enriquecer aquellas que previamente se han definido. Por ejemplo, una propuesta es la de las
104 provincias avifaunísticas que hacen Navarro-Sigüenza *et al.* (2007) y otra de Escalante *et al.*
105 (2007), que dividen el EVT en dos distritos, uno oriental y otro occidental; ambas propuestas se
106 definieron a partir de análisis de la distribución potencial de las especies. Sánchez-Cordero *et al.*
107 (2005), a partir de la distribución geográfica de mamíferos, dividen al EVT en tres regiones, una
108 oriental, otra central y una occidental. Mediante un análisis panbiogeográfico, utilizando 156
109 especies pertenecientes a cinco grupos diferentes (aves, mamíferos, reptiles, helechos y encinos),
110 Torres y Luna (2007) proponen cinco distritos en esta provincia.

111 El EVT presenta una riqueza excepcional de algunos grupos de plantas. Por ejemplo, está
112 documentado que existen más especies del género *Sedum* en dicha provincia que en cualquier
113 otra parte de América del Norte (Clausen, 1959). Otro ejemplo es el género *Quercus*, del que se
114 han reportado 75 de sus especies dentro de los estados que conforman el EVT, cifra que
115 corresponde a 46% del total de las especies reportadas en México (Valencia, 2004). Un tercer
116 ejemplo es el género *Pinus*, que forma parte de los géneros que tienen en México uno de sus
117 principales centros de diversificación (Rzedowski, 1993); en el EVT se tienen registradas 21
118 (50%) de las 42 especies de este género que se distribuyen en México (Farjon y Styles, 1997). El
119 EVT no solamente destaca por su alto contenido de especies de plantas, sino que también
120 presenta un alto número de especies endémicas (Fa y Morales, 1991, Villaseñor *et al.*, 2007). Por
121 otra parte, esta provincia es la región del país que mayor atención ha recibido; en su territorio se
122 han realizado diversos estudios, sobre todo aquellos relacionados con su geología y geofísica por
123 cuestiones de seguridad, debido a que es una región geológica o vulcanológicamente activa y

124 donde se concentra la mayor parte de la población e infraestructura del país (Gómez-Tuena *et al.*,
125 2005).

126 Para el EVT se tienen distintas propuestas de regionalización, entre las que desatacan las de
127 Alcorta (1958) y Cuanalo *et al.* (1989), quienes lo definen como una “región natural”, sin
128 explicar los criterios específicos utilizados para sustentarlo. Otros autores la definen como una
129 provincia fisiográfica, caracterizada por sus rasgos geomorfológicos y por sus formas de relieve
130 (Raisz, 1964; Lugo-Hubp *et al.*, 1990). Otros más como una provincia morfotectónica (Mooser,
131 1972; López-Ramos, 1979; Morán-Zenteno, 1984; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992; Ferrari *et al.*,
132 1999, 2000). Si a estas contribuciones geográfico-geológicas, se suman los esquemas de
133 regionalización biogeográfica, ecológica, faunística y florística, como los estudios de Rzedowski
134 (1978), Rzedowski y Reina-Trujillo (1990), Casas-Andreu y Reina-Trujillo (1990), Goldman y
135 Moore (1945); Ramírez-Pulido y Castro-Campillo (1990), Ferrusquía-Villafranca (1990) y Smith
136 (1941), se comprende la dificultad de tener una delimitación concluyente del área que ocupa el
137 EVT. Sin embargo, todas estas propuestas pueden contrastarse para hacer un consenso que
138 permita encontrar sus coincidencias y discrepancias.

139 En México existen 2,804 géneros de plantas vasculares (Villaseñor, 2004), de los cuales 1,348
140 (48.1%) se registran en el EVT (Villaseñor, 2004). Estos géneros se distribuyen en diferentes
141 tipos de vegetación que se encuentran en el EVT; entre los principales se encuentran los bosques
142 de pino, de encino, de oyamel, los tropicales caducifolios, el húmedo de montaña y el pastizal
143 (Rzedowski, 1978).

144 Este trabajo tiene como objetivo proponer una regionalización florística del EVT, a partir de la
145 distribución de su flora y mediante un análisis multivariado. Con ello se espera reconocer áreas
146 con importantes niveles de similitud florística, que permitan ser identificadas como regiones
147 florísticas (Birks, 1976).

148

149 **Método**

150 *Área de estudio.* Se utilizó el polígono correspondiente a la provincia del Eje Volcánico
151 Transversal delimitado en la regionalización geomorfológica de México (Ferrusquía, 1990). Esta
152 provincia está incluida en el territorio de 16 estados del país (CONABIO, 1997). Se extiende
153 desde las costas del Pacífico, en San Blas, Nayarit y Bahía de Banderas, Jalisco, hasta las costas
154 del Golfo de México en Palma Sola, Veracruz, por los 19° de latitud N (Demant, 1978). La
155 provincia tiene aproximadamente 1,000 km de longitud y una amplitud irregular, que oscila entre
156 los 80 y 230 km, cuyas coordenadas extremas son al norte 21° 38' 24", al sur 18° 23' 24", al este
157 96° 22' 12" y al oeste 105° 45' 00" (Gómez-Tuena *et al.*, 2005; Figura 1).

158 Para la regionalización se recopilaron datos de especies de la flora presente en el EVT. Los
159 criterios de selección de las especies fueron: (1) pertenecer a familias de plantas que se
160 distribuyen en los tipos de vegetación que se registran en el EVT, (2) estar registradas en
161 colecciones biológicas y/o bases de datos disponibles y (3) que sus localidades de colecta estén
162 georreferenciadas. Con estos criterios fueron seleccionadas especies documentadas en las bases
163 de datos incluidas en la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB), disponible
164 en la página web de la Comisión Nacional sobre Uso de la Biodiversidad (Conabio). Con los

165 límites del polígono de la provincia morfotectónica del EVT y con los datos de las especies
166 (nombre científico y georreferencias), se estructuró una base de datos, la cual se organizó
167 utilizando el programa Microsoft Access 2007.

168 Los datos obtenidos de la REMIB fueron revisados previamente a su uso. Por ejemplo, los
169 nombres de las especies se compararon con la información contenida en catálogos y fichas
170 taxonómicas que se han producido en diversos herbarios, tanto nacionales como del extranjero y
171 publicadas en páginas electrónicas, por ejemplo Trópicos (<http://www.tropicos.org>), IPNI
172 (<http://www.ipni.org/index.html>) o ITIS (<http://www.itis.gov/servlet/>). También se revisaron
173 datos incluidos en otras fuentes, como en el catálogo florístico del bosque húmedo de montaña en
174 México (Villaseñor, 2010). De esta manera se redujo notablemente la sinonimia y se corrigió la
175 ortografía de los nombres. Por otra parte, se hizo una evaluación geográfica, que consistió en el
176 mapeo de los registros utilizando el sistema de información geográfica (SIG) ArcView 3.2 (ESRI,
177 2000); con ello se corroboró que los registros coincidieran con los estados y localidades donde
178 han sido registrados y con ello verificar que los patrones de distribución de las especies
179 estuvieran dentro del polígono del EVT.

180 La descripción biogeográfica de la flora se hizo con base en dos términos de análisis de los
181 datos, uno denominado Regiones Florísticas, empleado para determinar áreas de composición
182 florística similar y otro Elementos Florísticos, que determina grupos de especies con distribución
183 geográfica similar (Birks, 1976). Los análisis multivariados ayudaron a determinar tales Regiones
184 Florísticas y reconocer los Elementos Florísticos que las componen (Birks, 1976). Para realizar
185 los análisis, el EVT se dividió en unidades más pequeñas, conocidas como Unidades Geográficas
186 Operativas (UGOs).

