Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica
International Review of Geographical Information Science and Technology

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", GeoFocus (Artículos), nº 14, p.120-143. ISSN: 1578-5157

DOMINIOS CLIMÁTICOS DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL EJE VOLCÁNICO TRANSVERSAL DE MÉXICO

MARIO ERNESTO SUÁREZ-MOTA[1*], OSWALDO TÉLLEZ-VALDÉS[1], Y ENRIQUE MARTÍNEZ MEYER[2]

[1]Facultad de Estudios Superiores Iztacala, U. N. A. M.
Unidad de Biotecnología y Prototipos
Avenida de los Barrios 1; Los Reyes Iztacala
C.P. 54090 Tlalnepantla, estado de México
[2]Instituto de Biología, U. N. A. M.
Departamento de Zoología
Apartado Postal 70-367
04510 México, D. F.
tonatiu969@hotmail.com*, suarezmota.mario@gmail.com*

RESUMEN

El Eje Volcánico Transversal es una provincia caracterizada por rasgos geomórficos, geológicos y bióticos, muy particulares, algunos de los cuales determinan su variabilidad climática. Datos promedio mensuales de temperatura mínima y máxima y precipitación fueron interpolados con el paquete ANUSPLIN a una resolución espacial de 1 km^2. Los datos de 19 parámetros bioclimáticos y tres de terreno (pendiente, orientación y elevación) fueron clasificados con la métrica de Gower. Con la clasificación obtenida se definieron regionalizaciones a distintas escalas, se muestran ejemplos a nivel de dos, diez y cincuenta dominios climáticos. Se construyó un fenograma usando UPGMA. Se identificaron distintas regiones con base en las clasificaciones referidas. A diferentes escalas se proponen dos, cuatro y nueve regiones climáticas para el Eje Volcánico Transversal. Con los dominios generados se hizo un análisis de la climatología que puede emplearse como sustituto de la biodiversidad en las Áreas Naturales protegidas.

Palabras clave: Eje Volcánico, dominios climáticos, áreas protegidas, regionalización.

CLIMATE DOMAINS OF NATURAL PROTECT AREAS OF VOLCANIC BELT OF MEXICO

ABSTRACT

The Transverse Volcanic Belt is a province characterized by geomorphic, geologic and biotic features very particular some of which determine its climate variability. Facts average monthly minimum and maximum temperature and precipitation were interpolated with ANUSPLIN

Recibido: 12/08/2013
Aceptada versión definitiva: 28/04/2014
© Los autores

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

package to a spatial resolution of 1 km^2. The data of 19 bioclimatic parameters and three terrains (slope, aspect and elevation) were classified with the Gower's metric. With the classification obtained was defined regionalization at different scales, examples are shown at two, ten and fifty climatic domains. One phenogram was constructed using UPGMA. Regions were identified based on classifications referred. Different scales two, four and nine climatic regions for the Transverse Volcanic Belt are proposed. With domains generated an analysis of the weather that can be used as a surrogate for biodiversity in protected natural areas became.

Keywords: Volcanic belt, climate domains, protected areas, regionalization.

1. Introducción

El territorio mexicano se caracteriza por poseer un relieve extremadamente accidentado en más del 50% de su superficie, el cual da origen y sentido a su principal componente de montaña. Uno de los principales elementos de este componente es la provincia conocida como Eje Volcánico Transversal de México. Esta provincia ha sido altamente relacionada con otras regiones (provincias) del país como la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Moore, 1945; Delgadillo *et al*., 2003; Escalante *et al*., 2005; Morrone, 2005; Suárez-Mota, 2006; Villaseñor, 2004). Se ha reconocido al Eje Volcánico Transversal (en adelante EVT) como una provincia caracterizada por rasgos geomórficos, geológicos y bióticos muy particulares (Ferrusquía-Villafranca, 2007). Algunos de estos rasgos son factores que determinan su variabilidad climática; ocasionada también por su constitución geológica y evolución. Sin embargo, el conocimiento detallado de esta variación climática es aún escaso, por lo que es necesario definir zonas climáticas que contribuyan a mejorar su delimitación territorial y en consecuencia una más clara diferenciación ecológica y biogeográfica.

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 su enorme interés científico, sino también porque algunas de las ciudades más importantes, incluida su capital, se encuentran en esta región (Ferrusquía-Villafranca, 2007). El reconocimiento de esta región se ha hecho bajo diferentes criterios que han conducido a distintas delimitaciones de extensión territorial que no coinciden en sus límites extremos. Se trata de una región importante desde el punto de vista de su conservación, ya que ha sido una de las zonas más sobreexplotadas por las actividades agrícolas, forestales y ganaderas, así como por el crecimiento poblacional que repercuten en la pérdida de la biodiversidad y el rompimiento del equilibrio ecológico.

2. Regionalización del Eje Volcánico Transversal

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 necesario para hacer un adecuado manejo sustentable de los recursos naturales (Arriaga *et al*., 2000). La importancia de regionalizar ambientalmente cualquier área, estriba en que

© Los autores

se consideren análisis cuyo objetivo sea incluir toda la heterogeneidad biofísica que prevalece dentro de un determinado espacio geográfico (Arriaga *et al*., 2000). El EVT ha sido regionalizado con diferentes objetivos, por ejemplo, por sus rasgos geológicos (Ferrari, 2000; Dávila *et al*., 2010), sus características bióticas (Morrone, 2005), su geomorfología (Lugo-Hubp *et al*., 1990), así como para el reconocimiento de zonas de concentración de endemismos (Villaseñor *et al*., 2006). Además, ha sido considerado como el límite geográfico entre las regiones neártica y neotropical (Espinosa y Ocegueda, 2007). Sin embargo, la mayoría de las regionalizaciones del EVT tienden a ser generales y están basadas en grupos biológicos particulares. Por lo que creemos que es importante tener una regionalización de esta provincia biogeográfica considerando atributos ambientales como los dominios climáticos que la componen.

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-Cerda y Carrasco-Anaya, 2007) y su constitución por sucesiones volcánicas ocurridas desde el Mioceno Medio hasta el Holoceno principalmente en dirección WNW-ESE (Ferrusquía-Villafranca, 2007). Además, la variabilidad climática en esta región ocurre en distancias muy cortas por las diferencias en altitud, complejidad topográfica, orografía y la elevación de serranías (Greeland, 2005). De manera general, según Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya (2007) en el EVT es posible diferenciar hasta 30 tipos climáticos reconocidos para México, bajo el sistema de Köppen, modificado por García (1981). Considerando la clasificación climática de Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya (2007), surge la necesidad de hacer una evaluación de la variabilidad climática y su distribución geográfica para definir de forma más precisa los límites del EVT.

