

**RED DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA
BIODIVERSIDAD DEL EJE VOLCÁNICO TRANSMEXICANO ANALIZANDO
SU RIQUEZA FLORÍSTICA Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

**NETWORK PRIORITY AREAS FOR BIODIVERSITY CONSERVATION IN THE
TRANSMEXICAN VOLCANIC BELT ANALYZING FLORISTIC RICHNESS AND
CLIMATE VARIABILITY**

Mario Ernesto Suárez-Mota y Oswaldo Téllez-Valdés

*Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Unidad de Biotecnología y
Prototipos. Avenida de los Barrios 1; Los Reyes Iztacala, CP 54090 Tlalnepantla, Estado
de México. Correo electrónico: suarezmota.mario@gmail.com*

RESUMEN

El Eje Volcánico Transversal de México (EVT) es la zona donde se sobreponen las regiones Neártica y Neotropical, lo que ha contribuido para que ésta sea una de las zonas donde se concentra la mayor riqueza biológica del país. Con base en la riqueza florística (4055 especies de plantas con semillas) de esta zona, los tipos de vegetación y variabilidad climática que la componen, se definen escenarios para definir redes de áreas prioritarias de conservación. Haciendo análisis de complementariedad metaheurísticos y considerando tres porcentajes (5%, 10% y 25%) de representación de atributos biológicos y ambientales, se definen nueve escenarios que sirven como base para delimitar áreas de conservación en el centro de México. Los escenarios definidos se comparan y analizan con las Áreas Naturales Protegidas y las Regiones Terrestres Prioritarias que han sido delimitadas dentro de la zona del Eje Volcánico Transversal de México. Se encontró que algunas zonas con mayor riqueza no se incluyen en ninguna de las áreas de conservación, lo que sugiere que

es necesario reevaluar la función que estas áreas desempeñan en la protección de la biodiversidad a mediano y largo plazos.

Palabras clave: complementariedad, Red de Áreas de Conservación, ConsNet, Eje Volcánico Transversal

ABSTRACT

The Volcanic Belt of Mexico is located in the overlapping area of the Nearctic and Neotropical regions, which makes it the territory with the highest biological richness in Mexico. Based on the diverse flora (4 055 species of seed plants) of this area, as well as its vegetation types and climate variation, network scenarios are delimited to define priority areas for conservation. By means of complementarity metaheuristics analyses and considering three representation percentages (5%, 10% and 25%) of biological and environmental attributes, nine scenarios are described as a basis to define conservation areas in central Mexico. Those defined scenarios are compared with the Protected Areas and Priority Terrestrial

Regions already existing in the Volcanic Belt area of Mexico. We found that some areas with a high biological richness are not yet included in any of the conservation areas, a fact that suggests the need to reassess the role that these areas play in protecting biodiversity in a medium and long term.

Key words: complementarity, Network of Conservation Areas, ConsNet, Transversal Volcanic Belt

INTRODUCCIÓN

Las grandes redes de reservas son y serán los componentes integrales de la conservación exitosa de la biodiversidad. Sin embargo, la identificación de tales redes está limitada debido a la confusión que se genera por la importancia relativa que existe entre la endemidad y la riqueza de especies (Prendergast *et al.*, 1993). Existe evidencia de que las regiones con alta riqueza de especies tienden a ser diferentes de aquellas otras con alta endemidad (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 taxones concretos (Kerr, 1997).

Un aspecto importante en biología de la conservación es el número de categorías taxonómicas supraespecíficas que pueden servir como indicador indirecto (sustituto o subrogado) de la riqueza de especies. Al respecto, Villaseñor (2005) señala que la familia es un nivel taxonómico adecuado para ser empleado como subrogado y puede ser una herramienta valiosa para localizar y diseñar sistemas representativos de las áreas adecuadas para conservar la diversidad de plantas vasculares. Ello resulta especial-

mente importante en países megadiversos, donde los esfuerzos de conservación han sido obstaculizados por la carencia de inventarios de biodiversidad completos (Villaseñor *et al.*, 2005). Además de otros factores (Contreras-Medina y Luna, 2007).

Las decisiones sobre la conservación y manejo de la biodiversidad frecuentemente excluyen análisis detallados para la planificación y diseño de redes de áreas que cumplan con este propósito. En estas circunstancias, la generación de medidas alternativas debe permitir estudios minuciosos y factibles bajo un esquema de recursos y tiempo extensivos (Burgman *et al.*, 2001). 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 escala global (Olson y Dinerstein, 2002).

En México, se han empleado métodos de complementariedad de áreas, basados en fórmulas matemáticas que minimizan o maximizan ciertas condiciones, como la superficie, los costos y la cantidad de especies, entre otros atributos ambientales, que serían empleados para definir áreas de conservación (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 manera eficiente (Vane-Wright *et al.*, 1991; Ceballos, 1999; Rodrigues *et al.*, 1999, 2000a). Este método se basa en la eficiencia y la eficacia. Por

medio de la eficiencia se obtiene el número mínimo de sitios o la menor superficie para albergar y proteger a todas las especies (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 de estos métodos es asegurar la persistencia de toda la biodiversidad posible para el futuro (Rodrigues *et al.*, 1999; 2000a; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001; Williams, 2001). Estos dos métodos permiten priorizar aspectos diferentes: en el caso de la eficiencia, la mínima superficie, y en el de la eficacia, la máxima permanencia de las especies en los sitios. Estas dos características están relacionadas parcialmente, ya que para asegurar la conservación de especies a largo plazo (eficacia) generalmente se requiere 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). Este tipo de algoritmos es la técnica 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, éstas 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 llevará hacia una conservación efectiva (Ehrenfeld, 2000). Los estudios sobre métodos y planes de conservación han tenido un incremento significativo en las últimas décadas; se han generado amplias bases de datos que han permitido la incorporación de conceptos que posibilitan el análisis de la biodiversidad regional para reconocer áreas de mayor concentración de taxones, denominadas como *hotspots* (áreas con concentración importante de riqueza y/o rareza; Myers *et al.*, 2000).

La selección de áreas prioritarias de conservación es primordial en la planificación 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 en 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 da lugar a un conocimiento más amplio y compartido útil para plantear estrategias que permitan definir áreas de conservación biológica.

