

## SISTEMATIZACIÓN BIOCLIMÁTICA DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL (MÉXICO) Y SU RELACIÓN CON LOS PISOS DE VEGETACIÓN

### BIOCLIMATIC SYSTEMATIZATION OF SIERRA MADRE OCCIDENTAL (MEXICO) AND IT'S RELATIONSHIP WITH VEGETATION BELTS

Miguel Ángel Macías-Rodríguez<sup>1</sup>; Joaquín Giménez de Azcárate-Cornide<sup>2</sup>,  
 y Luis Fernando Gopar-Merino<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Guadalajara, Camino Ramón Padilla Sánchez núm. 2100 Nextipac, Zapopan, CP 45110. Jalisco, México.

<sup>2</sup>Departamento de Botánica, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, España, E-27002, Lugo, España.

<sup>3</sup>Centro de Investigación en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Antigua Carretera a Pátzcuaro núm. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. CP 58190. Morelia, Michoacán, México.

Correo electrónico: mmacias@cucba.udg.mx.

---

#### RESUMEN

Con base en la diagnosis bioclimática de 377 estaciones meteorológicas repartidas por la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental (SMO) y en la información florística y de vegetación recopilada, se han identificado las unidades bioclimáticas del territorio, de las que se efectúa su caracterización geobotánica. El área se incluye en el macrobioclima tropical, estando representados los bioclimas Tropical Desértico, Tropical Xérico y Tropical Pluviestacional. Para cada uno se han identificado sus pisos bioclimáticos (19 en total) de los cuales se efectúa su diagnosis geobotánica a través de la identificación de sus respectivos pisos de vegetación, haciendo énfasis en la estructura de la vegetación natural potencial, sus principales indicadores florísticos y su distribución catenal. Estos resultados se complementan con los mapas de bioclimas,

termotipos y ombrotipos y con tres catenas de vegetación realizadas a diferentes latitudes.

**Palabras clave:** indicadores, distribución, isobioclimas, pisos de vegetación, Sierra Madre Occidental.

#### ABSTRACT

Based on bioclimatic diagnosis of 377 meteorological stations throughout the physiographic province of Sierra Madre Occidental (SMO) and the floristic and vegetation information collected, have been identified bioclimatic territorial units, of which his geobotanical characterization is performed. The area is included in the Tropical Macrobioclimate, where Tropical Desert, Tropical Xeric and Tropical Pluviseasonal bioclimates are presented. To each one, their bioclimatic belts have been identified (19 in

total) of which corresponding geobotanical diagnosis is made through the identification of their respective vegetation belts, emphasizing the structure of the potential natural vegetation, its main floristic markers and its catenal distribution. These results are completed with maps of bioclimates, thermotypes and ombrotypes, and three vegetation transects made at different latitudes.

**Key words:** indicators, distribution, isobclimates, vegetation belts, Sierra Madre Occidental.

## INTRODUCCIÓN

En situaciones zonales es el clima el principal factor medioambiental regulador de la distribución de las plantas y de la vegetación (Troll, 1966; Box, 1981; Navarro y Maldonado, 2002; Larcher, 2003), mientras que los factores edáficos y geomorfológicos juegan un papel secundario (Breckle, 2002), situación que se invierte en zonas con fisiografía excepcional medios azonales— como fondos de valle o crestas. La formulación de fundamentos que vinculan el clima con dicha distribución es abordada desde la bioclimatología; la utilización de disciplinas como la geobotánica o la fitosociología dinámico-catenal permite dar robustez y predicción a los modelos establecidos que relacionan y delimitan de forma recíproca la distribución de las plantas y las comunidades vegetales con los valores de temperatura y precipitación (Müller, 1982; Breckle, 2002). La utilización conjunta de datos climáticos, florísticos y fitocenóticos, junto con parámetros e índices derivados de los primeros, constituyen herramientas muy útiles en el análisis de las relaciones entre clima y vegetación, lo que permite trazar fronteras

biogeográficas en territorios florísticos relativamente homogéneos (Tuhkanen, 1980). Entre las aproximaciones más difundidas para relacionar clima y vegetación destacan las de Walter (*Breckle op. cit.*), con su concepto de zonobioma, y los posteriores ajustes y modificaciones efectuadas por Bailey (1995, 1996), Brown *et al.* (1998), Olson *et al.* (2001), Schultz (2005) y Walter (1981), o los modelos y diagramas de Gaussen, cuyas interpretaciones y aplicaciones se han ido perfeccionando en las últimas décadas (Walter y Lieth, 1960-67; Lieth *et al.*, 1999; Rivas-Martínez, 2004; Rivas-Martínez *et al.*, 2011a), y constituyen herramientas diagnósticas de referencia global para discernir y relacionar el clima y la vegetación de acuerdo con el establecimiento de parámetros físicos. El conocimiento cada vez más preciso de la distribución y composición de la vegetación, junto con la oferta de datos climáticos y de herramientas informáticas para su tratamiento, aportan criterio y objetividad en la confección de los modelos. Ello ha llevado a que la bioclimatología se considere como uno de los pilares básicos para clasificar y delimitar los ecosistemas de la Tierra de una forma estandarizada, robusta, predictiva y práctica a escalas adecuadas para su manejo (Sayre *et al.*, 2007); además, se ha aplicado en programas de estudio y conservación de la biodiversidad y de los hábitats, en el pronóstico para la obtención de recursos agrícolas y forestales, y en la determinación de futuros escenarios climáticos y de vegetación (Del Río y Penas, 2006; Rivas-Martínez, 2007).