187 La Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) considera que una buena estrategia de análisis de
188 los patrones de distribución de las especies es mediante el uso de cuadros o celdas en que se
189 divide la región de estudio (UICN, 2001). El tamaño de la cuadrícula en que se dividió el EVT
190 fue determinado siguiendo las recomendaciones de la misma IUCN. En este trabajo se calculó la
191 distancia de los sitios extremos conocidos para cada especie; tomando el 10% de la distancia
192 extrema de cada especie y promediando todos estos valores se obtuvo un valor que fue utilizado
193 para determinar el tamaño de celda (Suárez-Mota y Villaseñor, 2011). De esta manera, el EVT
194 fue dividido en celdas de 30' de latitud y longitud, pues la distancia promedio de todas las
195 especies analizadas fue de 489.9 km y el 10% de este valor corresponde aproximadamente con
196 una celda de 50 km de latitud y longitud; este valor es muy cercano a una celda de 30' de latitud
197 y longitud (ca. 48 km por lado). Utilizando este tamaño de cuadro, el EVT fue dividido en 78
198 UGOs (Figura 1).

199 Las UGOs que incluyeron menos del 50% de la superficie de un cuadro completo, fueron
200 unidas con celdas vecinas. Esta fusión se hizo considerando principalmente la distribución de las
201 especies al analizarlas en el GIS. Esta fusión de celdas resultó en un rearrreglo que dio como
202 resultado 48 UGOs (Figura 2), pues muchas celdas de los extremos norte y sur fueron colapsadas
203 con sus vecinas siguiendo una orientación latitudinal. Con ello se trató de disminuir la fuerte
204 discrepancia en los valores de riqueza propiciada por la desigual cantidad de registros de especies
205 en cada una de las UGOs. Con estas 48 unidades y utilizando el SIG se calculó la riqueza de

206 especies en cada una; los valores obtenidos se ordenaron en cuartiles, y aquellas UGOs cuyo
207 valor de riqueza fue menor al del primer cuartil se eliminaron del análisis. También se
208 discriminaron las especies registradas en una sola UGO.

209 Una vez definido el tamaño de la retícula y la composición de especies, se estructuró una matriz
210 de presencia-ausencia (datos binarios) con las especies registradas en cada celda. Para ello se
211 intersectaron en el SIG los registros de distribución de las especies con el polígono del EVT
212 dividido en celdas. En la matriz las especies se ordenaron como filas y las UGOs como columnas.

213 El análisis multivariado se hizo empleando el coeficiente de similitud de Sorensen-Dice
214 implementado en el software NTSyS 2.0 (Rholff, 2002). El agrupamiento de las UGOs por sus
215 similitudes florísticas se realizó utilizando el método de agrupamiento enlace completo. Con esta
216 clasificación se determinaron las Unidades Florísticas. Para identificar los Elementos Florísticos,
217 se utilizó el mapa de las Unidades Florísticas (Grupos de UGOs formados en el primer análisis),
218 con el cual se intersectaron los registros de las especies utilizando nuevamente el SIG.

219 Para evaluar la distribución de las especies se hizo un análisis de su distribución en los tipos de
220 vegetación que se encuentran en el EVT. Estos tipos de vegetación se delimitaron
221 geográficamente con el mapa de la serie III de INEGI (INEGI, 2005) y su coincidencia en 50
222 diferentes zonas climáticas definidas como dominios climáticos, que permiten reconocer la
223 variabilidad climática del EVT (datos sin publicar).

224

225 **Resultados**

226 El Eje Volcánico Transversal es una de las regiones con mayor diversidad florística en México.
227 Se han reportado al menos 5,139 especies vasculares en los bosques templados de la provincia
228 (Villaseñor y Ortiz, 2007). En este trabajo se analizaron 4,055 especies, agrupadas en 999
229 géneros y 47 familias (Cuadro 1); tales cifras representan 78.9% de las estimadas por Villaseñor
230 y Ortiz (2007). Las familias con mayor número de especies registradas son, en primer lugar
231 Asteraceae (761, 18.8%), en segundo lugar Fabaceae (592, 14.6%) y en tercer lugar Poaceae
232 (588, 14.5%). Las familias con menos especies registradas en el EVT son Hamamelidaceae,
233 Magnoliaceae y Podocarpaceae con 4, 6 y 3 especies respectivamente (Cuadro 1).

234 La distribución de las especies en las UGOs en que se dividió el EVT (Figura 2) es bastante
235 heterogénea. La UGO con mayor número de especies fue la 33 (1,601 especies, 39.5% de la
236 riqueza total), mientras que en la UGO 39 sólo se registraron 62 especies (1.5%); en promedio se
237 registran 267 especies por UGO (desviación estándar = 318; Cuadro 2).

238 La mayoría de los taxones del EVT muestran una distribución restringida; las frecuencias nos
239 señalan que el primer cuartil comprende las especies que se distribuyen en una y dos celdas. Por
240 lo tanto, 1,633 especies caen en este grupo, por lo que podríamos decir que este conjunto de
241 especies constituye la rareza del EVT (40.3%), con una mediana de tres. Con el arreglo de las
242 frecuencias en clases mediante la regla de Sturges (Daniel, 1982) se encontró que 79.3% de las
243 especies se distribuyen en siete UGOs o menos. De ellas, 789 (24.5%) solamente se han
244 registrado en una sola de las 48 UGOs. Por otra parte, 20.3% del total de las 4,055 especies
245 analizadas se distribuyen entre ocho y 30 UGOs y únicamente 0.3% se distribuyen en 30 UGOs o
246 más (Figura 3).

247 La superficie total de la provincia morfotectónica del EVT es de 163,015 km²; de ellos, la
248 cobertura vegetal es de 58,274.2 km² (35.7%), mientras que el resto 104,740.8 km² (64.2%) ha
249 sido ocupado para establecer zonas urbanas, agrícolas, ganaderas o industriales, lo que ha
250 influido notablemente en la reducción del área de distribución de las especies, no sólo de esta
251 región sino de todo el país (Cuadro 3). En promedio se registraron 10 tipos de vegetación por
252 UGO, observándose una correlación relativamente baja ($r = 0.45$; $P < 0.005$) entre la riqueza de
253 especies y los tipos de vegetación. En el cuadro 3 se indica la riqueza de especies reconocida en
254 los tipos de vegetación utilizados para el análisis. Más de la mitad de las especies se registraron
255 en más de un tipo de vegetación; domina por el número de especies el pastizal inducido (1,460),
256 seguido por el bosque de pino-encino (1,369 especies), mientras que para el bosque húmedo de
257 montaña se reconocen 977 (Cuadro 3).

258 En el EVT se observa que en distancias muy cortas ocurren cambios climáticos drásticos,
259 debido a los gradientes altitudinales, a la complejidad topográfica y a su orografía en general, así
260 como a la elevación de las serranías (Greeland, 2005). Tal variabilidad climática se ve reflejada
261 en el número de dominios climáticos encontrados en cada UGO; solamente en dos se registra un
262 sólo dominio, mientras que una sola OGU (17) registra 21 diferentes dominios (Cuadro 2). Se
263 encontró una correlación positiva entre el número de dominios climáticos y tipos de vegetación
264 por UGO ($r = 67.8$, $P < 0.005$); en promedio se registraron 6.7 dominios climáticos por UGO.

265 La similitud florística entre las UGOs en que se dividió el EVT permite identificar tres grupos
266 principales (Figura 4), definidos como unidades florísticas (Birks, 1986), aunque tales grupos se
267 forman a niveles de similitud por debajo del 10%. El primer grupo está formado por cuatro
268 UGOs (1, 18, 35 y 39), el segundo grupo incluye 17 UGOs, mientras que al tercer grupo lo
269 conforman 27 UGOs (Figura 4). Diez UGOs del grupo tres (24, 25 y 26; 29 y 30; 42 y 43; 17, 46
270 y 33) se asociaron por encima del 50% de similitud y ningún otro conjunto de UGOs alcanza
271 estos valores de similitud. Las UGOs 29 y 30 son las que registran la mayor similitud florística
272 (65.4%). El segundo grupo se dividió en dos subgrupos uno (2a) formado por nueve UGOs y otro
273 subgrupo (2b) con ocho UGOs (Figura 4). El tercer grupo también se dividió en dos subgrupos
274 uno (3a) incluye 23 UGOs mientras que el otro (3b) lo forman cuatro de las UGOs (Figura 4).
275 Estos subgrupos (2a, 2b, 3a y 3b) corresponden con las unidades florísticas (I, II, III y IV)
276 respectivamente (Cuadro 4).