En México se encuentra una diversidad vegetal excepcional, en la que resalta la

combinación de elementos boreales y meridionales, que han propiciado el origen de la riqueza florística que se distribuye en el país (Rzedowski, 1991a). Los principales factores que favorecen la riqueza florística de México son la variedad de climas y las condiciones fisiográficas. Además, su situación geográfica entre las dos regiones continentales boreal (Neártica) y meridional (Neotropical) ha sido escenario de migraciones de plantas que constituyen una zona de influencia mixta de los elementos florísticos neotropical y holártico (Rzedowski, 1978). Existen clasificaciones biogeográficas que han dividido esta diversidad vegetal en diferentes regiones o provincias; por ejemplo: Rzedowski (1978) divide al país en 17 provincias florísticas agrupadas en cuatro regiones, una de las cuales (Región Mesoamericana de Montaña) incluye al Eje Volcánico Transversal (en adelante EVT), zona que resalta por una flora representada por alrededor de 5.139 especies distribuidas principalmente en los bosques templados que lo constituyen (Villaseñor y Ortiz, 2007).

Algunos autores, como Rzedowski (1973, 1978), Morafka *et al.* (1992), Arriaga *et al.* (1997), Contreras-Medina y Eliosa-León (2001) o Morrone (2001, 2005, 2006) han propuesto esquemas de regionalización del país en diferentes provincias y subprovincias. Entre ellas resalta el EVT como una provincia, delimitada con base en su composición florística y faunística analizada desde distintas perspectivas metodológicas, como los análisis de parsimonia de endemismos, la cladística, la fenética y la panbiogeografía. El EVT, ha sido estrechamente relacionado por su semejanza florística y faunística con otras regiones, como la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y el Valle

de Tehuacán-Cuicatlán (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 su flora y fauna, que permitan proponer divisiones biogeográficas dentro del EVT para complementar o enriquecer aquéllas previamente definidas (Suárez-Mota, 2012).

El EVT presenta una riqueza excepcional de algunos grupos de plantas. Por ejemplo, está documentado que existen más especies del género *Sedum* L. en dicha provincia que en cualquier otra parte de América del Norte (Clausen, 1959). Otro ejemplo es el género *Quercus* L., del que se han reportado 75 de sus especies dentro de los estados que conforman el EVT, cifra que corresponde a 46% del total de las especies reportadas en México (Valencia, 2004). Un tercer ejemplo es el género *Pinus* L., el cual forma parte de los géneros que tienen uno de sus principales centros de diversificación en México (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 destaca por su alto contenido de especies de plantas, sino que también presenta un alto número de endemismos (Fa y Morales, 1991, Villaseñor *et al.*, 2007).

En México existen 2 804 géneros de plantas vasculares (Villaseñor, 2004), de los cuales 1 348 (48,1%) se registran en el EVT (Villaseñor, 2004). Estos géneros se distribuyen en diferentes tipos de vegetación; entre los principales se encuentran los bosques de pino, de encino, de oyamel, los tropicales caducifolios, el húmedo de montaña y el pastizal (Rzedowski, 1978). Debido a que

el EVT es una zona importante de México, por diversos tópicos (biológicos, geológicos, morfotectónicos, ecológicos, económicos y sociales), el presente trabajo tiene como objetivo definir una red de áreas de conservación biológica, mediante un análisis de complementariedad, considerando la riqueza florística y atributos abióticos (climáticos) que constituyen este interesante territorio mexicano.

MÉTODO

Selección del área y subrogados

Área de estudio. Se utilizó el polígono correspondiente a la provincia del Eje Volcánico Transversal delimitado con base en la regionalización geomorfológica de México (Ferrusquía, 1990). Esta provincia está incluida en el territorio de 16 estados del país (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, por los 19° de latitud N (Demant, 1978). La provincia tiene aproximadamente 1 000 km de longitud y una amplitud irregular, que oscila entre 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' 00" (Gómez-Tuena *et al.*, 2005; fig. 1).

Para realizar los análisis, el EVT se dividió en unidades más pequeñas, conocidas como Unidades Geográficas Operativas (UGO). La Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) considera 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 la región de estudio (UICN, 2001). El tamaño

de la cuadrícula en que se dividió el EVT fue determinado siguiendo las recomendaciones de la misma UICN (Suárez-Mota y Villaseñor, 2011; Suárez-Mota, 2012). Se hizo una modificación a las recomendaciones de la UICN que consistió en subdividir el tamaño obtenido de las UGO, para ajustarlo a los requerimientos de ConsNet. De esta manera, el EVT fue dividido en celdas de 10 km de latitud y longitud; utilizando este tamaño de cuadro, el EVT fue dividido en 1650 UGO (fig. 1).

Subrogados. Se seleccionó 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 (Suárez-Mota, 2012). 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 se seleccionaron especies documentadas en las bases de datos de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB), disponible en la página web de la Comisión Nacional sobre Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Los datos obtenidos de la REMIB fueron revisados previamente a su uso. Por ejemplo, los nombres de las especies se compararon con la información contenida en catálogos y fichas taxonómicas que se han producido en diversos herbarios, tanto nacionales como del extranjero y 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 in-