La situación y extensión de la SMO a lo largo del occidente de México determina su función como corredor biológico migratorio de tipos de flora y vegetación de afinidad

Holártica hacia Mesoamérica, además de constituir un área notable de especiación de flora (Rzedowski, 1978; González-Elizondo *et al.*, 2012). Paralelamente su intrincado relieve ha condicionado la diversidad y distribución de especies y comunidades a la vez que su orografía actúa como barrera para la flora y vegetación del Altiplano y de las Planicies Costeras. Todo ello ha favorecido la aparición de ecosistemas de origen y naturaleza antagónicos como desiertos, bosques, pastizales y selvas, entre otros, con una alta diversidad y originalidad florística y fitocenótica.

El gran número de variables tanto ambientales como históricas que confluyen en ella es responsable de la heterogénea composición y distribución de sus formaciones vegetales (González-Elizondo *et al.*, 2007), entre las que destacan los bosques de pino-encino, adaptados a una gran variedad de hábitats y poseedores de la más alta diversidad florística de México (Rzedowski, 1978), lo que repercute en la gran riqueza de comunidades vegetales que alberga. Todo lo anterior junto con los marcados gradientes altitudinales, que en zonas del territorio alcanzan hasta los 3 000 m, justifica la elección de la SMO como un escenario privilegiado para poner en práctica la metodología de análisis bioclimático. Así el objetivo del trabajo es establecer la regionalización bioclimática de la SMO a partir de las relaciones de reciprocidad entre las variaciones climáticas y la distribución de la vegetación; de esta manera se pretende poner en valor el pilar básico considerado en la clasificación de los ecosistemas terrestres de la región de estudio y de México, tal como se ha efectuado en otros territorios americanos; ello fundamentado por la robustez, capacidad de predicción, jerarquía y universalidad del sistema.

En Norteamérica las aportaciones geobotánicas que han utilizado la bioclimatología y la fitosociología para acotar y definir las comunidades vegetales comenzaron a aplicarse en EU y Canadá en la última década del pasado siglo, tanto en estudios de territorios particulares, como en los centrados en el análisis y caracterización de los pisos de vegetación (Peinado *et al.*, 1994a, 1997a, 1997b; Rivas-Martínez, 1997; Peinado *et al.*, 1998; Rivas-Martínez *et al.*, 1999; Peinado *et al.*, 2006, 2007, 2009b, 2010, 2011a). Para los países latinoamericanos, donde los ejemplos son más recientes, destacan los efectuados en los Andes argentinos (Roig *et al.*, 2007), Andes peruanos (Galán de Mera *et al.*, 2003), Andes venezolanos (Costa *et al.*, 2007), Chile (Amigo y Ramírez, 1998; Luebert y Pliscoff, 2006), Bolivia (Navarro y Maldonado, 2002; Navarro, 2011), Chile y Argentina (Amigo y Rodríguez, 2011) entre otros.

En México este tipo de estudios geobotánicos se han desarrollado en territorios concretos y han tenido poca repercusión. Ello se debe a varios factores: los criterios tradicionalmente seguidos en el análisis y clasificación de la vegetación, basados en una diagnosis fisonómica-ecológica apoyada en la arraigada clasificación de Köppen modificada por García (Miranda y Hernández X., 1963; González-Quintero, 1974; Rzedowski, 1978, INEGI, 1996, González-Medrano, 2003); la escasa difusión entre la comunidad científica (ecológica-botánica) de la propuesta bioclimática; y los enormes desafíos taxonómicos que encierra una flora de extraordinaria diversidad (Rzedowski, 1978, 1991; Mittermeier y Goetsch, 1992; Villaseñor, 2004), que ha ralentizado la adopción de una propuesta sistemática y jerárquica. Pese a ello, se han efectuado

no pocos trabajos de corte bioclimático y fitosociológico que aportan información novedosa al estudio de las relaciones entre la vegetación (su composición y distribución) y el clima, entre los que destacan los efectuados en el noroeste mexicano (Peinado *et al.*, 1994b, 1995, 2008, 2010, 2011b; Giménez de Azcárate *et al.*, 2013), en la Faja Volcánica Transmexicana (Almeida *et al.*, 1994, 2004; Escamilla *et al.*, 1998, 2002; Giménez de Azcárate y Escamilla, 1999; Giménez de Azcárate *et al.*, 1997, 2003, 2004; Medina *et al.*, 2012), y en otras zonas del país como el Altiplano Potosino (Giménez de Azcárate y González-Costilla, 2011) y la Península del Yucatán (Barber y Crespo, 2001).

En el ámbito de la cartografía bioclimática y ecosistémica se han realizado mapas de diferentes territorios como Norteamérica (Rivas-Martínez, 2004), EU (Cress *et al.*, 2009), Sudamérica (Sayre *et al.*, 2008, Rivas-Martínez *et al.*, 2011b), Bolivia (Návarro y Ferreira, 2007), etcétera.