277 Debido a que las UGOs del primer grupo no forman una unidad geográfica común, sino que
278 están ubicados en zonas disyuntas, entremezclados con UGOs de otros grupos, se reasignaron a
279 los otros dos grupos; de esta manera tres de ellas (1, 18 y 35) se unieron en el subgrupo 2a
280 (Figura 4) y una más (UGO 39) en el subgrupo 3a (Figura 5). Con la segregación de este grupo
281 finalmente se definieron cuatro unidades florísticas: la unidad I está formada por 12 UGOs
282 distribuidas en la parte occidental del EVT. La unidad II incluye ocho UGOs, localizadas en la
283 parte norte, donde el EVT entra en contacto con la Altiplanicie Mexicana (Cuadro 4). La unidad
284 III agrupa veinticuatro UGOs distribuidas en las partes central, NE y SE del EVT. Por último, la
285 unidad IV solo incluye cuatro UGOs localizadas en el extremo oriental del EVT (Figura 5).

286 Aunque cada unidad florística contiene un número parecido de comunidades vegetales, es
287 notoria la diferencia en el número de especies que incluyen (Cuadro 4). Aunque la Unidad I,

288 registra 14 comunidades vegetales, el número de especies (1,876) que registra es menor si se
289 compara, por ejemplo, con la riqueza observada en la unidad IV (2,282) que tiene igual número
290 de comunidades vegetales pero que agrupa un menor de UGOs. Otra diferencia entre estas
291 unidades es el número de especies exclusivas (Elementos Florísticos); en la unidad I se registran
292 332 mientras que en la unidad IV se registran más del doble (764), siendo ésta última la unidad
293 florística con mayor número de especies exclusivas. En la unidad III se registra la mayor riqueza
294 de especies y comunidades vegetales, mientras que la unidad II es la más pobre en riqueza
295 florística, pues sus ocho UGOs registran el menor número de especies, de especies exclusivas y
296 de comunidades vegetales (Cuadro 4; figura 5).

297

298 **Discusión**

299 La contribución de taxa por familia a lo largo del EVT es heterogénea. Las familias mejor
300 representadas son Asteraceae, Poaceae y Fabaceae, probablemente como consecuencia de ser las
301 familias que en el EVT tienen uno de sus principales centros de diversificación (Rzedowski,
302 1978), además de ser las más diversas y de las que se tienen mayor número de registros en
303 México. La familia Asteraceae es la más diversa de las regiones templadas de México
304 (Rzedowski, 1978; Villaseñor y Ortiz, 2007).

305 La riqueza de especies encontrada en las UGOs también señala que la diversidad local
306 (diversidad alfa) en cada UGO en que fue dividido el EVT no es uniforme. Lo anterior permite
307 entender la alta diversidad beta que se observa en esta provincia, responsable de la alta riqueza
308 florística de la zona de estudio. Sin embargo, es necesario documentar mejor la información de su
309 flora, pues algunas partes de su territorio muestran vacíos de información o una deficiencia de
310 ella que deberían llenarse con más trabajo de campo.

311 La mayoría de las especies (92%) se distribuyen en menos de 15 UGOs. Este patrón puede
312 deberse al relieve tan diverso observado en el EVT; la provincia incluye valles, cuencas, planicies
313 y desde luego los geomorfos más abundantes que son las montañas (Ferrusquía-Villafranca,
314 2007). Esta diversidad morfotectónica, junto con el clima que es también muy diverso, generan
315 barreras a distancias cortas en esta región, repercutiendo en la distribución de las especies. Otra
316 explicación del alto número de especies restringidas en el EVT podría ser la distribución de
317 muchas especies que se reparten con otras zonas montañosas vecinas. Con tales cadenas
318 montañosas el EVT forma zonas complejas, las cuales apoyan el papel que históricamente ha
319 jugado como corredor biológico, conectando por ejemplo la Sierra Madre Occidental con la
320 Sierra Madre Oriental y viceversa (Villaseñor y Ortiz, 2007).

321 Los resultados apoyan afirmaciones previas de que la flora del EVT es característica de los
322 bosques templados, como ha sugerido Rzedowski (1978). Este componente, junto con el asociado
323 a los bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios, conforman los tipos de vegetación que
324 ocupan la mayor área con cobertura vegetal en el EVT, superando considerablemente a los demás
325 (Cuadro 3). Desafortunadamente el área que ocupaban originalmente estos tipos de vegetación se
326 ha visto reducida considerablemente, repercutiendo en el área de distribución de las especies. Los
327 datos indican que en los polígonos con algún tipo de vegetación solamente se registraron 27,116
328 sitios de recolecta, mientras que 61,823 se registraron en las zonas urbanas, agrícolas, ganaderas,

329 etc. Lo anterior es muestra de cómo se ha reducido el área de distribución de las especies en el
330 EVT, al quedar compactada la diversidad en pequeños fragmentos con vegetación remanente.

331 El pastizal inducido es uno de los tipos de vegetación (INEGI, 2005) que actualmente tiene la
332 mayor cobertura y donde se registra una alta riqueza de especies (Cuadro 3). Estos datos sugieren
333 que los tipos de vegetación primaria han sido fuertemente transformados por las actividades
334 humanas y actualmente se encuentran como vegetación secundaria o transformada. Algunos de
335 esos sitios probablemente están funcionando como reservorios o refugios de la flora característica
336 de los tipos de vegetación primaria circundantes. La distribución de especies en tipos de
337 vegetación primaria indica que los bosques templados (pino-encino, oyamel, húmedos de
338 montaña) son los tipos de vegetación en donde se concentran la mayoría de las especies que se
339 distribuyen en el EVT (Cuadro 3).

340 De acuerdo con Birks (1986), los elementos florísticos, definidos como el conjunto de especies
341 vegetales que se distribuyen en un área determinada (unidades florísticas), pueden evaluarse de
342 dos maneras: (1) Como el conjunto total de taxa de una unidad florística con distribución en otras
343 unidades (especies compartidas) y (2) como el conjunto de taxa exclusivos de una determinada
344 unidad florística. En este análisis consideramos la segunda opción para definir los elementos
345 florísticos, por lo que los cuatro elementos definidos corresponden con las unidades florísticas
346 determinadas (cuadro 4). El Elemento Florístico I incluye 332 especies distribuidas donde el EVT
347 hace contacto con la Costa del Pacífico, relacionado con 22 dominios climáticos y 14 tipos de
348 vegetación. Por la extensión del área de distribución (Unidad florística I) de este elemento,
349 podemos inferir que son especies compartidas con otras provincias como la Depresión del Balsas
350 y la Costa del Pacífico, las cuales están conformadas por elementos de la región Neotropical. En
351 cambio, las 31 especies del Elemento Florístico II, están relacionadas con un mayor número de
352 dominios climáticos (33) y un menor número de tipos de vegetación. La distribución de este
353 elemento en la parte norte, donde el EVT entra en contacto con la provincia del Altiplano, es en
354 una de las zonas más secas y donde prosperan especies típicas de matorrales xerófilos, con
355 afinidades a la región Neártica. El Elemento florístico III es el que tiene mayor cobertura dentro
356 del EVT, no sólo por la extensión de su área (Unidad Florística III), sino también por estar
357 relacionado con 25 dominios climáticos y 16 diferentes tipos de vegetación. Las especies que lo
358 constituyen tienen afinidades con ambientes templados localizados en la parte central del EVT y
359 donde se encuentra la cordillera montañosa con las mayores altitudes de México.