El EVT presenta una riqueza biológica excepcional debida a la heterogeneidad ambiental que lo caracteriza; por ejemplo, está documentado que en esta provincia se encuentra un alto número de especies de plantas vasculares de las riqueza vegetal de México (Suárez-Mota *et al*., 2013). Sin embargo, esta diversidad vegetal al igual que el resto de la riqueza biológica del EVT se encuentra amenazada de forma latente por actividades humanas. Para poder reducir impactos negativos en la biodiversidad del EVT, es necesario establecer una planificación de áreas protegidas. Debido a que la base biológica para definir áreas de conservación a menudo es poco clara, se requiere un mejor entendimiento de cómo afectan los criterios que se toman en la selección de áreas de conservación (Justus *et al*., 2008). Para ello se emplean atributos 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.), así como atributos no biológicos como tipos de suelo, clima, etc. (Sarkar y Margules, 2002). Considerando lo anterior y bajo el supuesto que la variación ambiental promueve la variación biológica (Nix *et al*., 2000), este trabajo se plantea con los objetivos de proponer una regionalización climática basada en el concepto de dominios climáticos que permita reconocer límites geográficos que, puedan compararse con regionalizaciones previas y así redefinir el área que ocupa esta provincia característica del componente mexicano de montaña. Además de identificar la representatividad de estos dominios dentro de los límites geográficos de las Áreas Naturales Protegidas (ANP´s) que han sido decretadas en el EVT.

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

3. Materiales, datos y métodos

Este se planteó con una metodología de análisis basada en dominios climáticos. Se emplearon capas de 19 parámetros climáticos propuestos por Cuervo-Robayo *et al*. (2013) y tres de terreno. La generación de los dominios se llevó a cabo adecuando e integrando información generada con métodos empleados en trabajos previos (Leathwick, *et al*., 2003; Morgan, 2007; Londoño-Murcia *et al*., 2010; Cuervo-Robayo *et al*., 2013). Definimos dominios climáticos (es decir, unidades geográficas con climas similares) a través de la clasificación realizada con un análisis multivariado de un conjunto de datos que consta de las estimaciones ambientales a una resolución de 1 km^2 a través del EVT. Inicialmente se realizó una clasificación no jerárquica y posteriormente una reclasificación jerárquica empleando la métrica de Gower. La clasificación final se hizo mediante un agrupamiento promedio no ponderado (UPGMA por sus siglas en inglés). Se reconocen desde 2 y hasta 404 dominios climáticos en todo el EVT.

3.1. Delimitación espacial

El Eje Volcánico Transversal se extiende de Veracruz a Nayarit, por el paralelo 19º latitud N, e incluye parte de 16 estados (figura 1); divide al país en dos grandes unidades y de forma alguna, comunica a las sierras Madre Occidental y Oriental (CONABIO, 1997). Se extiende desde las costas del Pacífico, en San Blas, Nayarit y Bahía de Banderas, Jalisco, hasta las costas del Golfo de México en Palma Sola, Veracruz (Demant, 1978). La provincia tiene aproximadamente 1000 km de longitud y una amplitud irregular entre los 80 y 230 km, cuyas coordenadas extremas son al norte 21° 38' 24", al sur 18° 23' 24", al este -96° 22' 12" y al oeste -105° 45' y se distribuye con una dirección preferencial E-W en su parte central y oriental, WNW-ESE en su parte occidental (Gómez-Tuena *et al*., 2005).

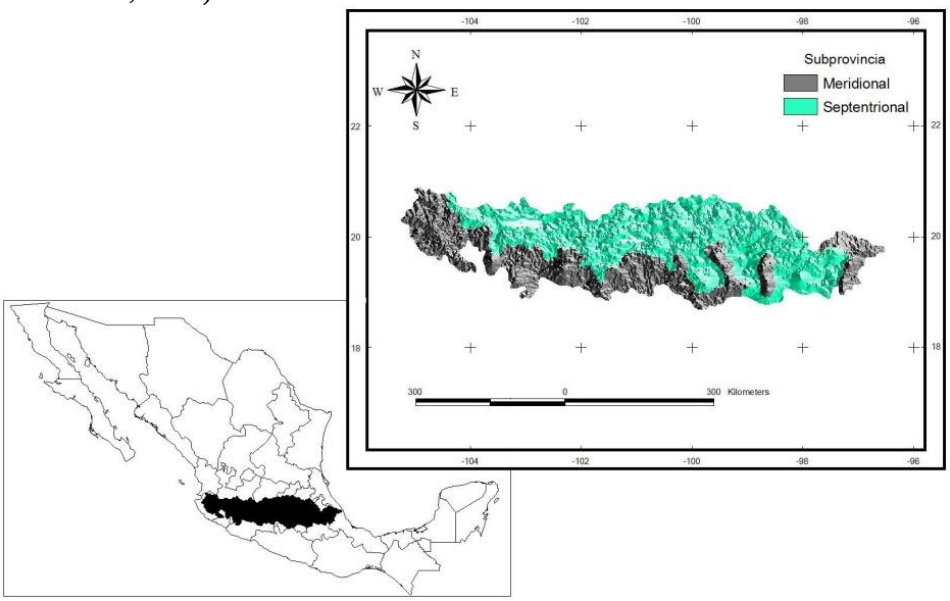

Figura 1. Área de estudio EVT (CONABIO, 1997).

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

3.2. Datos de estudio

Para realizar el proceso de clasificación (regionalización climática) se seleccionaron las variables climáticas que tienen importancia funcional con relación a algunos procesos biológicos básicos (Landsberg, 1986; Nix, 1986; Cuervo-Robayo, *et al*., 2013) y una alta correlación con los patrones de distribución de especies silvestres (Villaseñor y Téllez, 2004). Las coberturas de las 19 variables climáticas con que se hizo la interpolación fueron las propuestas por Cuervo-Robayo *et al*. (2013). La evaluación de la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas empleadas por estos autores fue hecha usando cartas topográficas de escala 1: 250,000 (www.inegi.gob.mx). Se interpolaron los valores promedio mensuales, de la precipitación y de las temperaturas mínima y máxima obtenidos de las estaciones meteorológicas estándar a una resolución espacial de 1 km^2, a través de todo el EVT, usando el algoritmo "thin plate smoothing splines" implementado en el paquete ANUSPLIN (Hutchinson y Gesler, 1994; Cuervo-Robayo, *et al*., 2013). A partir de los valores interpolados y con el uso de ANUCLIM 6.1 (Hutchinson, *et al.*, 1995; Houlder *et al*., 2000; Xu y Hutchinson, 2011; 2013) se obtuvieron los valores promedio mensuales de las 19 variables del clima y las tres de terreno que se encuentran en cada celda de 1 km^2 del EVT, en concordancia con sus datos de longitud, latitud y altura.

Tabla 1. Parámetros climáticos usados para generar la clasificación de dominios en el Eje Volcánico Transversal de México.

1. Temperatura promedio anual (°C).
2. Oscilación diurna de la temperatura (tºmáx.- tº min.) (°C).
3. Isotermalidad (°C).
4. Estacionalidad de la temperatura estacional (%).
5. Temperatura máxima del periodo más cálido (°C).
6. Temperatura mínima del periodo más frío (°C).
7. Oscilación anual de la temperatura (°C).
8. Temperatura promedio del trimestre más húmedo (°C).
9. Temperatura promedio del trimestre más seco (°C).
10. Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C).
11. Temperatura promedio del trimestre más frío (°C).
12. Precipitación anual (mm).
13. Precipitación del periodo más húmedo (mm).
14. Precipitación del periodo más seco (mm).
15. Estacionalidad de la precipitación (%).
16. Precipitación del trimestre más húmedo (mm).
17. Precipitación del trimestre más seco (mm).
18. Precipitación del trimestre más cálido (mm).
19. Precipitación del trimestre más frío (mm).
20. Altitud m.s.n.m.
21. Orientación.
22. Pendiente.