## MÉTODOS

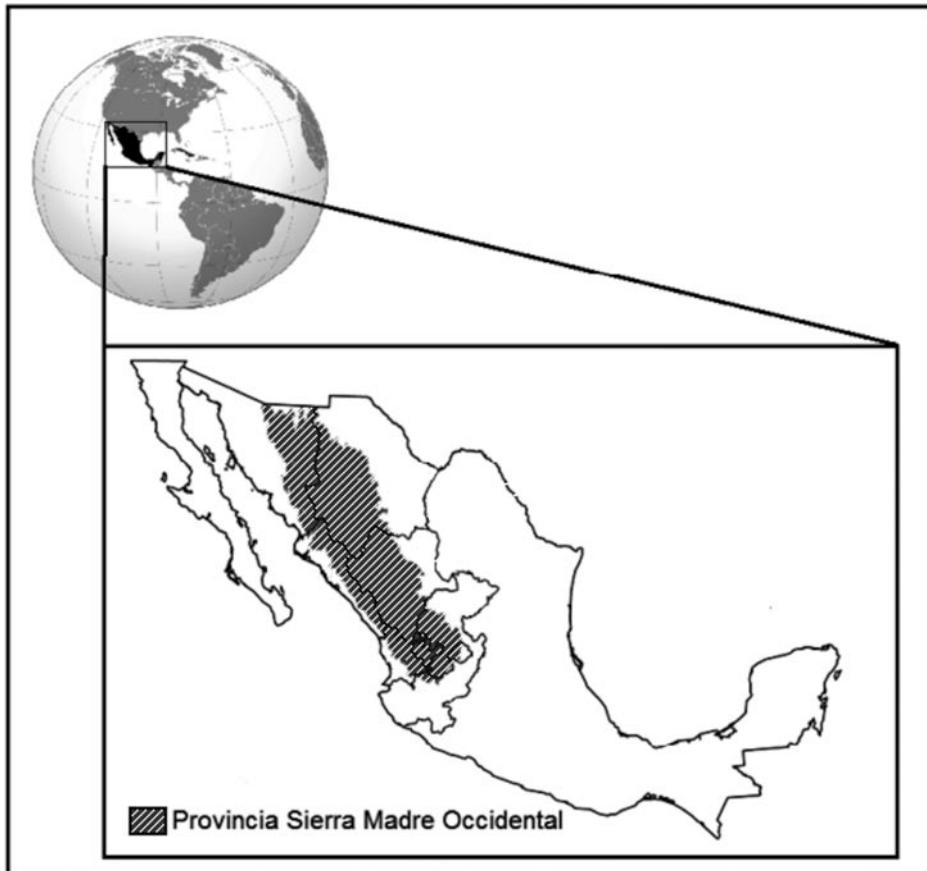
### Área de estudio

El ámbito geográfico está circunscrito a la provincia fisiográfica SMO (Cervantes *et al.*, 1990; CONABIO, 1997) con una superficie aproximada de 280 000 km<sup>2</sup>, la cual engloba la cordillera más larga de México, que se extiende desde la frontera con Arizona y Nuevo México (Estados Unidos) al Norte (30°35' N), y continúa en dirección NNW-SSE hasta el norte de Jalisco, donde entraña con la Faja Volcánica Transmexicana (21°00' N). En su recorrido atraviesa los estados de Sonora (SON), Chihuahua (CHIH), Durango (DGO), Sinaloa (SIN), Zacatecas (ZAC),

Nayarit (NAY), Aguascalientes (AGS) y Jalisco (JAL) (fig. 1).

Sus principales cumbres son el Cerro Gordo (3 347 m), Barajas (3 310 m), Mohinora (3 307 m), Huehuento (3 262 m) y el cerro de Las Antenas (3 224 m), todos en Durango salvo Mohinora localizado al SW de Chihuahua. Las dos vertientes principales de la sierra, la occidental y la oriental, presentan una marcada asimetría; la primera está surcada por profundas barrancas que pueden alcanzar los 1 800 m de desnivel (Urique, El Cobre, Sinforosa, Tamazula, San Lorenzo, Presidio, Baluarte, Mezquital, Santiago y Bolaños); por el contrario el flanco oriental presenta una gradual transición hacia el Altiplano. Los ríos que la drenan lo hacen tanto al Océano Pacífico como al Altiplano Mexicano; en este último caso, unas corrientes vierten a cuencas endorreicas y otras fluyen hacia el Golfo de México a través de los ríos Conchos y Bravo.

Desde el punto de vista biogeográfico el área pertenece mayormente a la provincia florística de la SMO, incluida en la Región Mesoamericana de Montaña, territorio transicional entre los reinos Holártico y Neotropical caracterizado por la convergencia de la flora leñosa de afinidad boreal, los elementos herbáceo de afinidad tropical, y el endémico (Rzedowski, 1978, 1991; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990). Tan solo los extremos occidental y oriental del área de estudio están incluidos, respectivamente, en las provincias Planicie Costera del Noroeste y Costa Pacífica, el primero, y Altipanicie el segundo, pertenecientes todas ellas a la Región Xerofítica-Mexicana (Rzedowski, 1978). Siguiendo la propuesta de Rivas-Martínez *et al.* (1999) la zona de estudio per-



**Fig. 1.** Ubicación del área de estudio.

tenece a la Provincia Madreana Occidental de la Región Madreana, contactando con las Provincias Sonorense, Sinaloense y Chihuahuense (región mexicana-xerofítica).

Las características climáticas están determinadas por la ubicación de la SMO, entre el cinturón subtropical de altas presiones y la zona intertropical de convergencia (franjas latitudinales eutropical y subtropical), su ex-

posición a la entrada de los vientos húmedos del Pacífico, su marcado gradiente altitudinal y latitudinal, y su accidentada y asimétrica orografía, causante del efecto de barrera y de sombra de lluvia. Todo ello condiciona el régimen térmico, con valores promedio mensuales con baja o mediana oscilación, y el ómbrico, de marcada incidencia estival provocado por las masas convectivas que a su vez, provoca el denominado “Frente

Mexicano” a lo largo del flanco occidental de la sierra (Mosiño-Alemán y García, 1974; Douglas *et al.*, 1993); además también se ve afectado por el complejo de tormentas tropicales y huracanes que afectan al Pacífico hacia el final de verano y el otoño (Hastings y Turner, 1965). Las modificaciones climáticas derivadas de los efectos de la altitud (oroclima) y la topografía y exposición (topoclíma), inducen cambios en la velocidad, densidad, temperatura y dirección de las masas de aire, responsables de los marcados contrastes de precipitación y temperatura reflejados en el territorio. Desde el punto de vista climático la SMO se incluye en las Regiones Climáticas Pacífico Central, Norte y Centro (García *et al.*, 1990).