360 Las unidades florísticas definidas no sólo difieren por la cantidad de UGOs que las forman sino
361 también por el total de especies que contienen (elementos florísticos *sensu* Birks, 1986). El
362 agrupamiento de las UGOs con base en los valores de similitud revela una división del EVT en
363 dos zonas definidas longitudinalmente, una oriental y otra occidental (Figura 5). Los resultados
364 también indican que las especies se pueden dividir en tres grupos: (1) aquellas que prosperan
365 preferentemente en las condiciones de aridez que se presentan en la parte norte, en donde el EVT
366 entra en contacto con la Altiplanicie Mexicana (Unidad florística II), (2) aquellas que se
367 distribuyen básicamente en hábitats con climas templados, localizados en la parte central del
368 EVT (Unidad florística III) y (3) aquellas que se distribuyen en climas más cálidos, pero con un

369 contraste importante de humedad ambiental, la porción occidental (Unidad I) conspicuamente
370 más seca que la porción oriental (unidad IV).

371 Legendre y Legendre (1998) recomiendan que las unidades florísticas tengan una continuidad
372 espacial y, por lo tanto, se deben unir aquellas que no difieran ostensiblemente en su composición
373 florística pero que se encuentren separadas geográficamente. En este estudio la unidad I forma
374 dos grupos con importantes niveles de similitud florística (Figura 4) pero que se encuentran
375 separados geográficamente (Figura 5). La división de esta unidad I coincide en general con la
376 distribución de la cubierta vegetal y con los rasgos climáticos presentes en las provincias
377 florísticas propuestas por Rzedowski (1978). Las especies de la Unidad I prosperan en las
378 condiciones ambientales características de las provincias Costa del Pacífico y Depresión del
379 Balsas. Estas dos provincias, al igual que la Unidad I están divididas por las Serranías
380 Meridionales (Unidad florística III), provincia formada por especies que se distribuyen en
381 hábitats con climas templados.

382 Alcántara y Paniagua (2007) reportan 63 especies endémicas del EVT. Algunas de ellas (16)
383 tienen su distribución de manera exclusiva en una de las cuatro unidades definidas en este
384 estudio. En la Unidad I se distribuyen tres de estas 16 especies (*Epidendrum examinis* S.Rosillo,
385 *Graptopetalum fruticosum* Moran y *Verbesina culminicola* McVaugh); en la Unidad III 10
386 (*Achaetogeron mexicanus* (A.Gray) DeJong, *Cirsium pazcuarensis* (Kunth) Spreng, *Echeandia*
387 *gracilis* Cruden, *Festuca rzedowskiana* E.B.Alexeev, *Lychnis mexicana* Rose, *Muhlenbergia*
388 *brevisetata* Griseb. ex E.Fourn, *Plantago tolucensis* Pilg., *Poa orizabensis* Hitchc., *Salix mexicana*
389 Seemen, *Sedum mínimum* Rose) y en la Unidad IV tres más (*Calamagrostis eriantha* (Kunth)
390 Steud., *Echeveria subalpina* Rose et Purpus, *Oreomyrrhis orizabae* I.M.Johnst.). La unidad II es
391 la única en la que no se registran especies endémicas exclusivas, pues las demás especies
392 endémicas se comparten entre dos o más de las unidades florísticas.

393 Datos reportados para especies de la tribu Senecioneae (Asteraceae) y para briófitas
394 (Villaseñor *et al.*, 2007) señalan que el endemismo en el EVT es mayor a lo que reportan
395 Alcántara y Paniagua (2007). Villaseñor *et al.* (2006) describen cuatro zonas de riqueza de
396 especies (hotspots) en el EVT, las cuales coinciden con las unidades florísticas definidas en este
397 análisis; una de ellas está incluida en la unidad I, otras dos en la unidad III y la última en la
398 Unidad IV. Estas coincidencias, sugieren que el endemismo es un elemento importante para ser
399 considerado en propuestas de regionalización de áreas.

400 Las unidades florísticas definidas en este trabajo pueden ser contrastadas con las propuestas
401 planteadas con otros grupos taxonómicos. Por ejemplo, Sánchez-Cordero *et al.* (2005) proponen
402 tres zonas de concentración de especies de mamíferos en el EVT, una oriente, otra central y otra
403 occidental; por otra parte, Escalante *et al.* (2007), con base en datos de distribución potencial de
404 mamíferos reconocen dos áreas, una oriental y otra occidental. Ambos trabajos tienen ciertas
405 coincidencias con la distribución de las unidades florísticas delimitadas en este análisis (Figura
406 5), en la que latitudinalmente se distinguen también tres zonas. Sin embargo, longitudinalmente
407 se aprecian diferencias, pues ningún otro estudio reconoce la parte norte y sur del EVT (aquí
408 denominadas unidades II y III). Las diez regiones avifaunísticas identificadas en el EVT por
409 Navarro-Sigüenza *et al.* (2007) coinciden en parte con las reconocidas en este trabajo, aunque los

410 autores utilizan polígonos diferentes (provincias biogeográficas) a los aquí utilizados (provincias
411 geomorfológicas). Por otra parte Moore (1945), reconoce cinco distritos avifaunísticos en el
412 EVT; su propuesta corresponde con la de Torres y Luna (2007) la cual, con base en otros grupos
413 taxonómicos también delimitan cinco distritos en el EVT. Aunque estos cinco distritos son
414 delimitados utilizando áreas mayores a las del polígono empleado en este trabajo, son
415 coincidentes con las unidades florísticas aquí delimitadas.

416 Los esfuerzos realizados para reconocer áreas de concentración de especies que permitan
417 regionalizar el EVT, indican que hay demasiada complejidad para lograr un sólo objetivo, debido
418 a la heterogeneidad mostrada por la distribución de la flora y la fauna en esta zona del país,
419 considerada como una de las más importantes por su riqueza biológica. Sin embargo, el
420 reconocimiento de áreas biogeográficas con todos estos trabajos permitirá planificar mejores
421 estrategias para delimitar áreas prioritarias de conservación.

422 **Agradecimientos**

423 Este trabajo se realizó como parte de un proyecto de investigación del primer autor dentro de sus
424 estudios de doctorado, por lo que agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM y a
425 CONACYT (Beca 186550). Un agradecimiento también a Mayra M. Hernández M. y Humberto
426 Macías C. por su asesoría técnica en el manejo de los datos y del sistema de información
427 geográfica.

428 **Literatura citada**

429 Akeroyd J. y Synge H. 1992. Higher plant diversity. En: Groombridge B. Ed. *Global*
430 *Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources*, pp. 64-87, Chapman & Hall, Londres.

431 Alcántara O. y Paniagua, M. 2007. Patrones de distribución y conservación de plantas endémicas.
432 En: Luna, I., Morrone J.J. y Espinoza D. Eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica*
433 *Transmexicana*, pp. 421-438, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

434 Alcorta-Guerrero R. 1958. *Caminos de México*. Guía Goodrich-Euskadi. México, D. F.

435 Arriaga L., Aguilar C., Espinosa-Organista D. y Jiménez R. 1997. Regionalización ecológica y
436 biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la
437 Biodiversidad (Conabio), México, D.F.

438 Birks H.J.B. 1976. The distribution of European Pteridophytes: a numerical analysis. *New*
439 *Phytologist*. **77**:257-287.