© Los autores
www.geo-focus.org

Los 19 parámetros climáticos (tabla 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 papel importante 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 fructificación estacional de las plantas en México (Rzedowski, 1978).

3.3. Técnicas de análisis

Medio físico. Se generaron coberturas digitales de tres aspectos físicos que son: a) la altitud, b) la pendiente y c) la orientación, empleando un modelos digital de elevación (MDE) con el programa ArcGIS 10.0 (ESRI, 2010). Estos factores son considerados de los principales que propician la variación climática en el EVT (tabla 1).

Los datos climáticos que se obtuvieron con ANUCLIM para cada uno de los 19 parámetros se convirtieron en un archivo de formato tipo raster a una resolución de 1 km^2. Cada celda (1 km^2) tiene un valor único que se considera representativo para toda la superficie que cubre. Con estos archivos y con el uso del SIG ArcGIS 10.0 (ESRI, 2010) se generaron las coberturas digitales (layers) de los 19 parámetros climáticos del EVT. Las coberturas elaboradas 19 de clima y tres de terreno, 22 en conjunto, permiten reconocer sus diferentes valores a lo largo de todo el EVT. Con esos valores fue posible hacer análisis multivariados para definir grupos de celdas que por su similitud ambiental han permitido hacer una regionalización del EVT. En este trabajo, la clasificación de los valores ambientales se define como regionalización climática debido a la cantidad de estas variables empleadas.

Proceso de clasificación (regionalización climática). Los valores en celdas de las 22 coberturas digitales fueron usados para construir una matriz de datos, en la que se ordenaron las 163,015 celdas en filas y los valores de los parámetros ambientales en columnas. Debido a que el número de datos de la matriz es muy grande se aplicó una clasificación multivariada que consta de dos pasos. El primero consistió en una clasificación no-jerárquica empleando un algoritmo denominado ALOC, que se ha mostrado es muy eficiente incluso para análisis de millones de datos, integrado en el programa PATN (Belbin, 1987). Como índice de asociación para calcular la distancia entre los valores se utilizó la métrica de Gower. Esta distancia se calcula entre cada píxel del mapa con datos correspondientes a los valores de los parámetros ambientales. Se produce una matriz de similitud intergrupal que es usada para la estructuración de los grupos que determinan los dominios ambientales. El número de grupos que forma es con base en otro algoritmo implementado en PATN, que específicamente lo que hace es determinar el número de grupos como resultado de la raíz cuadrada del número de variables (celdas) que analiza. Debido a que se trata de una clasificación no jerárquica con un amplio número de datos no es posible generar un dendrograma de agrupamiento. Como resultado de la clasificación no jerárquica PATN produce dos archivos. El

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

primero de ellos denominado *row group composition* (rgc), en el cual se distingue a que grupo fueron asignadas las celdas y así reconocer el dominio al que pertenecen. Este archivo puede ser editado e incorporado a la matriz original para desplegar los dominios climáticos que reflejan la heterogeneidad climática del EVT a partir de las similitudes intergrupales (Belbin *et al.*, 1987). Posteriormente este mismo archivo puede ser convertido en uno de tipo raster (ARC/INFO ASCIIGRID) para conocer la distribución geográfica de los dominios formados.

Como segundo paso, la clasificación produce otro archivo denominado *row group statistics* (rgs) el cual, contiene un perfil resumido de las características ambientales de cada dominio (valores mínimo, 1er. cuartil, mediana, promedio, 3er. cuartil, máximo). Con este archivo se estructura una nueva matriz con los grupos formados y sus valores estadísticos resumidos. En este caso se hace una clasificación jerárquica que permite obtener un dendrograma que muestra los dominios agrupados de acuerdo con su semejanza climática y permite analizar la relación entre ellos (Belbin, 1989). En este caso se forman grupos con el mismo algoritmo de la primera clasificación. Sin embargo, el número de grupos formados puede ajustarse a diferentes valores de similitud dependiendo de los objetivos del estudio. En nuestro caso consideramos hacer clasificaciones que tuvieran congruencia con la de dos zonas geomorfológicas propuesta por Ferrusquia-Villafranca (2007), de 30 tipos de clima (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya 2007) y cuatro regiones florísticas (Suárez-Mota *et al*., 2013).

Los dominios definidos en el análisis se sobrepusieron en el mapa de Áreas Naturales Protegidas (ANP) que se han decretado en el EVT, con la finalidad de poder emplearlos como sustitutos de la biodiversidad y poder reconocer si la mayor heterogeneidad climática coincide con a las ANP.

4. Descripción y análisis de resultados

Los resultados de la clasificación no jerárquica de acuerdo con los valores incluidos en la matriz permitieron definir como número máximo hasta 404 grupos climáticos en el EVT. Con los datos de estos grupos se realizó la clasificación jerárquica para reagrupar esta la variación climática dentro de EVT en dominios. En este análisis se definieron tres clasificaciones a nivel de 2, 10 y 50 dominios climáticos (figuras 2, 3 y 6) que permitieron hacer un análisis de la variabilidad climática del EVT a diferentes escalas, asumiendo que estos reflejarían su coincidencia con otras regionalizaciones previamente propuestas (Suárez-Mota *et al*., 2013).

La primera clasificación de dos dominios ha sido útil para reconocer de manera general que por sus características climáticas el EVT, está dividido en dos zonas que permiten diferenciar entre una porción más árida y fría versus una más cálida y húmeda, indistintamente de las subprovincias meridional y septentrional (figuras 1 y 2). Sin embargo, con el fin de tener una representación más aproximada a la realidad de la variación climática, se analizaron las similitudes de la clasificación a nivel de 10 dominios (figura 3; tabla 3) que permiten reconocer cuatro regiones climáticas de acuerdo al grado de similitud encontrada entre estos. La figura 4 muestra el dendrograma en el que se definen estas cuatro regiones climáticas dentro del EVT (figura 5). La primera de estas y que

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

denominamos región A agrupa los dominios 1, 2, y 3, y que corresponde a aquellas áreas de baja y mediana altitud, con ambientes secos y calurosos. En contraste, los dominios 6, 7, 8, y 9 constituyen la Región B, que representa los ambientes de zonas más elevadas y por consiguiente más frías y húmedas. Por su parte, el dominio 10 por si mismo conforma la región C, que corresponde a las zonas más frías en las cimas de las montañas más altas del EVT (Nevado de Toluca, Malinche, Iztaccíhuatl, Popocatépetl y Citlaltépetl). Finalmente los dominios 4 y 5 conforman la Región D, que corresponde a los ambientes húmedos característicos de la zona costera de la vertiente del Golfo de México (figura 5).