En el ámbito de la conservación destaca la importancia de la SMO como fuente suministradora de bienes y servicios ambientales fundamentales para la sociedad (Bye, 1995; Descroix *et al.*, 2004), e incluye 32 de las 152 Regiones Terrestres Prioritarias (RTPs) de México definidas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Arriaga *et al.*, 2000). En esta línea, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) ha reconocido dentro de la SMO dos megacentros de diversidad: el norte de la Sierra Madre y la cuenca alta del Río Mezquital (Felger y Wilson 1995; González-Elizondo *et al.*, 1997). A ello añadir la relevancia de su patrimonio biocultural, ligado al acervo y vitalidad de los siete grupos indígenas que la habitan (Bye *op. cit.*; Boege, 2008).

### Trabajo de gabinete

El estudio sigue los planteamientos y postulados recogidos en el proyecto “Worldwide Bioclimatic Classification System” que sin-

tetiza y modeliza la información acumulada durante más de cuatro décadas en diferentes regiones de la Tierra (Rivas-Martínez *et al.*, 2011a). El sistema se articula mediante tres niveles fundamentales: macrobioclima, bioclima y piso bioclimático; las distintas unidades de cada nivel están definidas por los valores umbrales discriminantes de ciertos requisitos térmicos y ómbricos de carácter anual, estacional o mensual. Los cinco macrobioclimas reconocidos responden a una concepción de continuidad espacial; cada uno a su vez se subdivide en un número variable de bioclimas, 28 en total, y que constituyen los tipos de clima que influyen en el desarrollo y distribución de las especies y fitocenosis. En cada uno de ellos se diferencian los pisos bioclimáticos que constituyen los tipos de condiciones climáticas que se suceden en una cliserie altitudinal o latitudinal, y que están delimitados en función de dos tipos de factores: los termoclimáticos, basados fundamentalmente en el índice de termicidad (*It*), y los ombroclimáticos, basado en el índice ombrotérmico (*Io*). Los rangos establecidos para cada uno de ellos permiten definir los termotipos o pisos térmicos y los ombrotipos o pisos ómbricos. El concepto de piso bioclimático hace referencia al marco físico o climático que delimita a una realidad biológica, el piso de vegetación posee formaciones y comunidades vegetales propias. La información bioclimática integrada de los tres niveles (bioclima, termotipo y ombrotipo) se sintetiza en el modelo de isobioclima, identificable por los valores climáticos umbrales de cada una de las unidades bioclimáticas que lo constituyen. El fundamento central del sistema se basa en la relación de reciprocidad entre los valores del clima y los modelos de distribución de la vegetación, explicados a través de la zona-

ción altitudinal de los pisos bioclimáticos; asimismo, el sistema recoge aspectos relacionados con las limitaciones que el clima plantea a la vida de las plantas.

Los parámetros e índices básicos utilizados en la presente diagnosis bioclimática son:

**$T_i$** : temperatura media mensual, siendo  $i$ : 1 = enero, , ...12 = diciembre.

**$m_i$** : temperatura media mensual de las mínimas.

**$M_i$** : temperatura media mensual de las máximas.

**$T$** : temperatura media anual

**$T_p$** : temperatura positiva anual.

**$P_i$** : precipitación media mensual.

**$P_p$** : precipitación positiva anual.

**$It$** : índice de termicidad: Es la suma en décimas de grado de  $T$  (temperatura media anual),  $m$  (temperatura media de las mínimas del mes más frío) y  $M$  (temperatura media de las máximas del mes más frío).

$It = (T + m + M) / 10$ .

**$Io$** : índice ombrotérmico: Resulta del cociente entre la precipitación positiva anual ( $P_p$ ), en mm, y la temperatura positiva anual ( $T_p$ ), en décimas de °C, multiplicada por diez.

**$Ic$** : índice de continentalidad: Expresa la diferencia en °C entre la temperatura media del mes más cálido ( $T_{máx}$ ) y la del mes más frío ( $T_{mín}$ ) del año.  $Ic = (T_{máx} - T_{mín})$ .

**$Iod_2$** : índice ombrotermico del bimestre más seco del trimestre más seco del año.

Con la información de las estaciones meteorológicas se pudo construir una primera diagnosis bioclimática a escala puntual. Para ello, se consideraron los datos provenientes de las Estadísticas Climatológicas Básicas del INIFAP de los estados de AGS (Medina et al., 2006b), CHIH (Medina et

al., 2006a), DGO (Medina et al., 2005), JAL (Ruiz et al., 2003), NAY (Ruiz et al., 2009), SIN (Ruiz et al., 2005b), ZAC (Medina y Ruiz, 2004) y SON (Ruiz et al., 2005a). Para complementar la información, se incorporaron otras estaciones meteorológicas procedentes del Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN/CNA) (<http://smn.cna.gob.mx>). En total se contabilizaron 377 estaciones cuyo reparto por estados es como sigue: AGS (18), CHIH (78), DGO (73), JAL (26), NAY (16), SIN (42), SON (61) y ZAC (63). La mayoría de las estaciones se localizan en la franja altitudinal comprendida entre la planicie costera próxima al nivel del mar y los 2 700 m, cubriendo de manera heterogénea y desigual el territorio. Con base en su ubicación geográfica y en los datos de los diferentes parámetros de precipitación y de temperatura promediados mensualmente, se obtuvieron las correspondiente diagnosis de las estaciones, y se elaboraron algunos diagramas representativos de los pisos bioclimáticos reconocidos, utilizando para ello el programa BIOCLIMA (Alcaraz, 2013).