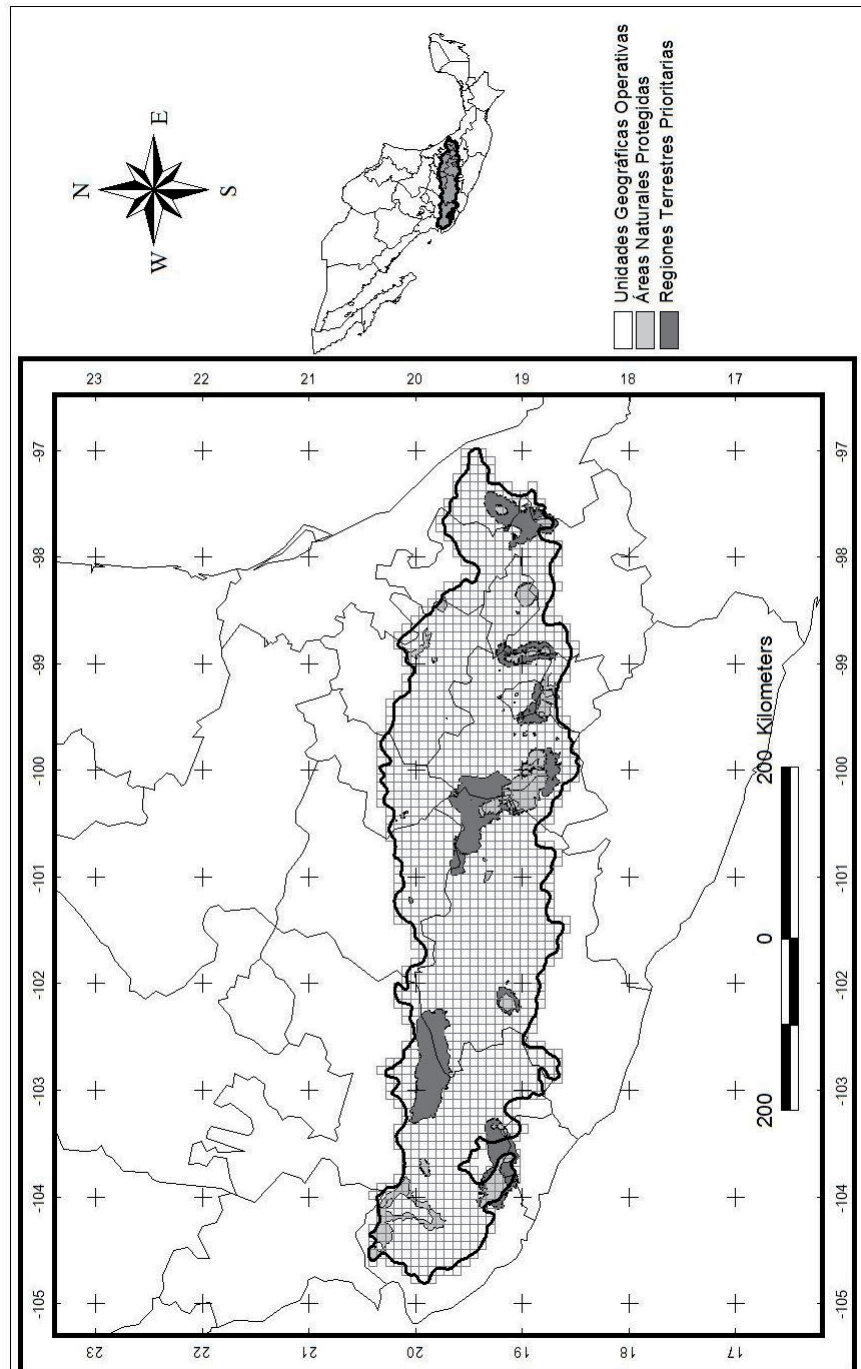


Fig. 1. Área del Eje Volcánico dividido en 1650 Unidades Geográficas Operativas.

cluidos en otras fuentes, como en el catálogo florístico del bosque húmedo de montaña en México (Villaseñor, 2010). De esta manera se redujo notablemente la 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); con ello se corroboró que los registros coincidieran con los estados y localidades donde han sido registrados, con lo cual se verificó que los patrones de distribución de las especies estuvieran dentro del polígono del EVT. Con los datos de las especies (nombre científico y georreferencias) distribuidas dentro de los límites del polígono de la provincia morfotectónica del EVT, se estructuró una base de datos, la cual se organizó utilizando el programa Microsoft Access 2007.

Se empleó un sistema de información geográfica (SIG; ArcView 3.2, ESRI, 2000) para delimitar los polígonos de las Áreas Naturales protegidas (ANP) y las regiones terrestres prioritarias (RTP), utilizando los mapas generados por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad (CONABIO, 1997) respectivamente (fig. 1). Con la tercera serie de la capa de vegetación y uso del suelo (INEGI 2005) se identificaron las áreas antropogénicas (los asentamientos humanos, plantaciones forestales, urbanos, agrícolas, pastos, etc.) y se establecieron en ConsNet como las celdas para excluirse del diseño de la red de áreas de conservación, porque son zonas 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 (Suárez-Mota, 2012). Como atributos ambientales se incluyeron en el análisis los 404 dominios climáticos que caracterizan la variabilidad climática del EVT, (Suárez-Mota, 2012). Finalmente con los subrogados definidos (especies de plantas, ANP, RTP, tipos de vegetación y dominios climáticos) se estructuró una matriz de presencia-ausencia en la que las UGO se acomodaron en filas frente a los subrogados en columnas. Con esta matriz se crearon los escenarios de conservación al 5%, 10% y 25%, expresados como el porcentaje de la representación total obtenida de la probabilidad de ocurrencia de los subrogados en las celdas en que se dividió el EVT.

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). Se utilizó el método de complementariedad implementado en el software ConsNet (Ciarleglio *et al.*, 2008, 2009). Haciendo uso de algoritmos metaheurísticos, como los implementados en ConsNet (Ciarleglio *et al.*, 2008, 2009), se estima 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. Así como, datos ambientales y de los ecosistemas a través de un algoritmo de

inteligencia artificial (“búsqueda tabú”). A partir de esta 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 planificación (Margules y Sarkar, 2007).

ConsNet es compatible con objetivos basados en una selección dinámica de búsqueda, que controla los agrupamientos de celdas posibles durante las soluciones, estos objetivos resultantes representan la red de áreas de conservación definidos, como escenarios (RAC por sus siglas en inglés). Los organiza y estructura para solucionar los problemas espaciales, mediante la probabilidad de la distribución de especies para cada celda en una cuadrícula geográfica, posteriormente, ConsNet hace una decisión de tipo binaria (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 (Ciarleglio *et al.*, 2009).

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 que emplea el programa ConsNet (descritos en Ciarleglio *et al.*, 2009) y tres porcentajes de conservación (5%, 10% y 25) del total de cada uno de los subrogados empleados.

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

Los datos de plantas distribuidas en el EVT que se emplearon fueron obtenidos

de Suárez-Mota *et al.* (2013) y permitieron incorporar los referentes a 4.055 especies, agrupadas en 999 géneros y 47 familias (cuadro 1), tales cifras representan 78,9% de las estimadas por Villaseñor y Ortiz (2007). Las familias con mayor número de especies registradas son, en primer lugar Asteraceae con 761 especies, que corresponden al 18.8%, en segundo lugar Fabaceae con 592 (14.6%) y en tercer lugar Poaceae con 588 (14.5%). Las familias con menos especies registradas son Hamamelidaceae, Magnoliaceae y Podocarpaceae, con 4, 6 y 3 especies respectivamente (Suárez-Mota, 2012; Suárez-Mota *et al.*, 2013).