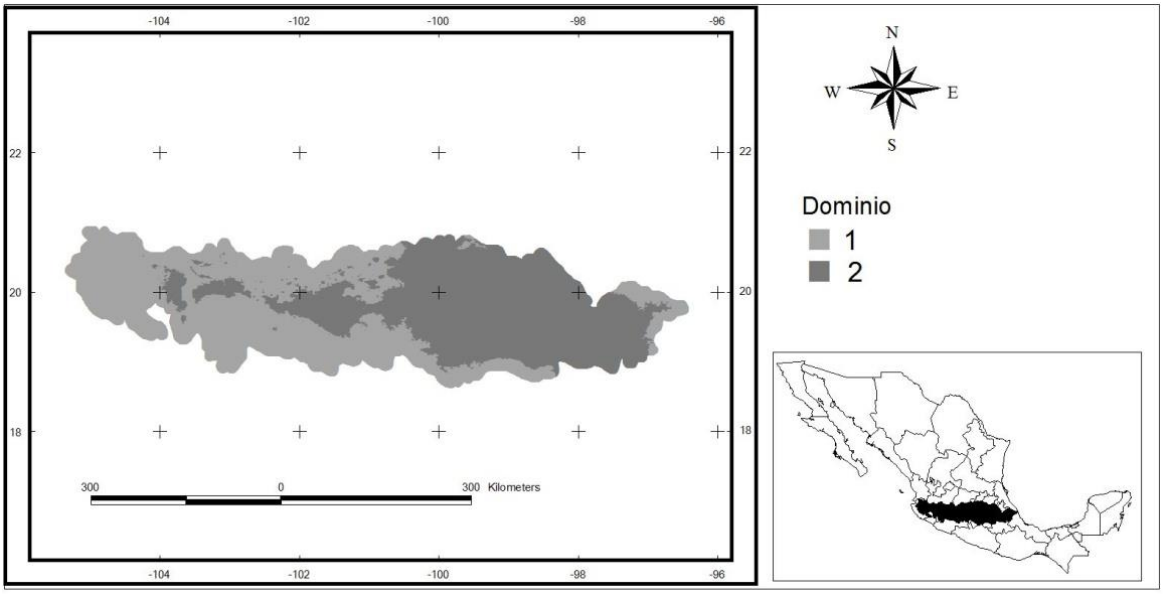

Figura 2. Clasificación a nivel de dos dominios climáticos para el EVT.

Las variables que explicaron las relaciones entre cada una de las regiones fueron la temperatura promedio anual, el promedio de la temperatura máxima, el promedio de la temperatura mínima y el promedio de la precipitación anual (tabla 2). Finalmente, el área que ocupan los dominios varía desde 42,443 km^2 el más extenso (dominio 2) hasta 1,852 km^2 el más reducido (dominio 10).

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

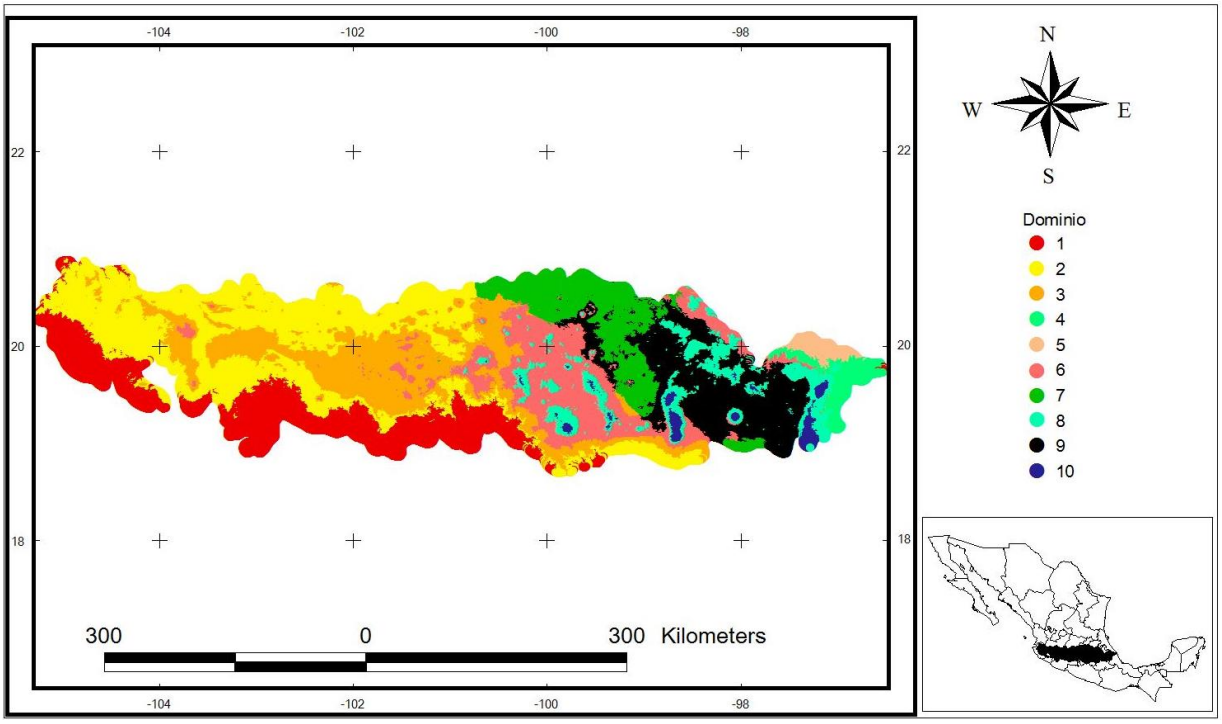

Figura 3. Ilustra 10 dominios climáticos en que se regionalizó el EVT.

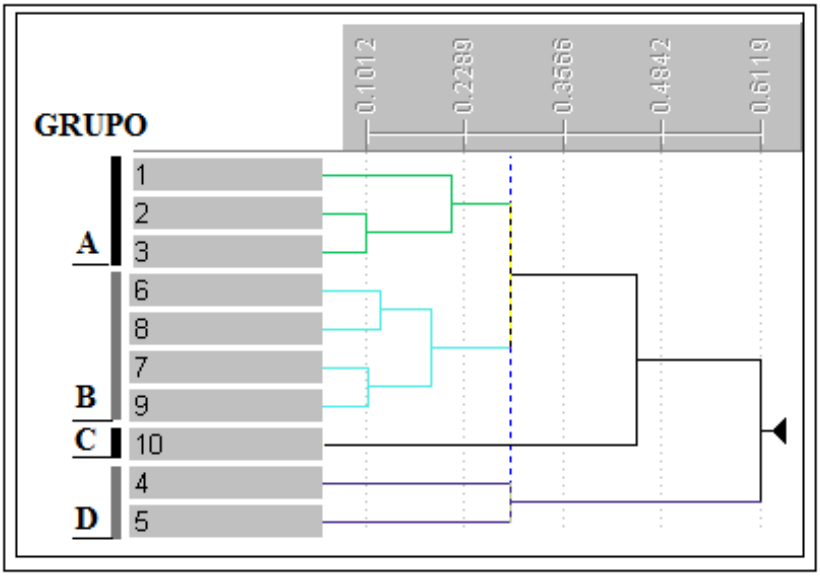

Figura 4. Regiones climáticas definidas con la similitud de los 10 dominios climáticos definidos en el EVT.

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

Tabla 2. Tamaño de área ocupada por cada dominio así como algunos valores climáticos que determinan su relación para formar 4 regiones climáticas. 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.