Como complemento de lo anterior, se realizó una diagnosis bioclimática regional efectuada a partir de los datos de precipitación y temperatura extraídos del del Atlas Climático Digital de México (ACDM) (Fernández-Eguiarte et al., 2014). Los datos utilizados fueron proporcionados por el SMN para el periodo comprendido entre el año 1902 y 2011; y examinados mediante la metodología usada en ANUSPLIN (Hutchinson, 2004), la cual fue retomada por el modelo climático global WorldClim (<http://www.worldclim.org>) (Hijmans et al., 2005).

Los datos resultantes de estos modelos fueron expresados en capas formato raster con

pixeles de aproximadamente 1 km<sup>2</sup>. Para mayor detalle acerca de la metodología efectuada en el procesamiento de las imágenes raster, tanto en el WorldClim y del ACDM, consultar a Fernández-Eguiarte *et al.* (2014) e Hijmans *et al.* (2005). La identificación regional de los bioclimas, termotipos, ombrotipos e isobioclimas, se realizó calculando los diversos índices bioclimáticos propuestos por Rivas-Martínez (2008) en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 9.3). Los resultados fueron presentados en cartografía a escala regional, la cual muestra una buena aproximación para estudios exploratorios como el realizado, obviando particularidades de un área determinada (García, 2008).

El mapa bioclimático resultante del anterior análisis se cruzó con el mapa de cubiertas de uso de suelo y vegetación (escala 1:250000) de la Serie IV de INEGI (2007). Este último procedimiento dio como resultado el poder identificar los tipos de cubiertas representativos de la vegetación climatófila y la relación que guardan con los diferentes pisos bioclimáticos. Asimismo se consideraron las descripciones de la vegetación contenidas en la bibliografía (Rzedowski, 1978; González-Elizondo *et al.*, 2007, 2012), y las contribuciones que sobre bioclimatología y fitosociología se reportan de territorios colindantes (Peinado *et al.*, 1994b; Rivas-Martínez *et al.*, 1999; Macías, 2009; Peinado *et al.*, 2009a; Giménez de Azcárate y González-Costilla, 2011; Giménez de Azcárate *et al.*, 2013; Macías *et al.*, 2014; Gopar-Merino *et al.*, 2015). Finalmente, cabe señalar que la delimitación altitudinal de cada uno de los pisos no fue establecida debido a lo extenso y complejo del territorio; esto provoca el que intervalos altitudinales similares, situados en

regiones diferentes de la SMO, puedan tener un encuadre bioclimático distinto.

Complementariamente se realizaron tres transectos de la vegetación potencial a lo largo de la cordillera. La información de campo se completó con la del mapa de uso de suelo y vegetación de la Serie IV de INEGI (2007), del que se seleccionaron los tipos representativos de la vegetación climatófila, para poder ligarlos con su correspondiente piso bioclimático; asimismo se consideraron las descripciones de la vegetación a nivel de formación contenidas en la bibliografía (Rzedowski, 1978; González-Medrano, 2003 y González-Elizondo *et al.*, 2007, 2012), y las contribuciones que sobre bioclimatología y vegetación se reportan de territorios vecinos (Rivas-Martínez *et al.*, 1999; Macías, 2009; Giménez de Azcárate y González-Costilla, 2011; Giménez de Azcárate *et al.*, 2013 y Macías *et al.*, 2014).

### Trabajo de campo

Paralelamente a la diagnosis bioclimática se realizaron entre los años 2009 y 2012 varios recorridos de campo con el fin de verificar y ajustar las relaciones clima-vegetación, considerando para ello los conceptos de la fitosociología dinámico-catenal y de la vegetación potencial natural (Tüxen, 1956; Rzedowski y McVauhg, 1966; Rivas-Martínez, 1997, 2005; Géhu, 2006). Dada la extensión de la SMO y las dificultades taxonómicas de su flora, el trabajo de campo se basó en el análisis de la estructura y fisionomía de la vegetación, y en la determinación de la flora leñosa más representativa. Para ello se consideraron parcelas de muestreo seleccionadas subjetivamente de acuerdo con la estructura de la vegetación poten-

cial, la presencia y dominancia de especies leñosas y el estado de conservación (Beard, 1973; Rivas-Martínez *et al.*, 2011a; Macías *et al.*, 2014).

La identificación de las especies forestales se efectuó en campo; cuando ésto no fue posible se colectaron ejemplares y se determinaron en el laboratorio, utilizando en ambos casos las floras y listados regionales señalados a continuación: Farjon *et al.* (1997); González-Elizondo *et al.* (1991, 2007); González-Elizondo y González-Elizondo (1995); García-Arevalo y González-Elizondo (2003); González-Villareal (1986, 1990); McVaugh (1987, 1989, 1992, 2001) y Vázquez-García *et al.* (2004). Como referente nomenclatural de las especies se utilizó Trópicos database (2014).

### **Elaboración de los mapas**

En la realización de los mapas se consideró la información del ACDM (versión 2.0); se utilizaron los promedios mensuales y anuales de: temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima y precipitación (Fernández-Eguiarte *et al.*, 2014). Las capas de información climática se encuentran en formato raster con pixeles de aproximadamente un kilómetro cuadrado; el periodo considerado fue de 109 años (1902-2011). Los valores de los índices bioclimáticos se obtuvieron al analizar dichas capas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis 9.3. Con base en estos resultados y mediante el proceso de álgebra de mapas, se realizaron una serie de mapas raster con los diferentes valores bioclimáticos obtenidos para cada pixel, lo que dio lugar a los correspondientes mapas de bioclimas, termotipos y ombrotipos. Para homogenizar

la información contenida en las capas raster, éstas se transformaron a formato vector, dando como resultado los correspondientes polígonos. Los mapas se trabajaron a una escala 1: 500 000, y se realizaron con una proyección cónica conforme de Lambert y un Datum WGS 1984; la escala mínima cartografiable fue de 2 mm<sup>2</sup>, es decir, se eliminaron aquellos polígonos con áreas menores a 100 ha.