RESULTADOS

En el EVT se distribuyen 18 tipos de vegetación (INEGI, 2005). La superficie total de la provincia morfotectónica del EVT es de 163.015 km²; de ellos, la cobertura vegetal es de 58.274,2 km² (35.7%), mientras que el resto 104.740.8 km² (64.2%) ha sido ocupado para establecer zonas urbanas, agrícolas, ganaderas o industriales (Suárez-Mota, 2012; Suárez-Mota *et al.*, 2013), lo que ha influido notablemente en la reducción del área de distribución de las especies (cuadro 2).

En el EVT se observa que en distancias muy cortas ocurren cambios climáticos drásticos, debido a los importantes gradientes altitudinales, a la complejidad topográfica y a su orografía en general, así como a la elevación de las serranías (Greeland, 2005). Tal variabilidad climática se ve reflejada en los 404 dominios que caracterizan a esta provincia y en la distribución que tienen en cada UGO; en 130 se registra un dominio, mientras que sólo en dos UGO se registran 18 dominios diferentes (Suárez-Mota, 2012).

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

Núm.	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

Cuadro 1. Conclusión.

Núm.	Familia	Géneros	Especies	Registros
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

Se obtuvieron los polígonos de las 37 Áreas Naturales Protegidas (ANP) que han sido decretadas en el EVT, con el mapa generado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP; cuadro 3). La superposición 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 registradas en el EVT (fig. 2). Este último mapa es la base para proponer áreas prioritarias de conservación biológica en el EVT, considerando un total de 4 209 subrogados, representados en 295 de las 1 242 celdas donde se registraron.

En el EVT, existen 20 de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), propuestas por la CONABIO, las cuales son áreas ambientalmente estables que destacan por su riqueza ecosistémica y biológica, así como por la presencia de especies endémicas que requieren de un plan de conservación (Espinoza-Rodríguez, 2000). De estas RTP, sólo 12 se encuentran con más del 50% de su área dentro del polígono del EVT, y son las que se consideraron para el análisis de complementariedad utilizando ConsNet (cuadro 4).

Considerando los datos de 4 055 especies de plantas, 18 tipos de vegetación, 404

Cuadro 2. 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 de plantas y el número de sus registros.

Tipo de vegetación	Área	% del EVT	Total de especies	Total de registros
bosque de encino	9 687.7	5.94	1 387	4 418
bosque de encino-pino	2 827.4	1.73	746	1 649
bosque de oyamel	1 143.8	0.70	387	893
bosque de pino	5 487.9	3.37	1 277	5 384
bosque de pino-encino	11 617.9	7.13	1 369	4 498
bosque de tascate	489.3	0.30	11	11
bosque mesófilo de montana	1 401.2	0.86	977	2 309
matorral crasicaule	1 987.8	1.22	355	631
matorral desértico rosetófilo	658.0	0.40	414	975
matorral submontano	76.5	0.05	12	12
pastizal halófilo	334.8	0.21	34	39
pastizal inducido	10 156.8	6.23	1 460	4 077
pradera de alta montana	139.6	0.09	141	242
selva alta perennifolia	75.9	0.05	10	13
selva baja caducifolia	11 298.6	6.93	918	1 907
selva mediana subcaducifolia	539.4	0.33	12	13
tular	167.8	0.10	2	7
vegetación halófila	183.8	0.11	33	38
TOTAL	58 274.2	35.75	-	27 116

Cuadro 3. Área que ocupan las áreas naturales protegidas (ANP's) del EVT.

Categoría	Nombre	Área (km²)
RB	Barranca de Metztitlan	960.43
PN	Barranca del Cupatitzio	4.27
PN	Bosencheve	146.00
PN	Cerro de Garnica	9.78
PN	Cerro de la Estrella	11.83
PN	Cerro de las Campanas	0.58
APFyF	Ciénegas del Lerma	30.24
APFyF	Cobio Chichinautzin	371.95
PN	Cofre de Perote	115.50
APRN	Cuenca alimentadora del distrito de riego 043 estado de Nayarit	15 534.38
APRN	Cuenca hidrográfica del río Necaxa	416.92
APRN	Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	1 728.79
PN	Cumbres del Ajusco	5.01
PN	Desierto de los Leones	15.24
PN	Desierto del Carmen o de Nixcongo	4.75
PN	El Chico	27.29
PN	Cimatario	25.09
PN	Histórico Coyoacán	0.40
APFyF	El Jabalí	50.65
PN	El Tepeyac	2.49
PN	El Tepozteco	232.59
PN	Fuentes Brotantes de Tlalpan	0.22
PN	Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	19.20
PN	Insurgente José María Morelos	71.92
PN	Iztaccihuatl-Popocatepetl	405.91
PN	Lago de Camécuaro	0.05
PN	Lagunas de Zempoala	45.56
PN	Lomas de Padierna	11.61
PN	Los Remedios	4.68
PN	Malinche o Matlalcueyatl	454.94

Cuadro 3. Conclusión.

Categoría	Nombre	Área (km²)
RB	Mariposa Monarca	562.58
PN	Molino de Flores Netzahualcoyotl	0.46
PN	Nevado de Colima	65.25
PN	Nevado de Toluca	539.88
PN	Pico de Orizaba	196.01
PN	Pico de Tancítaro	234.48
PN	Rayon	0.26
PN	Sacromonte	0.44
RB	Sierra de Manantlán	1 395.77
APFyF	Sierra de Quila	141.68
PN	Tula	1.06
PN	Xicoténcatl	8.51
	Total	23 854.65
	% del Eje Volcánico Transversal	14.63

APFyF = Área de Protección Forestal y Refugio de la Fauna, APRN = Área de Protección de los Recursos Naturales Zona Protectora Forestal, PN = Parque Nacional y RB = Reserva de la Biósfera.