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

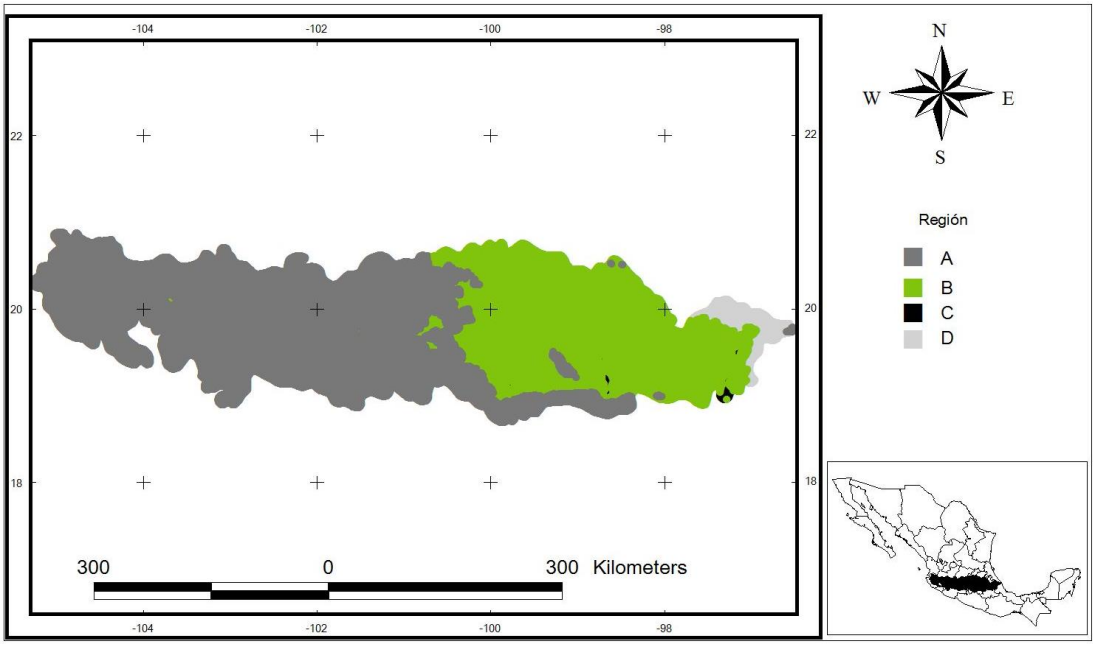

Figura 5. Cuatro Regiones climáticas del EVT determinadas con la similitud de 10 dominios climáticos.

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

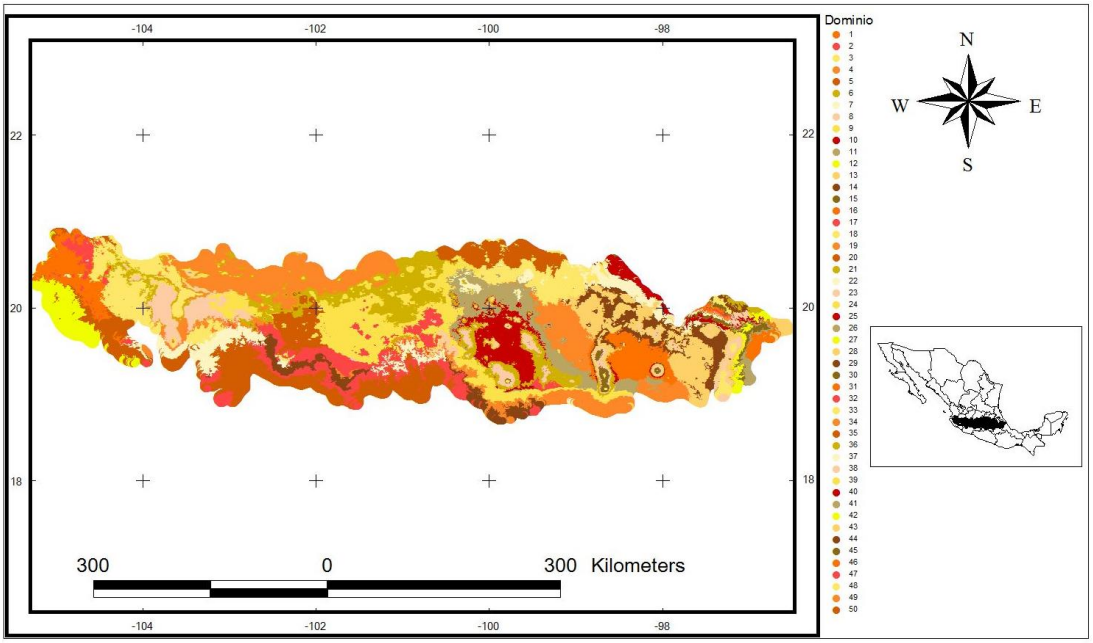

Figura 6. Muestra los 50 dominios climáticos que se definieron en el EVT.

La tercera clasificación fue generada a nivel de 50 dominios climáticos (figura 6), la cual muestra una mayor variabilidad climática dentro del EVT. Esta clasificación permitió regionalizar a una escala distinta el área de estudio. De esta clasificación de dominios se definieron nueve regiones climáticas en el EVT (figura 7). Estas regiones están conformadas de la siguiente manera: la Región A la componen 14 de los dominios; la Región B, 4; la Región C, 8; la Región D, 7; la E solo 2; la F, 6; la G solo uno; la H también solo con 3; por último la región I conformada por 5 dominios (figura 7).

De las regiones definidas resaltan la Región E conformada por dos dominios climáticos y que refiere específicamente a las condiciones propias de las cimas de los volcanes que representan a las zonas más frías del EVT; la región G área de un solo dominio ubicada en el extremo oriente del EVT dónde se registran los mayores valores de humedad y temperatura y la región H formada por tres dominios que es la región con menor extensión (figura 8).

La evaluación hecha para determinar la representación de los dominios climáticos dentro del sistema de Áreas Naturales Protegidas (ANP) como un posible sustituto de la biodiversidad y sólo con relación al nivel de 10 dominios, ha permitido reconocer que la variación climática no se encuentra adecuadamente representada (tabla 3). La representación del clima en las ANP es extremadamente desigual, hay casos como el del dominio 10 que el 56% de su extensión se encuentra representada dentro de las ANP; sin embargo, el resto de los dominios se encuentra subrepresentados, incluso los dominios 4 y 5 no se registran en ninguna de las ANP (tabla 3).