## **RESULTADOS**

### **Análisis bioclimático**

Con base en la diagnosis bioclimática se determinó que el territorio se encuentra dentro del Macrobioclima Tropical, con presencia de los bioclimas Tropical Desértico ( $0.2 \leq Io \leq 1.0$ ), el Tropical Xérico ( $Io \leq 3.6$ ) y el Tropical Pluviestacional ( $Io \geq 3.6$ ;  $Iod2 \leq 2.5$ ). La representatividad del primero queda relegada a escasos enclaves de extrema xericidad localizados al este y noroeste del área de estudio; por cuestión de escala su visualización en los mapas no fue posible.

El Tropical Pluviestacional se distribuye por las zonas medias y altas de la SMO y por la parte meridional de su vertiente pacífica, mientras que el Tropical Xérico se presenta en la vertiente oriental, en los valles intermontanos en sombra de lluvia y en las porciones central y septentrional de la vertiente pacífica. En el bioclima Tropical Desértico únicamente se reconoció el piso bioclimático Termotropical Árido, respaldado por dos estaciones. Para el bioclima Tropical Xérico se identificaron siete pisos, con un reparto de estaciones como sigue: Infratropical Seco (5), Termotropical Semiárido (13), Termotropical Seco (78),

**Cuadro 1:** Estaciones meteorológicas representativas de los bioclimas Tropical Desértico y Tropical Xérico con sus correspondientes parámetros, índices y diagnosis bioclimática. Acrónimos: Edo: Estado; Alt: Altitud (en metros); *T*: Temperatura media anual (en °C); *P*: Precipitación media anual (en mm); *It*: Índice de termicidad; *Io*: Índice ombrotérmico; Tr: Tropical; De: Desértico; Itr: Infratropical; Ttr: Termotropical; Mtr: Mesotropical; Str: Supratropical; Ar: Árido; Sear: Semiárido; Se: Seco; inf: Inferior; sup: Superior.

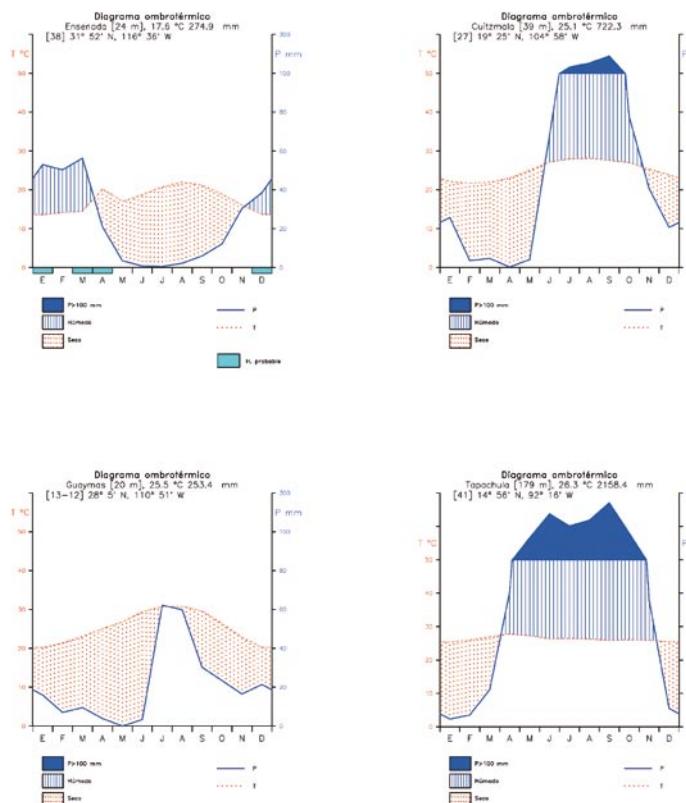
Estación			Parámetros e índices				Isobioclima		
Nombre	Edo	Alt	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>It</i>	<i>Io</i>	Bioclima	Termotipo	Ombrótipo
López Rayón	DGO	1 420	19.9	220	523	0.92	Tr De	Ttr sup	Ar sup
Chapalagana	NAY	320	27.4	770	728	2.34	Tr Xe	Itr sup	Se inf
Bolaños	JAL	850	23.9	616	625	2.14	Tr Xe	Ttr inf	Se inf
Sahuaripa	SON	460	23.1	496	499	1.79	Tr Xe	Ttr sup	Sear sup
Urique	CHIH	599	24.0	806	575	2.80	Tr Xe	Ttr sup	Se sup
Calvillo	AGS	1 685	19.2	627	483	2.71	Tr Xe	Mtr inf	Se inf
El Cazadero	ZAC	1 920	16.8	382	388	1.89	Tr Xe	Mtr sup	Sear sup
Bacamichi	SON	937	17.6	518	361	2.45	Tr Xe	Mtr sup	Se inf
El Tintero	CHIH	1 724	16.0	347	313	1.81	Tr Xe	Str inf	Sear sup
Rosario	DGO	1 800	15.1	458	311	2.53	Tr Xe	Str inf	Se inf

**Cuadro 2:** Estaciones meteorológicas representativas del bioclima Tropical Pluviestacional con sus correspondientes parámetros, índices y diagnosis bioclimática. Acrónimos: Edo: Estado; Alt: Altitud (en metros); *T*: Temperatura media anual (en °C); *P*: Precipitación media anual (en mm); *It*: Índice de termicidad; *Io*: Índice ombrotérmico; Tr: Tropical; Pl: Pluviestacional; Itr: Infratropical; Ttr: Termotropical; Mtr: Mesotropical; Str: Supratropical; Otr: Orotropical; Shu: Subhúmedo; Hu: Húmedo; Hhu: Hiperhúmedo; inf: Inferior; sup: Superior.