440 Casas A.G. y Reyna T. 1990. "Provincias herpetofaunísticas" en Herpetofauna (anfibios y
441 reptiles). IV.8.6. *Atlas Nacional de México II*. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía,
442 Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

- 443 Clausen R.T. 1959. *Sedum of the Trans-Mexican Volcanic Belt: An Exposition of Taxonomic*
444 *Methods*. Cornell University Press, Ithaca.
- 445 CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1997.
446 “*Provincias Geomorfológicas de México*”. Escala 1:4 000 000. México, D.F.
- 447 Contreras-Medina R. y Eliosa-León H. 2001. Una visión panbiogeográfica preliminar de México.
448 En: Llorente-Bousquets J. y Morrone J. J. Eds. *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica:*
449 *Conceptos, Teorías, Métodos y Aplicaciones*, pp. 197-211, Las Prensas de Ciencias Universidad
450 Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 451 Cuanalo De La Cerda H., Ojeda-Trejo E., Santos-Ocampo A. y. Ortíz-Solorio C.A 1989.
452 *Provincias, Regiones y Subregiones Terrestres*. Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología,
453 Chapingo.
- 454 Daniel W.W. 1982. *Bioestadística*. Limusa, México, D.F.
- 455 Darlington P.J.Jr. 1957. *Zoogeography: The Geographical Distribution of Animals*. John Wiley,
456 Nueva York.
- 457 Delgadillo M.C., Villaseñor R.J.L. y Dávila A.P. 2003. Endemism in the Mexican flora: a
458 comparative study in three plant groups. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **90**:25-34.
- 459 Demant A. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de
460 interpretación: *Revista Instituto de Geología* **2**:172-187.
- 461 Escalante T., Rodríguez G. y Morrone J.J. 2005 Las provincias biogeográficas del Componente
462 Mexicano de montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de*
463 *Biodiversidad* **76**:199-205.
- 464 Escalante T., Rodríguez G., Gámez N., León-Paniagua L., Barrera O. y Sánchez-Cordero V.
465 2007. Biogeografía y conservación de los mamíferos. En: Luna I., Morrone J.J. y Espinoza D.
466 Eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, pp. 485-502, Universidad Nacional
467 Autónoma de México, México, D.F.
- 468 ESRI (*Environmental Scientific Research Institute*) 2000. ArcView 3.2. ESRI, Redlans.
- 469 Fa J.E. y Morales L.M. 1991. Mammals and protected areas in the Trans-Mexican Neovolcanic
470 Belt. En: Mares M.A. y Schmidly D.J. Eds. *Latin American Mammalogy: History, Biodiversity,*
471 *and Conservation*, pp. 199-226, University of Oklahoma Press, Oklahoma.
- 472 Farjon A. y Styles B.T. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monograph* **75**. The New York
473 Botanical Garden, Nueva York.

- 474 Ferrari L. 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la
475 última década: *Boletín de la Sociedad Geológica de México* **53**:84-92.
- 476 Ferrari L., López-Martínez M., Aguirre-Díaz G. y Carrasco-Núñez G. 1999. Space-time patterns
477 of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: From the Sierra Madre Occidental to the Mexican
478 Volcanic Belt. *Geology* **27**:303-306.
- 479 Ferrusquía-Villafranca I. 1990. Provincias bióticas (con énfasis en criterios morfotectónicos). En:
480 *Regionalización Biogeográfica*, IV.8.10. Atlas Nacional de México. Vol. II. Esacal 1. 4000000.
481 Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 482 Ferrusquía-Villafranca I. 2007. Ensayo sobre la caracterización y la significación biológica. En:
483 Luna I., Morrone J.J. y Espinoza D. Eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, pp.
484 7-23, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 485 Goldman E.A. y Moore R.T. 1945. The biotic provinces of Mexico. *Journal of Mammalogy*
486 **26**:347-360.
- 487 Gómez-Tuena A., Orozco-Esquivel M.T. y Ferrari L. 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja
488 Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica de México* **2**:227-285.
- 489 Greenland D. 2005. Mountain and valley winds. En: Oliver J.E. Ed. *Encyclopedia of World*
490 *Climatology*, pp. 516-523, Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer, Dordrecht.
- 491 Halffter G. 1976. Distribución de los insectos en la zona de transición mexicana: relaciones con
492 la entomofauna de Norteamérica. *Folia Entomologica Mexicana* **35**:1-64.
- 493 Halffter G. 2003. Biogeografía de la entomofauna de montaña de México y América Central. En:
494 Morrone J.J. y Llorente-Bousquets J. Eds. *Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*,
495 pp. 87-97, Las Prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 496 INEGI. 2005. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000,
497 Serie 3 Continuo Nacional. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística,
498 Geografía e Informática.
- 499 Legendre P. y Legendre, L. 1998. *Numerical Ecology*. Second Edition, Elsevier Publishers,
500 Amsterdam.
- 501 López-Ramos E. 1979. *Geología de México Tomo III*. México, D.F.
- 502 Lugo-Hubp J. 1990. El relieve de la República Mexicana. *Revista del Instituto de Geología* **9**:82-
503 111.

- 504 McLaughlin S.P. 1994. Floristic plant geography: the classification of floristic areas and floristic
505 elements. *Progress in Physical Geography* **18**:185-208.
- 506 Mittermeier R.A. 1988. Primate diversity and the tropical forest. En: Wilson E.O. y Peter F.M.
507 Eds. *Biodiversity*, pp. 45- 54, National Academic Press, Washington, DC.
- 508 Moore R.T. 1945. The transverse volcanic biotic province of central México and its relationship
509 to adjacent provinces. *San Diego Society of Natural History* **10**:217-236.
- 510 Mooser F. 1972. The Mexican Volcanic Belt - Structure and tectonics. *Geofísica Internacional*
511 **12**:55-70.
- 512 Morafka D.J., Adest G.A., Reyes L.M., Aguirre G. y Lieberman S.1992. Differentiation of North
513 American deserts: A phylogenetic evaluation of a vicariante model. En: Darwin S.P. y Welden
514 A.L. Ed. *Biogeography of Mesoamerica*, pp. 195-226, Tulane University, Nuevo Orleáns.
- 515 Morán-Zenteno D. 1984. *Geología de la República Mexicana*. Secretaría de Programación y
516 Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 82 pp.
- 517 Morrone J.J. 2001. Toward a cladistic model for the Caribbean subregion: delimitation of areas
518 of endemism. *Caldasia* **23**:43-76.
- 519 Morrone J.J. y Márquez J. 2003. Aproximación a un atlas biogeográfico mexicano: componentes
520 bióticos principales y provincias biogeográficas. En: Morrone J. J. y Llorente-Bousquets J. Eds.
521 *Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*, pp. 217-220, Las Prensas de Ciencias,
522 Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 523 Morrone J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de*
524 *Biodiversidad* **76**:207-252.
- 525 Morrone J.J. 2006. Biogeographic areas and transition zones of Latin America and the Caribbean
526 Islands based on panbiogeographic and cladistic analyses of the Entomofauna. *Annual Review of*
527 *Entomology* **51**:467-494.
- 528 Navarro-Sigüenza A.G., Lira-Noriega A., Peterson A.T., de Ita Oliveras A. y Gordillo-Martínez
529 A. 2007. Diversidad, endemismo y conservación de las aves. En: Luna, I., Morrone J.J. y
530 Espinoza D. Eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, pp. 461-483, Universidad
531 Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 532 Ochoa T.V. 2001. Geomorfología, Clima y Vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán Puebla-
533 Oaxaca. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma
534 de México. México, D. F. 85 pp.