dominios climáticos, 37 ANP y 12 RTP distribuidas en EVT, se tiene un total de 4 526 subrogados organizados en columnas frente a 1 242 UGO en filas; de este modo se estructuró la matriz de análisis para integrarla en ConsNet (la información de la matriz es disponible en contacto con los autores). La distribución de los subrogados en las celdas en que se dividió el EVT es muy variable. Una de las UGO cuenta con 858 subrogados (el mayor número reconocidos en las celdas), tres UGO sólo cuentan con dos (fig. 2). En promedio las UGO contienen 37.4 de los subrogados e incluso, algunas contienen

sólo uno de ellos. La distribución de las especies de plantas en las 1 242 UGO que tienen registros no es uniforme. La riqueza de especies por UGO varió de 855 (20.8% del total de especies) en una UGO, a una especie (0.02%) en 137 UGO. En promedio se tienen 33 especies por UGO. El número de tipos de vegetación representados en cada UGO también difirió, de cuatro en una UGO a cero (en 71 UGO). En promedio se tienen dos tipos de vegetación por UGO. En el caso de los dominios climáticos, éstos van de ocho en una de las UGO a un dominio, en 191 UGO. En promedio se registraron tres

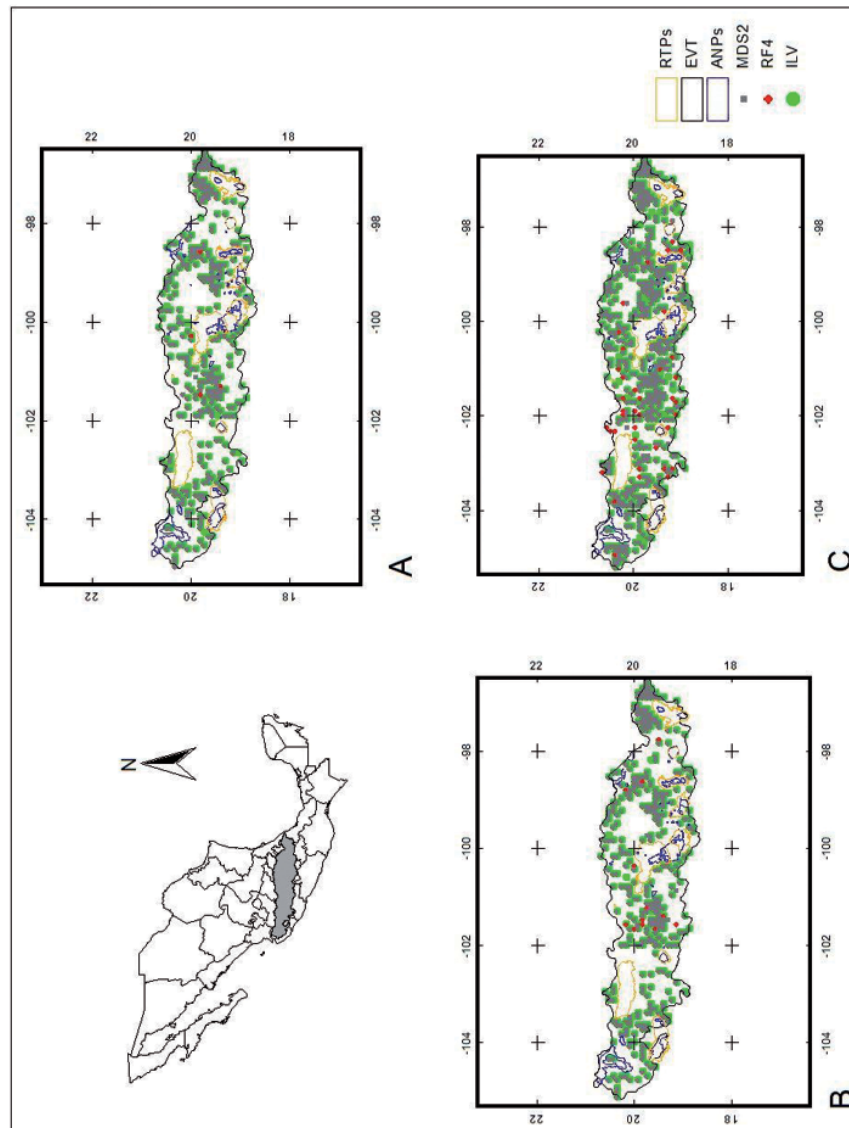


Fig. 2. Red de Áreas de Conservación definidas al excluir las ANP y RTP del EVT. A) Red Áreas de Conservación, obtenidas con el 5% de los subgrupos; B) con el 10% y C) con el 25%.

Cuadro 4. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) seleccionadas en el EVT se incluye la clave de cada RTP y el área que ocupan.

Clave	Nombre	Área (km ²)
112	Hoya Rincón de Parangueo	20
113	Cerro Viejo-Sierras de Chapala	3 400
105	Cuetzalan	1 120
110	Sierra de Chincua	3 580
111	Cerro Ancho-Lago de Cuitzeo	330
64	Manantlán-Volcán de Colima	2 480
122	Pico de Orizaba-Cofre de Perote	2 020
107	Sierra Nevada	1 060
114	Tancítaro	470
106	La Malinche	420
108	Ajusco-Chichinautzin	1 090
109	Nevado de Toluca	1 310
	Total	17 300
	% del EVT	10.61

dominios por cada una de las UGO (cuadro 4). En general, las UGO con más tipos de vegetación son de las menos diversas; sin embargo, la UGO que registra el mayor número de tipos de vegetación (cuatro), coincide con igual número de dominios, dos ANP, una RTP y alberga 81 especies de plantas. En cambio, la UGO ubicada en el primer lugar por su riqueza total de especies de plantas, tiene solamente dos de tipos de vegetación, un dominio climático y no se encuentra dentro de sus límites, alguna de las ANP o RTP registradas en el EVT.

La aplicación de algoritmos implementados en ConsNet con tres porcentajes de conservación permitieron generar nueve escenarios

o redes de conservación. En el cuadro 5 se muestran los resultados presentados de forma comparativa entre los nueve escenarios de conservación generados excluyendo el área correspondiente a las ANP y RTP. El algoritmo MDS2 dio las mejores soluciones con menor cantidad de celdas (311) y el valor más bajo en los tres porcentajes empleados (cuadro 5). Los algoritmos ILV4 y RF4 resultaron muy similares entre sus valores (cuadro 5). 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

Cuadro 5. Datos obtenidos en el análisis de ConsNet para nueve escenarios de conservación de la biodiversidad, excluyendo las celdas correspondientes a las Áreas Naturales Protegidas y RTP que se ubican en el EVT.
En la búsqueda a diferentes porcentajes de los subrogados incluidos.