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

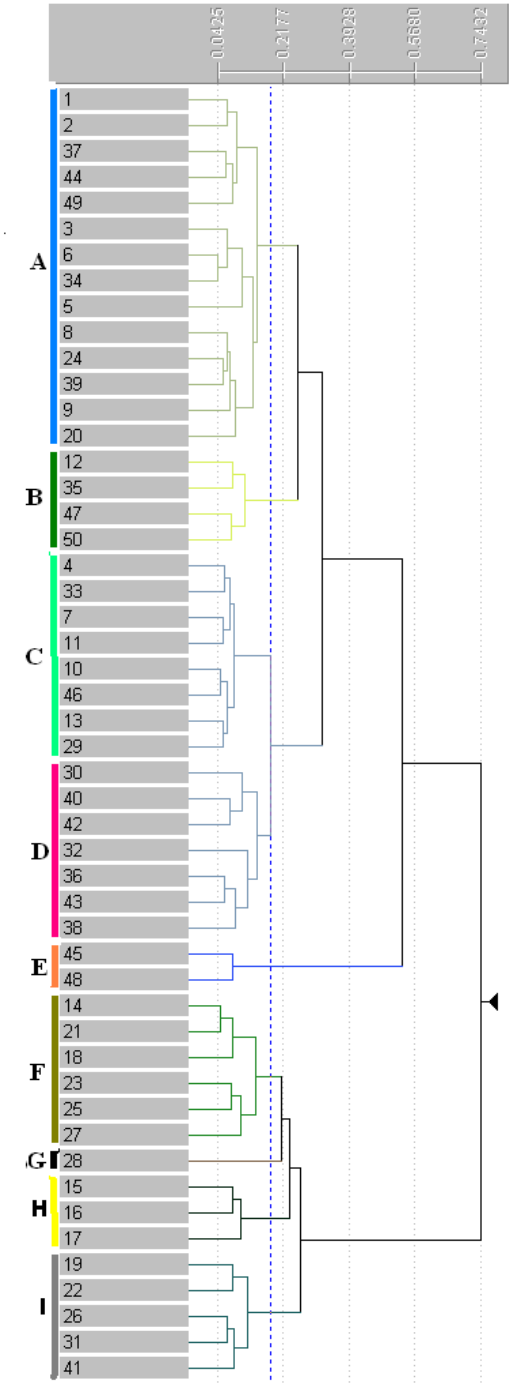

Figura 7. Áreas climáticas definidas en EVT a partir de los valores de similitud de los 50 dominios.

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

Tabla 3. Representatividad de 10 dominios climáticos en Áreas Naturales Protegidas del EVT

	Área (km^2) que ocupan los Dominios en las ANP's								
Nombre	1	2	3	6	7	8	9	10	Total
Barranca de Metztitlán			1	121	129	1	96		348
Barranca del Cupatitzio		4	1						5
Bosencheve				114		36			150
Cerro de Garnica				7		6			13
Cerro de la Estrella			1		14				15
Cerro de las Campanas					1				1
Ciénagas del Lerma				39					39
Cobio Chichinautzin		37	147	253		5			442
Cofre de Perote								141	141
Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit	190	1966	147						2303
Cuenca hidrográfica del río Necaxa				161		11			172
Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc Y Temascaltepec	45	66	531	983		270		24	1919
Cumbres del Ajusco						2		5	7
Desierto de Los Leones				10		7		1	18
Desierto del Carmen O de Nixcongo			6						6
El Cimatario					33				33
El Chico						29	8		37

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

	Área (km^2) que ocupan los Dominios en las ANP's								
Nombre	1	2	3	6	7	8	9	10	Total
El histórico Coyoacan			1						1
El Jabalí		61							61
El Tepeyac					4				4
El Tepozteco		99	78	90		1			268
Insur. Miguel Hidalgo y Costilla				5		18		1	24
Insurg. José María Morelos		19	59	8					86
Iztaccihuatl-Popocatepetl						95		405	500
Lagunas de Zempoala				49		8			57
Los Remedios			4	1	1				6
Malinche				43		198	231	91	563
Mariposa Monarca			11	334		306		33	684
Nevado de Colima		9	36	33		1			79
Nevado de Toluca				11		362		114	487
Pico de Orizaba						1		230	231
Pico de Tancítaro		205	65	19					289
Sacromonte							1		1
Sierra de Manantlán	795	283	37						1115
Sierra de Quila		35	140						175
Tula					1				1
Xicotencatl							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	

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

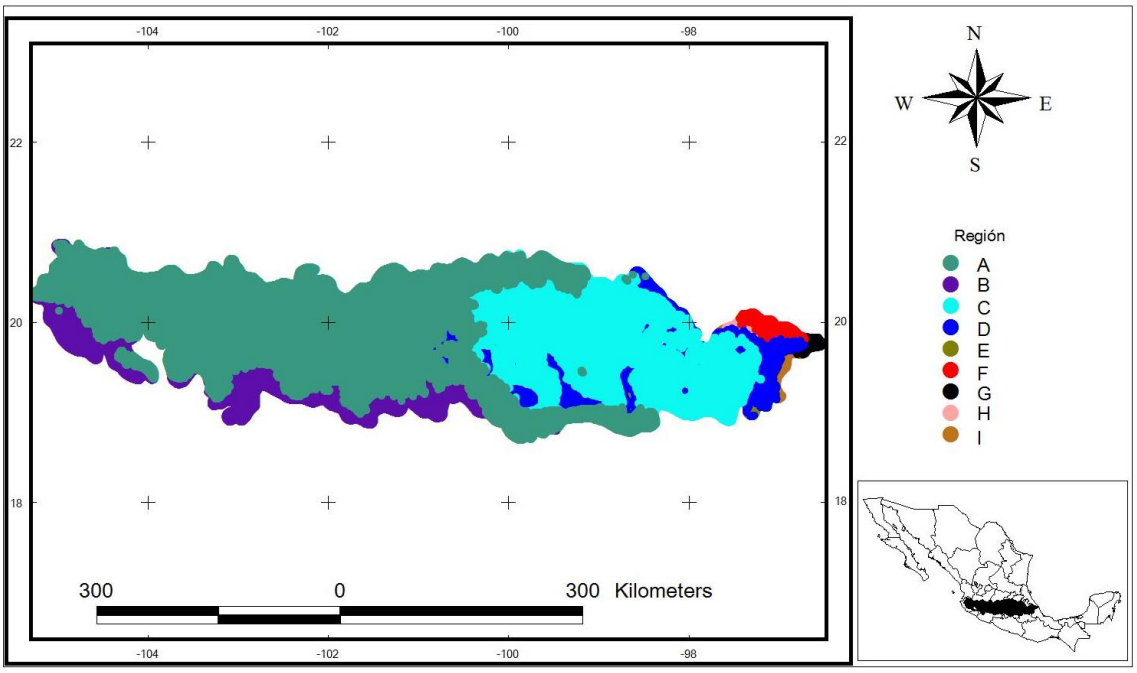

Figura 8. Regiones climáticas del EVT determinadas con la similitud de 50 dominios.

5. Discusión y valoración de hallazgos

Las clasificaciones 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 de distancia, mientras que en otras propuestas de análisis climáticos sólo se tienen intervalos de los valores en espacios geográficos más amplios. 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-Cerda y Carrasco-Anaya, 2007) y otras clasificaciones que actualmente se han propuesto (Morgan *et al.*, 2007; Mackey *et al.*, 2008; Suárez-Mota, 2012), en las que existe una diferencia en términos de resolución espacial.

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). 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 (Castellano de Rosas, 2007; Londoño *et al.*, 2010; Suárez-Mota, 2012). 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 bastante heterogénea. La clasificación con la que se reconocen 404 dominios como la máxima variabilidad de climas que hay en el EVT, sirve de base para

© Los autores

proponer regionalizaciones a distintas escalas; por ejemplo, las clasificaciones climáticas desarrolladas a nivel de 10 y 50 dominios permiten definir regiones que agrupan la heterogeneidad climática del EVT.