- 535 Ortega-Gutiérrez F., Mitre-Salazar L.M., Roldán-Quintana J., Aranda-Gómez J., Morán-Zenteno
536 D., Alaniz-Álvarez S.A. y Nieto-Samaniego A. 1992. *Carta Geológica de la República*
537 *Mexicana*, escala 1: 2,000,000, 5a. edición, Consejo de Recursos Naturales, Instituto de
538 Geología, UNAM, México, D.F.
- 539 Raisz E. 1964. Landforms of Mexico. *Geography Branch of the Naval Research*. 2da. ed.
540 Cambridge Massachusetts.
- 541 Ramírez-Pulido J. y Castro-Campillo A. 1990. "Regiones y provincias Mastogeográficas".
542 Extraído de Regionalización Mastofaunística, IV.8.8. *Atlas Nacional de México*. Vol. III. Escala
543 1:4000000. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 544 Rohlf F. J. 2002. NTSYS-PC 2.2. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System.
545 Exeter Software: Applied Biostatistics, Nueva York.
- 546 Rosen, B.R. 1988. From fossil to earth history: applied historical biogeography. En: Myers A.A.
547 y Giller P.S. Eds. *Analytical Biogeograph*, pp. 437-481, Chapman and Hall, Nueva York.
- 548 Rzedowski J. 1973. Geographical relationships of the flora of Mexican dry regions. En: Graham
549 A.Ed. *Vegetation and Vegetational History of Northern Latin America*, pp. 61-73, Elsevier
550 Scientific Company, Amsterdam.
- 551 Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México, D.F.
- 552 Rzedowski J. y Reyna-Trujillo T. 1990. Divisiones florísticas. En *Tópicos fitogeográficos*
553 *provincias, matorral xerófilo y cactáceas*. IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala
554 1:8000000. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 555 Rzedowski J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica*
556 *Mexicana* **14**:3-21.
- 557 Rzedowski J. y Calderón de R.G. 1993. Datos sobre la dinámica de la flora fanerogámica del
558 valle de México, con énfasis en especies narrativas raras, en peligro de extinción y aparentemente
559 extintas. *Acta Botanica Mexicana* **25**:81-108.
- 560 Sánchez-Cordero V., Cirelli V., Murguía M. y Sarkar S. 2005. Place prioritization for
561 biodiversity representation using species ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics*
562 **2**:11-23.
- 563 Smith H.M. 1941. Las provincias bióticas de México, según la distribución geográfica de las
564 lagartijas del género *Sceloporus*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* **2**:103-
565 110.

- 566 Suárez-Mota M.E. 2006. Afinidades Geográficas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán analizando las
567 Asteraceae Mexicanas. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad
568 Nacional Autónoma de México. México. 35 pp.
- 569 Suárez-Mota M.E. y Villaseñor J.L. 2011. Las compuestas endémicas de Oaxaca, México:
570 diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **88**:1-12.
- 571 Torres M.A. y Luna I. 2007. Hacia una síntesis panbiogeográfica. En: Luna I., Morrone J.J. y
572 Espinoza D. Eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, pp. 503-514, Universidad
573 Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 574 UICN. 2001. Categorías y criterios de la lista Roja de la UICN. Versión 3.1. Comisión de
575 Supervivencia de Especies de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la
576 Naturaleza y de los Recursos Naturales. Gland y Cambridge.
- 577 Valencia-A. S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la*
578 *Sociedad Botánica de México* **75**:33-53.
- 579 Villaseñor J.L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*
580 **28**:160-167.
- 581 Villaseñor J.L. 2004. Los géneros de las plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la*
582 *Sociedad Botánica de México* **75**:105-135.
- 583 Villaseñor J.L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares:
584 catálogo florístico-taxonómico. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la*
585 *Biodiversidad* - Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 586 Villaseñor J.L., Delgadillo C. y Ortiz E. 2006. Biodiversity hotspots from a multigroup
587 perspective: Mosses and Senecios in the Transmexican Volcanic Belt. *Biodiversity and*
588 *Conservation* **15**:4045-4058.
- 589 Villaseñor J.L., Maeda P., Rosell J.A y Ortiz E. 2007. Plant families as predictors of plant
590 biodiversity in Mexico. *Diversity and Distributions* **13**:871-876.
- 591 Villaseñor J.L. y Ortiz E. 2007. La familia Asteraceae. En: Luna I., Morrone J.J. y Espinoza D.
592 Eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, pp. 289-310, Universidad Nacional
593 Autónoma de México, México, D.F.
- 594 Vivó J.A. 1943. Los límites biogeográficos en América y la zona cultural mesoamericana.
595 *Revista Geográfica* **3**:109-131.
- 596

597 Cuadro 1. Familias botánicas consideradas para la regionalización florística del Eje Volcánico
 598 Transversal. Se indica el número de géneros, especies y registros incluidos.

599

No.	Familia	Géneros	Especies	Registros
1	Acanthaceae	26	84	697
2	Agavaceae	9	63	442
3	Apiaceae	23	53	390
4	Aquifoliaceae	1	9	124
5	Araceae	10	20	132
6	Araliaceae	6	18	372
7	Asparagaceae	1	7	166
8	Asteraceae	166	761	10,740
9	Begoniaceae	1	22	422
10	Bignoniaceae	18	29	183
11	Brassicaceae	20	34	339
12	Bromeliaceae	7	59	616
13	Burseraceae	2	31	488
14	Cactaceae	28	99	738
15	Caprifoliaceae	5	22	475
16	Caryophyllaceae	17	52	1,114
17	Celastraceae	9	17	180
18	Convolvulaceae	13	110	1,408
19	Crassulaceae	6	54	701
20	Cucurbitaceae	26	77	1,925
21	Ericaceae	18	74	1,511
22	Euphorbiaceae	23	126	1,441
23	Fabaceae	93	592	5,417
24	Fagaceae	3	60	1,922
25	Gesneriaceae	11	24	273
26	Hamamelidaceae	3	4	96
27	Lauraceae	8	40	395
28	Liliaceae	14	21	421
29	Magnoliaceae	2	6	79
30	Malvaceae	30	104	1,619
31	Melastomataceae	12	65	891
32	Myrsinaceae	9	27	289
33	Myrtaceae	10	37	314
34	Orchidaceae	85	321	2,541
35	Pinaceae	3	30	500
36	Piperaceae	3	59	891
37	Plantaginaceae	1	13	277
38	Poaceae	126	588	10,452
39	Podocarpaceae	1	3	67
40	Polypodiaceae	7	67	1,048
41	Pteridaceae	18	85	1,258
42	Rubiaceae	49	191	2,875
43	Salicaceae	2	15	221
44	Scrophulariaceae	39	116	3,032
45	Solanaceae	20	99	1,854
46	Tiliaceae	5	14	105
47	Urticaceae	10	32	382

600

601

602

603 Cuadro 2. Total de especies (TS) número de tipos de vegetación (TV) y de dominios climáticos
 604 (DM) registradas en cada una de las UGOs en que se dividió el EVT
 605

UGOs	TS	TV	DM	UGOs	TS	TV	DM
1	88	10	7	25	904	9	8
2	171	7	8	26	735	12	12
3	305	11	5	27	554	11	12
4	497	11	7	28	140	7	6
5	96	6	4	29	731	12	11
6	124	6	6	30	731	14	6
7	224	9	5	31	171	10	7
8	229	7	5	32	168	9	14
9	396	7	8	33	1601	9	10
10	174	9	5	34	480	12	7
11	246	10	8	35	63	8	5
12	625	13	10	36	382	9	9
13	254	10	7	37	645	10	11
14	339	10	7	38	235	8	15
15	377	7	10	39	62	6	11
16	228	10	9	40	459	9	13
17	1343	12	21	41	289	11	11
18	65	7	4	42	867	14	12
19	491	9	8	43	759	12	13
20	320	14	8	44	389	12	13
21	338	8	9	45	149	12	10
22	163	8	12	46	1009	13	12
23	302	8	9	47	275	10	8
24	854	10	6	48	489	12	12

606
 607
 608
 609
 610
 611
 612
 613
 614
 615
 616
 617
 618

619 Cuadro 3. Tipos de vegetación reportados en el EVT (INEGI, 2007). Se indica el área y
 620 porcentaje que ocupa cada uno de ellos, así como el número de especies y de registros.