	5%			10%			25%		
	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4
Búsqueda									
Total de celdas	313	311	311	323	321	320	477	472	472
Área	27 890.9	277 13.2	27 712.5	28 782.5	28 605.4	28 516.1	42 508.7	42 061.5	42 060.1
Perímetro	7 843.6	7 635.3	7 727.9	7 995.8	7 938.8	7 936.5	9 962.1	9 741.1	10 152.3
Agrupamientos	131	130	130	133	133	133	118	120	137
Total representaciones	19 760	19 753	19 737	20 328	20 078	20 011	23 306	23 347	23 408

Cuadro 6. 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.

	5%			10%			25%		
	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4	ILV4	MDS2	RF4
Búsqueda									
Total de celdas	311	308	305	323	318	312	424	415	416
Área	27 727.7	27 457.9	27 190.8	28 796.9	28 351.8	27 817.9	37 796.9	36 994.3	37 084
Perímetro	7 707.8	7 749.8	7 692.6	8 090.1	8 029.6	7 935.7	9 885.1	9 785.4	9 117.3
Agrupamientos	124	128	126	133	135	132	138	141	122
Total representaciones	27 579	27 500	27 021	27 860	27 678	26 971	30 308	29 980	29 450

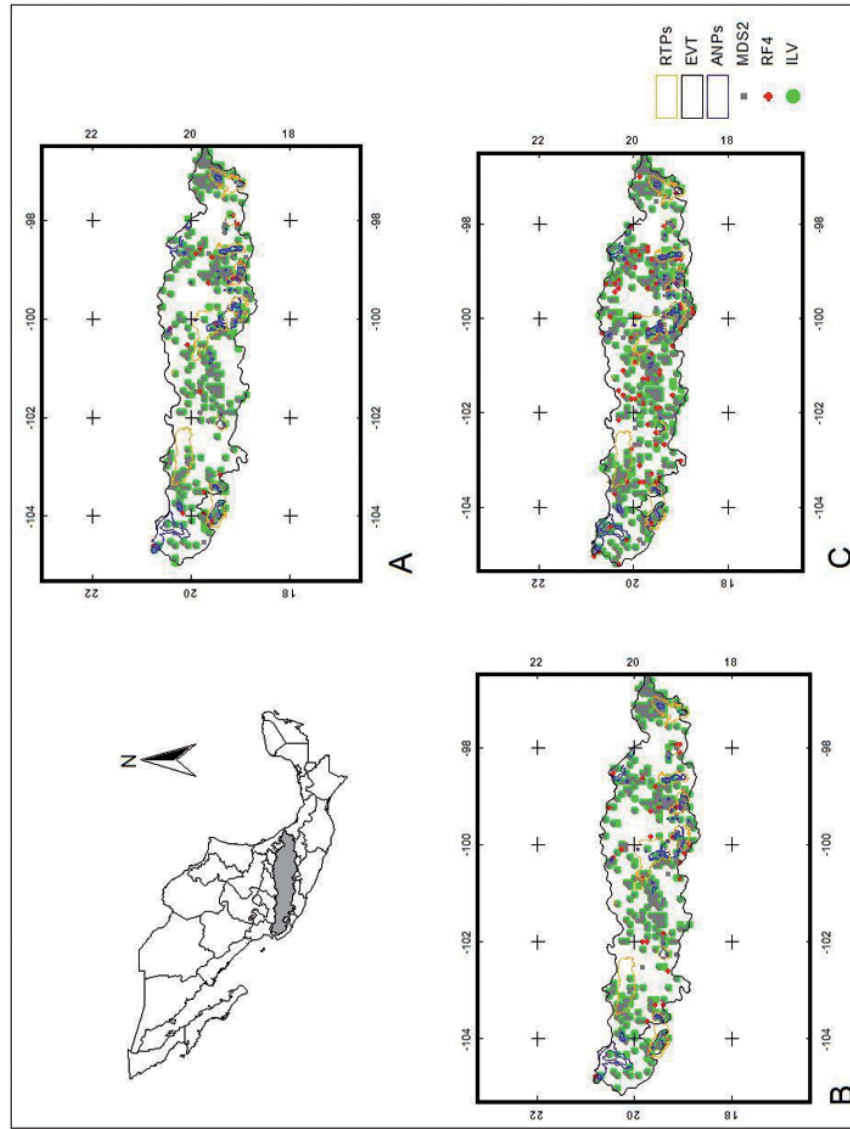


Fig. 3. Red de Áreas de Conservación definidas al incluir las ANP y RTP del EVT. A) Red Áreas de Conservación, obtenidas con el 5% de los subgrupos; B) con el 10% y C) con el 25%. Las abreviaciones (Ilv, Mds y Rf), se definen en el cuadro 1.