El reconocimiento de hasta 404 dominios dentro del EVT, 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 pudieran emplearse para su representación gráfica. Pero si es posible reclasificarse jerárquicamente para hacer un análisis de la heterogeneidad climática del EVT desde otras perspectivas como la posibilidad de tener regiones climáticas útiles como sustitutos de la biodiversidad. Por ello, se prefirió generar y analizar ejemplos de regionalización a niveles que pudieran estar reflejando unidades de clima obtenidas con la similitud que tiene los dominios formados en la clasificación no jerárquica. Estas clasificaciones de acuerdo con Morgan *et al.* (2007) y Mackey *et al.* (2008) han permitido 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-Cerda y Carrasco-Anaya, 2007). Por ejemplo, la clasificación propuesta con 50 dominios puede contrastase con la propuesta de Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya (2007), quienes reportan 30 tipos de clima para el EVT definidos por intervalos generales de temperatura y precipitación promedio anual. En este caso la coincidencia y/o diferencia entre ambas clasificaciones se considera pudieran ser complementarias, más que antagónicas.

Dentro de las características más notorias de esta nueva propuesta de dominios climáticos se incluye el hecho que evidencian los efectos que tienen las cadenas montañosas sobre la heterogeneidad del clima característico del EVT. 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. Citlaltépetl, Iztaccíhuatl y Popocatépetl) 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 idóneas que coadyuvan a los procesos ecológicos a los que está sujeta la biodiversidad de esta zona del país. La regionalización propuesta a nivel de 2 dominios podría ser considerada como base de ambiental para proponer una nueva delimitación del EVT, debido a que, los límites geográficos de los dos dominios no coinciden con los de otras propuestas basadas en datos biológicos, como las de dos distritos (uno oriental y otro occidental) propuestos por Escalante *et al.* (2007) y Gamez *et al.*

© Los autores
www.geo-focus.org

(2012). Los límites propuestos por estos autores se encuentran aproximadamente entre -102° y -101° de longitud oeste, mientras que los dominios obtenidos en este estudio rebasan dichos límites. Sin embargo, la propuesta de Ferrusquia-Villafranca (1990), quien divide el EVT en dos subprovincias una meridional y otra septentrional, tiene una mayor coincidencia con los límites definidos en este estudio. Aunque el polígono (meridional) que corresponde al área de los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl queda incluido dentro del dominio dos (figura 4). Ambas regionalizaciones la morfotectónica propuesta por Ferrusquia-Villafranca (1990; figura 2) y la de dos dominios climáticos (figura 2) reconocen una región (meridional) extrema al oriente del EVT. Esto sugiere que esta provincia podría tener su límite en la parte oriental, en dónde se forma esta unidad geofísica (meridional) que tal vez corresponda con mayor afinidad a la provincia del Golfo de México.

La regionalización del EVT generada a nivel de cuatro dominios climáticos (figura 5) tiene una gran coincidencia con las cuatro regiones faunísticas 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 áreas 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 indispensable 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 en los cuales, está basada la selección de áreas de conservación (Mackey *et al.*, 2008). La carencia de información biológica ha dado la pauta para la selección de nuevos atributos que se denominan sustitutos de la biodiversidad (surrogates o subrogados). Es decir, existe la necesidad de generar información de los atributos ambientales que determinan la distribución de especies, para hacer análisis que permitan definir áreas prioritarias para su conservación. Al igual que en diversas partes del mundo y de México, el EVT es una zona de la que se desconoce aún cuales son los factores ambientales que limitan la distribución geográfica de la mayoría de las especies que en ahí se distribuyen. Sin embargo, el empleo de sustitutos ambientales como los dominios climáticos definidos en este estudio ayudan a reconocer que existe una alta heterogeneidad ambiental promovente de la variabilidad biológica que puede coadyuvar a tener una regionalización actualizada del EVT, útil para hacer estudios biogeográficos.

La información climática generada en este análisis se plantea con la premisa de que la variación ambiental promueve la variación biológica que sugieren Nix *et al*., (2000). Por lo que, consideramos que 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 las clasificaciones de los dominios climáticos representados en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) que se encuentran dentro del EVT, podrían

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

ser la base para evaluar el papel que éstas áreas desempeñan en la protección y conservación de la biodiversidad. Las aplicaciones que tienen los dominios climáticos como sustitutos de la biodiversidad, ha sido por medio de la coincidencia y representación que tienen con las ANP (Morgan, 2007; Londoño-Murcia *et al.*, 2010).

La comparación entre las ANP que se encuentran en el EVT y las regionalizaciones a los niveles de 10 y 50 dominios son una muestra que estas no solo excluyen de sus límites parte de la diversidad biológica, sino también parte importante de la variación ambiental que es la que mantiene y da continuidad a muchos de los procesos biológicos que en el EVT ocurren. Considerando la premisa de que la variación ambiental promueve la variación biológica (Nix *et al*., 2000) el área de las ANP debería ser 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 que puedan resguardar la biodiversidad en esta zona del EVT.

6. Conclusiones

La correspondencia geográfica de los dominios con las ANP indica que éstos pueden ser usados adecuadamente como sustitutos de la biodiversidad que se encuentra en ellos. 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 incluso 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 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.

De cualquier manera las ANP 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 y Romero, 1999).

© Los autores
www.geo-focus.org

Agradecimientos

El primer autor agradece al posgrado en ciencias biológicas de la U.N.A.M. y también al CONACYT por la beca (186550) otorgada. A los evaluadores anónimos del trabajo por sus sugerencias que enriquecieron el manuscrito.

Referencias bibliográficas

Alcántara, O. y Paniagua, M. (2007): "Patrones de distribución y conservación de plantas endémicas", en Luna, I., Morrone, J. J. y Espinoza, D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 421-438.

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

Belbin, L. (1987): "The use of non-hierarchical allocation methods for clustering large sets of data", *Australia Computing Journal*, 19, pp. 32-41.

Belbin, L. (1989): *PATN Technical Reference*. POBox 84, Lyneham, ACT 2602, Australia.

Belbin, L. (2004): *PATN Versión 3.03*. Blatant Fabrications PTY Ltd. Australia.

Castellano de Rosas, E. (2007): "Reconocimiento espacial de los paisajes", en Luna, I., Monrroe J.J. y Espinoza D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 39-55.

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

Cuervo-Robayo, A., Telléz-Váldes, O., Gómez, M. A., Venegas-Barrera, C. S., Manjarrez J. F. y Martínez-Meyer, E. (2013): "An update of high-resolution monthly climate surfaces for México", *International Journal of Climatology*", doi:10.1002/joc.3848.

Dávila, M., Jiménez, O., Castro, R., Arévalo, A., Stanley, J. y Meras-Cabrera, L. (2010): "A preliminary selection of regions in Mexico with potential for geological carbon storage", *International Journal of Physical Sciences*, 5, pp. 408-414.

Delgadillo, C. M., Villaseñor, J. L., y Dávila, P. (2003): "Endemism in the Mexican Flora: a comparative study in three plants groups", *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 90, pp. 25-34.

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

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., Morrone, J. J. y Espinoza D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 485-502.