Clave	Tipo de Vegetación	Área	% del EVT	Total de especies	Total de registros
BE	Bosque de Encino	9,687.7	5.94	1,387	4,418
BEP	Bosque de Encino-Pino	2,827.4	1.73	746	1,649
BO	Bosque de Oyamel	1,143.8	0.70	387	893
BP	Bosque de Pino	5,487.9	3.37	1,277	5,384
BPE	Bosque de Pino-Encino	11617.9	7.13	1,369	4,498
BT	Bosque de Tascate	489.3	0.30	11	11
BMM	Bosque Húmedo de Montana	1,401.2	0.86	977	2,309
MCR	Matorral Crasicaule	1,987.8	1.22	355	631
MDR	Matorral Desértico Rosetofilo	658	0.40	414	975
MSUM	Matorral Submontano	76.5	0.05	12	12
PH	Pastizal Halófilo	334.8	0.21	34	39
PI	Pastizal Inducido	10,156.8	6.23	1,460	4,077
PAMO	Pradera de Alta Montana	139.6	0.09	141	242
SAP	Selva Alta Perennifolia	75.9	0.05	10	13
SBC	Selva Baja Caducifolia	11,298.6	6.93	918	1,907
SMSUC	Selva Mediana Subcaducifolia	539.4	0.33	12	13
TUL	Tular	167.8	0.10	2	7
VH	Vegetación Halófila	183.8	0.11	33	38
TOTAL		58,274.2	35.75	--	27,116

621
 622
 623 Cuadro 4. Unidades florísticas definidas en el Eje Volcánico Transversal y elementos florísticos que las caracterizan.
 624 Se indica el número de especies exclusivas a cada unidad, el número de UGOs que las constituyen y el número de
 625 tipos de vegetación que se registran en ellas.

Unidad florística	(total de especies)	Elemento florístico (Especies exclusivas)	UGOs	Tipos de vegetación
I	1,876	332	1, 2, 3, 4, 14, 18, 19, 20, 34, 35, 40, 47	14
II	886	31	5, 6, 7, 8, 10, 11, 16, 22	12
III	2,642	586	9, 12, 13, 15, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 48	16
IV	2,282	764	17, 32, 33, 46	14

627
 628

629 Figura 1. Área de estudio (polígono del Eje Volcánico Transversal de México, CONABIO,
630 1997) dividido en 79 Unidades Geográficas Operativas, cada una de ellas de 30' de latitud y
631 longitud.

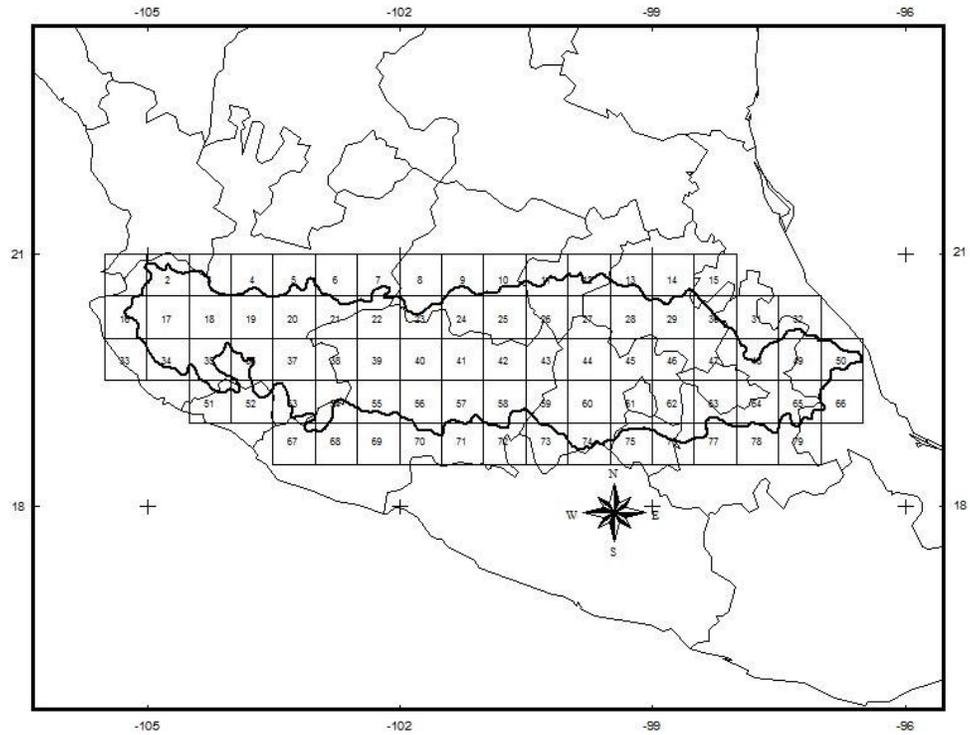
632
633 Figura 2. Mapa del EVT modificado al unir UGOs con superficie menor del 50% con su cuadro
634 vecino.

635
636 Figura 3. Distribución de las especies analizadas en las 48 UGOs en que se dividió el EVT,
637 agrupadas en clases.

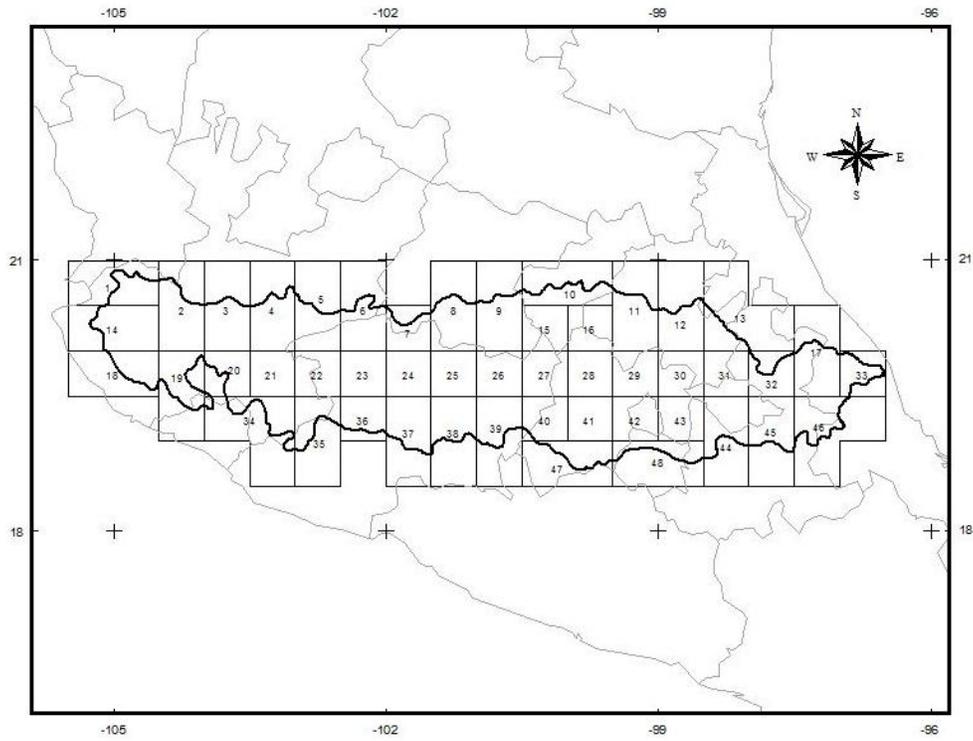
638
639 Figura 4. Valores de similitud encontrados entre las UGOs en que se dividió el EVT. Coeficiente
640 de similitud: Sorensen-Dice; método de agrupamiento: Enlace Completo. Los números romanos
641 indican las unidades florísticas identificadas (ver Cuadro 4).

642
643 Figura 5. Unidades florísticas definidas con la similitud encontrada entre las UGOs en que se
644 dividió el EVT.

645

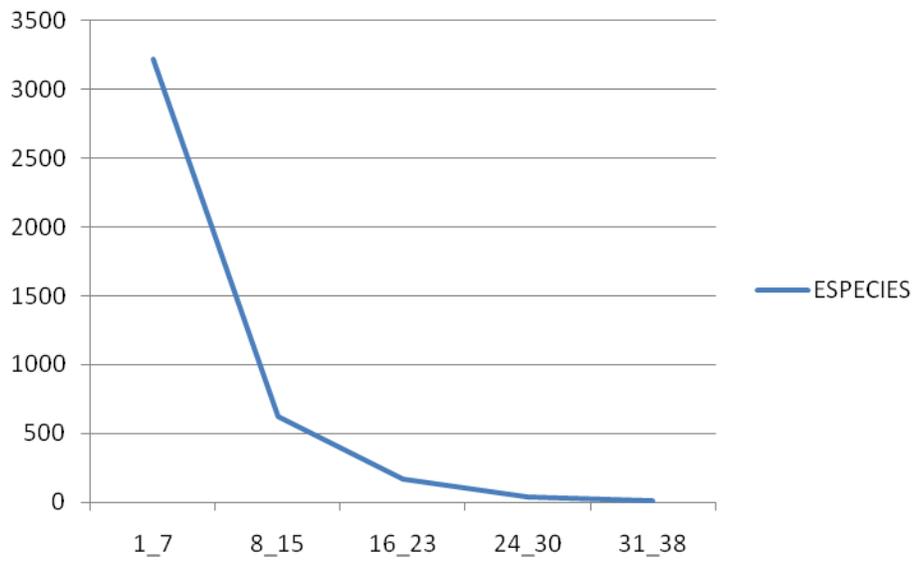


646
647 Figura 1.
648



649
650 Figura 2.
651

652
653
654



655
656
657
658

Figura 3.