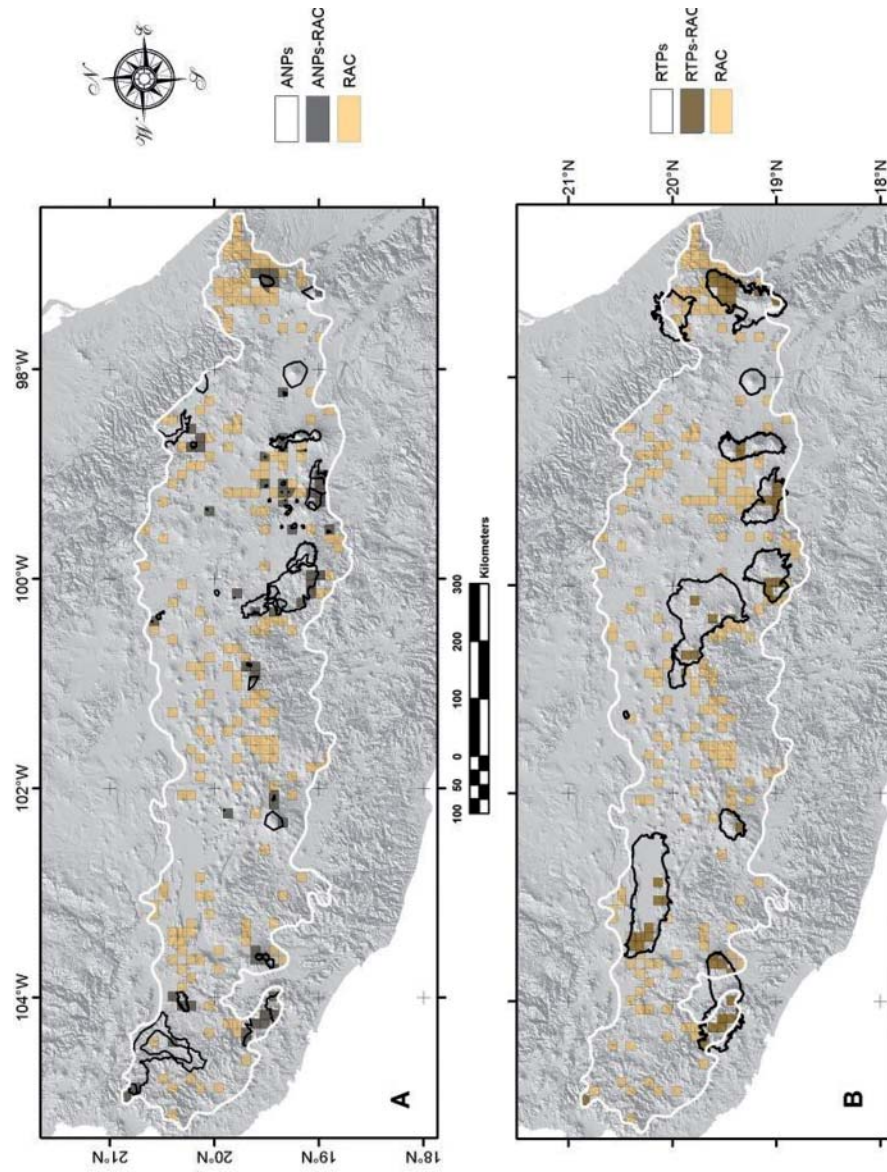


Fig. 4. Celdas de la Red de Áreas de Conservación (RAC) que se ubican dentro de los límites de: A) Áreas Naturales Protegidas (ANP) y B) Regiones Terrestres Prioritarias (RTP).

total de 477 celdas. El total de las 1 172 celdas en donde hay registros de especies de plantas cubren un área de 104 433,12 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 3 y el cuadro 5.

Al buscar escenarios de conservación biológica incluyendo las celdas en donde se distribuyen las ANP y las RTP, se obtuvieron resultados muy similares a los anteriores. En este ejercicio el programa ocupó un total de 1 664 celdas que en total cubren un área de 148 295.7 km² (90.9% del EVT). El área y celdas que cada búsqueda ocupan se muestran en la figura 3 y en el cuadro 6.

La superposición 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 y RTP registradas en el EVT (fig. 4). Este último mapa es la base para proponer áreas prioritarias de conservación biológica en el EVT considerando un total de 4,526 subrogados representados en 295 UGO (fig. 4).

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 cuan 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 planificadores, en la elección de áreas a conservar (Urbina-Cardona y Flores-Villela, 2010). En esencia, todos los algoritmos de selección deben cumplir 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 y 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, está compuesto por 305 celdas. En un estudio realizado para seleccionar áreas de conservación de la biodiversidad mexicana a escala nacional (Koleff *et al.*, 2009), existe una coincidencia del 70% de las áreas seleccionadas en este estudio del

EVT. Sin embargo, los resultados de otros estudios realizados con otros grupos taxonómicos en el EVT (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005; Escalante *et al.*, 2007), muestran una menor coincidencia con el presente 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 intervalos de distribución circunscritos (Flores-Villela *et al.*, 2010).

Para las regiones con prioridad de este estudio (cuadro 5), las expectativas de protección no son muy prometedoras, porque la mayoría de ellas están fuera de los límites actuales de las ANP. Una comparación con análisis anteriores (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 y RTP, se establecen escenarios y tiene en cuenta los patrones de uso del suelo. 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 para 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 una revisión de metodologías empleadas en los últimos 25 años para la conservación de la biodiversidad de México, se encontró que desde hace 10 años se realizan trabajos encaminados a la distribución y conservación con estudios de tanto de panbiogeografía, cladística, análisis parsimoniosos de endemismos como de análisis multivariados. Más recientemente durante los últimos cinco años se han implementado los modelos de distribución potencial para especies específicas con diferentes algoritmos (Bioclim, MaxEnt, GARP, etc.), y actualmente se realizan análisis de complementariedad (ConsNet). Consideramos 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 realizado en este trabajo es un ejemplo para mostrar que las ANP se han decretado bajo ciertos criterios (Peterson, *et al.*, 2000) que son insuficientes para el objetivo primordial planteado para delimitar estas áreas. Por ello, las ANP, presentes en el EVT deben incrementar su área, al menos, con las celdas contiguas a ellas y definidas en este ejercicio (fig. 4). Una de las ANP (mariposa monarca) no se incluye dentro de las RAC, siendo una ANP propuesta seguramente por la importancia de conservar una especie carismática como es

la mariposa monarca (*Danaus plexippus* Linneo, 1758). Sin embargo, La Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, que abarca el conjunto de la Sierra Chincua, se ha definido como un “corredor” que une nodos (áreas con alta diversidad biológica) en el EVT; Torres-Miranda y Luna (2006) 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). 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).

En trabajos de complementariedad, como el de Torres y Luna (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 ello es importante considerar la coincidencia que tienen los trabajos realizados en esta área para que, en conjunto, se puedan realizar análisis más completos con el objetivo de establecer sitios prioritarios de conservación de la biodiversidad en esta importante provincia geomorfológica de México.