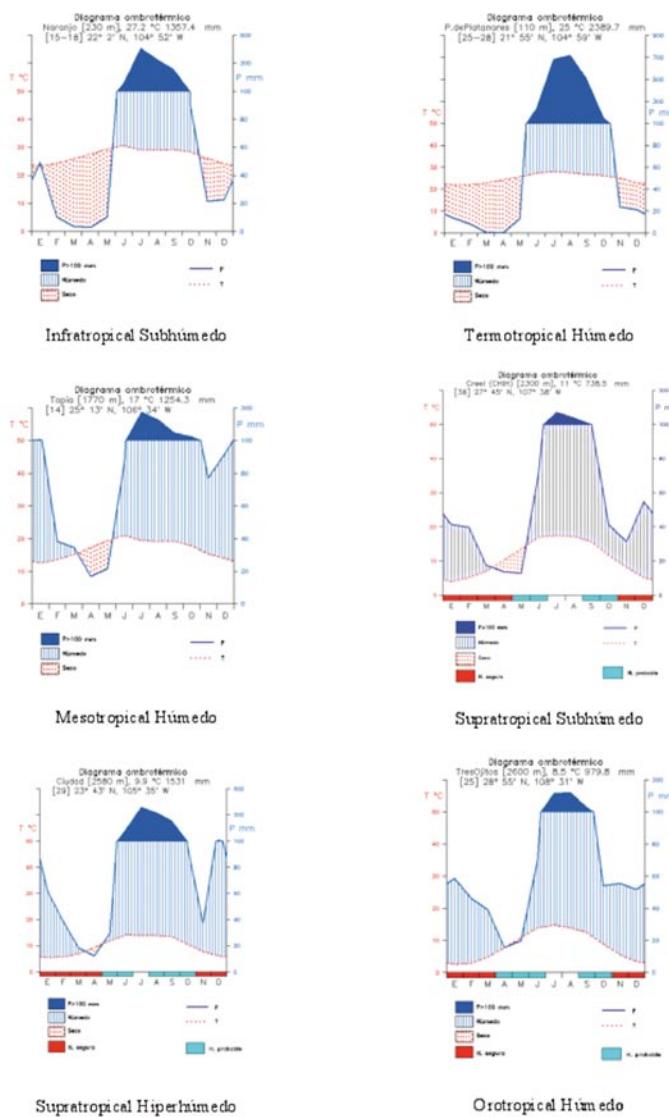
Estación			Parámetros e índices				Isobioclima		
Nombre	Edo	Alt	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>It</i>	<i>Io</i>	Bioclima	Termotipo	Ombrotípico
El Naranjo	NAY	230	27.2	1 357	737	4.16	Tr Ple	Itr sup	Shu inf
Panuco	SIN	400	24.8	1 356	647	4.85	Tr Ple	Ttr inf	Shu sup
Puerta de Plat.	NAY	110	25.0	2 390	687	7.97	Tr Ple	Ttr inf	Hu inf
Los Algodones	SON	817	20.0	884	507	3.68	Tr Ple	Ttr sup	Shu inf
Teul de Glez.	ZAC	1 900	17.9	781	443	3.64	Tr Ple	Mtr inf	Shu inf
Topia	DGO	1 770	16.9	1 254	421	6.16	Tr Ple	Mtr inf	Hu inf
Otinapa	DGO	2 400	12.9	666	271	4.31	Tr Ple	Str inf	Shu inf
Creel	CHIH	2 300	11.0	738	191	5.58	Tr Ple	Str sup	Shu sup
Guachochi	CHIH	2 420	10.2	780	185	6.36	Tr Ple	Str sup	Hu inf
La Ciudad	DGO	2 580	10.0	1 531	208	12.83	Tr Ple	Str sup	Hhu inf
Tres Ojitos	DGO	2 600	8.4	981	134	9.76	Tr Ple	Otr inf	Hu sup

**Cuadro 3.** Correspondencia entre los tipos de vegetación seleccionados de la Serie VI del INEGI (2007) y sus correspondientes isobioclimas. Las intersecciones ☐ indican que el tipo de vegetación en cuestión se corresponde con el isobioclima indicado y constituye su vegetación potencial; cuando dicha intersección es indicada con □ indica que su presencia es de carácter azonal o marginal. T.D.=Tropical Desértico. <sup>(1)</sup>: Incluye el Bosque de Pino-Encino; <sup>(2)</sup>: Incluye Mezquital tropical y Mezquital xerófilo; <sup>(3)</sup>: Incluye Selva mediana caducifolia; <sup>(4)</sup>: Tanto caducifolia y subcaducifolia; <sup>(5)</sup>: Incluye Selva mediana superrennifolia.

Tipo de Vegetación	Isobioclimas											
	T.D.		Tropical Xérico						Tropical Pluviestacional			
	Termotropical árido	Infratropical seco	Termotropical semiárido	Termotropical seco	Mesotropical semiárido	Mesotropical seco	Supratropical semiárido	Supratropical seco	Infratropical subhúmedo	Termotropical subhúmedo	Termotropical húmedo	Mesotropical subhúmedo
Bosque de Oyamel												
Bosque de Ayarín												
Bosque de Pino					—		③		③			
Bosque de Encino-Pino <sup>1</sup>			—		③		—		—	③		
Bosque de Encino		—		③		③		—	—	③	—	③
Bosque Mesófilo de Montaña									—	—	③	
Selva Mediana Subcaducifolia <sup>2</sup>								③	③	③		
Bosque de Tascate				③	③		③			—	—	
Matorral Crasicaula			—	③	—	—	—	—				
Matorral Desértico Micrófilo	③			③		—	—					
Matorral Desértico Rosetófilo				③	—	③	—					
Chaparral					—	—	③					
Selva Baja Caducifolia <sup>3</sup>		③	—	③	—	③			—			
Mezquital <sup>4</sup>	—	—	③		③							
Selva Baja Espinosa <sup>5</sup>	—	—	③	—	—							



**Fig. 2.** Diagramas bioclimáticos de seis estaciones representativas de los Bioclimas Tropical Desértico (López Rayón) y Tropical Xérico (Chapalagana, Urique, Calvillo, El Cazadero y El Tintero).