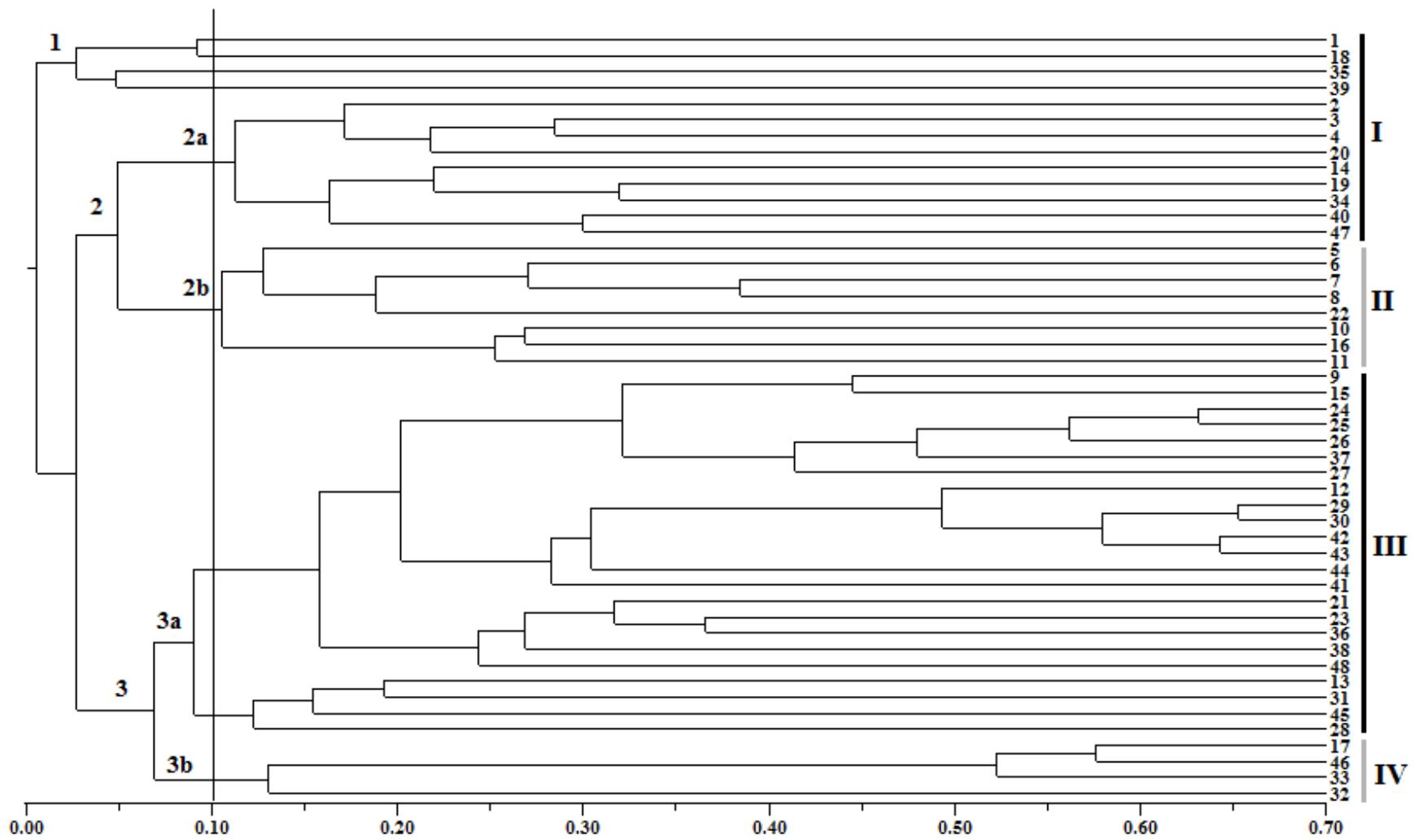


Figura 4.

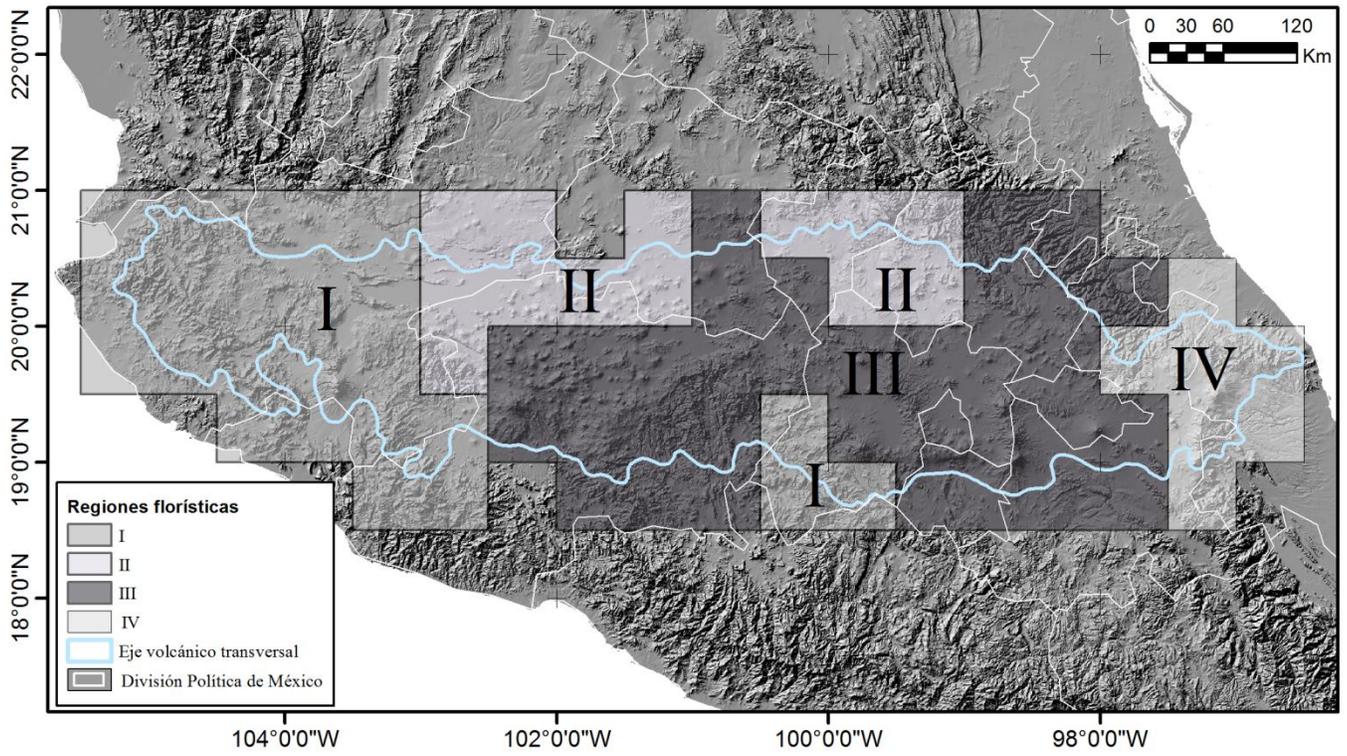


Figura 5.

1 km²