Los estudios sobre selección de áreas prioritarias de conservación deben considerar los trabajos que previamente se han realizado y que se reflejan en las ANP que han sido decretadas. En México las ANP decretadas carecen en su mayoría, de conocimiento en cuanto a la composición de sus atributos tanto biológicos como ambientales. Con análisis como este que se presenta pone en evidencia que áreas seleccionadas (UGO) coinciden con las ANP, sin embargo, hay varias que no se incluyen en la red de áreas de conservación, lo que sugiere que con el uso de otros subrogados ya sean grupos taxonómicos o elementos ambientales permitirán incluir UGO que coadyuvarán a que las ANP sean redefinidas y eventualmente se tengan planes de conservación biológica no solo en el EVT sino en todo el territorio nacional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó como parte de un proyecto de investigación del primer autor dentro de sus estudios de doctorado, por lo que agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM y a CONACYT (Beca 186550). A la DGAPA por el apoyo brindado a través del programa PAPIIT al proyecto IN-216912 de Selección de Áreas Prioritarias de Conservación para México.

Un agradecimiento a los tres revisores (anónimos) del manuscrito, sus comentarios y sugerencias enriquecieron notablemente el trabajo.

LITERATURA CITADA

- Arita, H.; F. Figueroa, A. Frisch, P. Rodríguez, y K. Santos-Del Prado, 1997. "Geographical range size and the conservation of Mexican mammals". *Conservation Biology*, **11**: 92-100.
- 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, DF.
- 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, y 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, y S. Sarkar, 2009. ConsNet: "New software for the selection of CANs with spatial and multi-criteria analyses". *Ecography*, **32**: 205-209.
- Ciarleglio, M.; S. Sarkar, y J.W. Barnes, 2008. *ConsNet manual*, V.1.10. University of Texas at Austin, biodiversity and biocultural. Conservation Laboratory, Austin, Texas.
- 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 biogeográficas de México*. Escala 1:4 000 000. México.
- Contreras-Medina, R., y H. Eliosa-León. 2001. "Una visión panbiogeográfica preliminar de México". En: *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: conceptos, teorías, métodos y aplicaciones*. J. Llorente-Bousquets y J.J. Morrone (eds.). Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, DF. 197-211.
- Contreras-Medina, R., e I. Luna, 2007. "Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms". *Biodiversity and Conservation*, **16**(6): 1803-1821.
- Delgadillo, M.C.; J.L. Villaseñor, y P. Dávila, 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 Instituto de Geología*, **2**: 172-187.
- Ehrenfeld, D., 2000. "War and peace and conservation biology". *Conservation Biology*, **14**: 105-112.
- 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.
- 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.
- Espinoza-Rodríguez, J.M. (Ed.), 2000. "Regiones terrestres prioritarias de México". CONABIO. México. 609 pp.
- 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: *Latin*

- American Mammalogy. History, biodiversity and conservation*, M.A. Mares, y D.J. Schmidly (eds.). The University of Oklahoma Press. Norman, Oklahoma. Pp. 199-226.
- Farjon, A., y B.T. Styles, 1997. "*Pinus* (Pinaceae)". *Flora Neotropica Monograph* 75. The New York Botanical Garden. Bronx, New York. 239 pp.
- 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.
- Flores-Villela, O.; L. Canseco-Márquez, y L. Ochoa-Ochoa, 2010. "Geographic distribution and conservation of the herpetofauna of the highlands of Central Mexico". pp. 303-321. In: *Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles*. Wilson, L.D., J.H. Townsend, and J.D. Johnson (Eds.). Eagle Mountain Publishing Co., Eagle Mountain, Utah, USA.
- 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.
- Gómez-Tuena, A.; Orozco-Esquivel M.T., y Ferrari L., 2005. "Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana". *Boletín de la Sociedad Geológica de México*, **2**: 227-285.
- Greenland, D., 2005. "Mountain and valleywinds". En: Oliver J.E. Ed. *Encyclopedia of World Climatology*, pp. 516-523, Springer, Dordrecht.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 2005. *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación*, escala 1: 250 000, Serie 3 (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. González, and I. J. March, editores. *Capital Natural de México*. pp. 651-718. CONABIO, México, DF.
- 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. y S. Sarkar, 2007. *Systematic conservation planning*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 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*. Tulane University, New Orleans. 195-226 pp.
- Morrone, J.J., 2001. "Toward a cladistic model for the caribbean subregion: Delimitation of areas of endemism". *Caldasia*, **23**: 43-76.
- , 2005. "Hacia una síntesis biogeográfica de México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **76**(2): 207-252.
- , 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.
- 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.
- Myers, N.; R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca, y J. Kent. 2000. "Biodiversity hotspots for Conservation Priorities". *J. Biodiversity Nature*, **403**: 853-858.
- 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, 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.
- 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**(1427): 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.
- Rzedowski, J., 1973. "Geographical Relationships of the Flora of Mexican Dry Regions". En: Alan Graham (Ed.). *Vegetation and Vegetational History of Northern Latin America*. ElsevierScientific Company. Ámsterdam. 61-73.
- , 1978. "Vegetación de México". Ed. Limusa. México. 432 p.
- , 1991a. "Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México". *Acta Botánica Mexicana*, **14**: 3-21.
- , 1993. "Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico". In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford Univ. Press, New York, USA. pp. 129-144.
- 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, DF.
- 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 pp.
- 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.
- 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. 129 pp.
- Suárez-Mota, M.E.; O. Téllez V., R. Lira S., y J.L. Villaseñor, 2013. "Una regionalización de la Faja Volcánica Transversal de México con base en su riqueza florística". *Botanical Sciences*, **91**(1): 91-105.
- 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.
- Valencia, A.S. 2004. "Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **75**: 33-53.
- 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**(5): 1066-1075.
- Villaseñor, J.L., 2003. "Diversidad y Distribución de las Magnoliophyta de México". *Interciencia*, **28**: 160-167.
- , 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 taxonomic surrogates of plant biodiversity in a megadiverse country". *Conservation Biology*, **19**(1): 232-238.
- 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., y Ortiz E. 2007. "La familia Asteraceae". En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. pp. 289-310. UNAM, México.
- 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.
- Williams, P.H., 2001. *Complementarity*. In: *encyclopedia of biodiversity* (ed. Levin, S.A.). Academic Press, San Diego, CA. 813-829 pp.
- , 1998. "Key sites for conservation: area-selection methods for biodiversity". In: G.M. Mace; A. Balmford, and J.R. Ginsberg (eds). *Conservation in a Changing World: Integrating Processes Into Priorities for Action*. Cambridge University Press, pp. 221-249.

Recibido: 26 enero 2013. Aceptado: 11 noviembre 2013.