© Los autores
www.geo-focus.org

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

Espinosa, D. S. y Ocegueda, S. (2007): "Introducción", en Luna, I., Morrone, J. J. y Espinoza, D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 5-6.

Ferrari, L. (2000): "Avances en el conocimiento de la faja volcánica transmexicana durante la última década", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, pp. 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. México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ferrusquía-Villafranca, I. (1993): "La geología de México: una sinópsis", en: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., y Fa. J. (Ed.): *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. México, D. F. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 1-107.

Ferrusquía-Villafranca, I. (2007): "Ensayo sobre la caracterización y la significación biológica, en Luna, I., Morrone, J. J. y Espinoza D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 7-23.

Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M. y Morrone J. J. (2012): "Caracterización biogeográfica de la faja volcánica transmexicana y análisis de los patrones de la distribución de su mastofauna", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, pp. 258-272.

García, E. (1981): *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, adaptado para las condiciones de la República Mexicana*. México, Lario S.A. pp. 252.

García, E. (1998): *Climas (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000*. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M. T. y Ferrari, L. (2005): "Petrogénesis ígnea de la faja volcánica transmexicana", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 2,3, pp. 227-285.

Greenland, D. (2005): "Mountain and valley winds", en Oliver, J. E. (Ed.): *Encyclopedia of world climatology*. Springer, Dordrecht, pp. 516-523.

Hernández-Cerda, C. M. y Carrasco-Anaya, E. G. (2007): "Rasgos climáticos más importantes", en Luna, I., Morrone, J. J. y Espinoza D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 57-72 p.

Houlder, D. J., Hutchinson, M. F., Nix, H. A. y McMahon, J. P. (2000): *ANUCLIM 5.1. User guide*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra.

Hutchinson, M. F. y Gessler, P. E. (1994): "Splines – more than just a smooth interpolator", *Geoderma*, 62, pp. 45-67.

Hutchinson, M. F., Nix, H. A., McMahon, J. P. y Ord, K. D. (1995): *Africa-a topographic and climatic database, Version 1.0*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra.

© Los autores
www.geo-focus.org

Jones, H. G. (1994): *Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology*. Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press.

Justus, J., Fuller, T. y Sarkar, S. (2008): "Influence of representation targets on the total area of conservation-area networks", *Conservation Biology*, 22, 3, pp. 673-682.

Landsberg, J. J. (1986): *Physiological ecology of forest production*. London, Academic Press.

Leathwick, J. R., Overton, J. McC. y Mcleod, M. (2003): "An environmental domain classification of New Zealand and its use as a tool for biodiversity management", *Conservation Biology*, 17, pp. 1612-1623.

Londoño-Murcia C., Telléz-Váldes, O. y Sánchez-Cordero, V. (2010): "Environmental heterogeneity of world wildlife fund for nature ecoregions and implications for conservation in neotropical biodiversity hotspots", *Environmental Conservation*, 37, 2, pp. 116-127.

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

Luna, I., Morrone, J. J. y Espinoza, D. (2007): *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.

Mackey, B. G., Berry, S. L., y Brown T. (2008): "Reconciling approaches to biogeographical regionalization: a systematic and generic framework examined with a case study of the Australian continent", *Journal of Biogeography*, 35, pp. 213-229.

Moore, R. T. (1945): "The transverse volcanic biotic province of central México and its relationship to adjacent provinces", *Society of Natural History*, 10, pp. 217-236.

Mooser, F. (1972): "The Mexican Volcanic Belt; Structure and Tectonics", *Geofísica Internacional*, 12, pp. 55-70.

Morgan, F. (2007): *Environmental Domains of Antarctica*. Version 2. Antartica New Zeland Conservation. Landcare New Zeland, pp. 89.

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

Navarro-Sigüenza, A. G., Lira-Noriega, A., Peterson, A. T., Oliveras de Ita, A. y Gordillo-Martínez, A. (2007): "Diversidad, endemismo y conservación de las aves", en Luna, I., Morrone, J. J. y Espinoza D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 461-483.

Nix, H. A. (1986): "A biogeographic analysis of the Australian elapid snakes", en Longmore R. (Ed.): *Atlas of elapid snakes*, Australian Flora and Fauna Series, No. 7, pp. 4-15.

Nix, H. A., Faith, D. P., Hutchinson, M. F., Margules, C. R., West, J., Allison, A., Kesteven, J. L., Natera, G., Slater, W., Stein, J. L. y Walker, P. (2000): *The BioRap Toolbox. A national study of biodiversity assessment and planning for Papua New Guinea*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, pp. 48.

© Los autores
www.geo-focus.org

Palma, M. M., Velázquez, A., Romero, F. J., Bocco, G. (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 Romero, F. J. (comp.): *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México*. México D. F. Universidad Autónoma Metropolitana pp. 287-301.

Rzedowski, J. (1978): "Vegetación de México". México, Editorial Limusa.

Sarkar, S. y Margules, C. R. (2002): "Operationalizing biodiversity for conservation planning", Journal of Biosciences, 27, S2, pp. 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.

Suárez-Mota, M.E. (2012): *Regionalización ambiental y florística y conservación de la provincia biogeográfica del eje volcánico transversal de México*. Tesis de doctorado. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O., Lira-Saade, R. y Villaseñor, J. L. (2013): "Una Regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con Base en su Riqueza Florística", *Botanical Sciences*, 91, 1, pp. 93-105.

Suárez-Mota, M. E. y Téllez-Valdés, O. (2014): "Red de Áreas Prioritarias Para la Conservación de la Biodiversidad del Eje Volcánico Transmexicano Analizando su Riqueza Florística y Variabilidad Climática", *POLIBOTÁNICA* 38, (en prensa).

Torres, M. A. y Luna, I. (2007): "Hacia una síntesis panbiogeográfica", en Luna, I., Morrone, J. J. y Espinoza D. (Ed.): *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 503-514.

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

Villaseñor, J. L. y Téllez-Valdés, O. (2004): "Distribución geográfica potencial de las especies del género Jefea Strother en México", *Anales del Instituto de Biología*, 75, 2, pp. 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, pp. 105-135.

Villaseñor J. L., Delgadillo, C. y Ortiz, E. (2006): "Biodiversity hotspots from a multigroup perspective: Mosses and Senecios in the Transmexican Volcanic Belt", *Biodiversity and Conservation*, 15, pp. 4045-4058.

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

Woodward, F. I. (1987): *Climate and plant distribution*. Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press.

Xu, T. y Hutchinson, M. F. (2011): *ANUCLIM Version 6.1*. Australia, Fenner School of Environment and Society, Australian National University.

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

Xu, T. y Hutchinson, M.F. (2013): "New developments and applications in the ANUCLIM spatial climatic and bioclimatic modelling package", *Environmental Modelling and Software*, 40, pp. 267-279.

APÉNDICE 1

Perfil bioclimático de los 10 dominios en el EVT (valor mínimo-máximo (promedio ±desviación estándar).

	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		0-16	(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)

© Los autores
www.geo-focus.org

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O. y Martínez Meyer, E. (2014): "Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México", *GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 120-143. ISSN: 1578-5157*

	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	
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)

© Los autores
www.geo-focus.org