**Fig. 3.** Diagramas bioclimáticos de seis estaciones representativas de los Bioclimas Tropical Pluviestacional (El Naranjo, Puerta de Platanares, Topia, Creel, La Ciudad y Tres Ojitos).

Mesotropical Semiárido (24), Mesotropical Seco (142), Supratropical Semiárido (1) y Supratropical Seco (22).

Para el bioclima Tropical Pluvial se reconocieron once pisos: Infratropical Subhúmedo (2), Termotropical Subhúmedo (19), Termotropical Húmedo (1), Mesotropical Subhúmedo (14), Mesotropical Húmedo (6), Supratropical Subhúmedo (21), Supratropical Húmedo (20), Supratropical Hiperhúmedo (2), Orotropical Subhúmedo\*, Orotropical Húmedo (5) y Orotropical Hiperhúmedo\*. Los pisos marcados con (\*) carecen de estaciones meteorológicas en el área de estudio; su presencia se justifica con base en los resultados de las extrapolaciones efectuadas en la elaboración de los mapas y en el análisis de la vegetación correspondiente. Una selección de estaciones representativas de cada bioclima, con su correspondiente diagnosis y bioclimograma, se presenta en los cuadros 1 y 2, y en las figuras 2 y 3. Las correspondencias entre los 19 isobioclimas y cada uno de los pisos de vegetación climatófila obtenidos a partir de INEGI (2007) se presenta en el cuadro 3. Información bioclimática adicional de todas las estaciones consideradas en este trabajo puede consultarse en el anexo 1).

### **Correspondencia de los pisos bioclimáticos con los pisos de vegetación**

Para el establecimiento de estas reciprocidades, la información bioclimática se ha sistematizado de acuerdo con los bioclimas y los pisos bioclimáticos, lo que da la pauta para abordar la naturaleza de los respectivos pisos de vegetación, incidiendo en la estructura y fisionomía dominante, principales especies representativas o indicadoras, distribución y posición catenal; para determinados casos la

información se complementa con aspectos dinámicos y ecológicos de la vegetación. Cabe señalar que la mayoría de los indicadores florísticos referidos para cada piso, no se presentan en toda su extensión; la adscripción bioclimática definida puede fluctuar hacia horizontes de los pisos vecinos mediante acomodos fisiográficos y edáficos compensatorios.

### **Bioclima Tropical Desértico**

Se distribuye de forma puntual y disyunta en unos pocos enclaves situados al Este y Oeste de la SMO, asociados a las estaciones Presa Adolfo Ruíz Cortines (SON) e Ignacio López Rayón (DGO), ambas pertenecientes al piso Termotropical Árido. Fuera del área de estudio la presencia de este piso domina hacia la costa Sonorense, mientras que hacia el sur y el interior del Desierto Sonorense y hacia el Desierto Chihuahuense alterna con el Mesotropical Árido y con el Mesotropical Semiárido principalmente (Rivas-Martínez *et al.*, 1999; Giménez de Azcárate y González-Costilla, 2011; Macías *et al.*, 2014). La situación de las estaciones condiciona la afinidad biogeográfica de la vegetación y flora de sus entornos, vinculada respectivamente con la de los Desiertos Sonorense y Chihuahuense. La estructura y composición de la vegetación potencial está constituida por una mesofruticeda microfila y abierta (Matorral Xerófilo pro parte sensu Rzedowski), con algunos elementos crasicaulas y subarbóreas, donde *Fouquieria splendens*, *Koeberlinia spinosa*, *Prosopis glandulosa*, *Krameria grayi*, *Ephedra trifurca* y *Larrea tridentata* son las especies más comunes en las dos áreas disyuntas comentadas; elementos característicos de la vegetación potencial del entorno de la estación sonorense son: *Ambrosia chenopodiifolia*, *A. dumosa*,

*Asclepias subulata*, *Atriplex canescens* var. *canescens*, *Bebbia juncea* var. *aspera*, *Croton californicus*, *Cylindropuntia acanthocarpa* var. *acanthocarpa*, *C. bigelovii*, *C. echinocarpa*, *C. ramosissima*, *Encelia farinosa*, *Ephedra trifurca*, *Euphorbia misera*, *Krascheninnikovia lanata*, *Lycium andersonii*, *Pachycereus schottii*, *Petalonix thurberi* y *Pleuraphis rigida*. De igual manera lo son de la estación duranguense *Condalia* sp., *Ephedra trifurca*, *Flourensia cernua*, *Jatropha dioica*, *Koeberlinia spinosa*, *Yucca rigida*, *Echinocereus* spp., *Mammillaria* spp., *Opuntia durangensis*, *Parthenium hysterophorus*, *P. incanum*, *Prosopis glandulosa*, *Vachellia vernicosa* y *Vachellia schaffneri*. Desde el punto de vista fitosociológico la vegetación del enclave sonorense se relaciona con la asociación *Fouquierio splendens-Larretem tridentatae*, ampliamente extendida en las bajadas y playas de la provincia florística Sonorense (Peinado *et al.*, 1995), por lo que pudiera presentarse en los enclaves más áridos de la provincia SMO; la vegetación del enclave duranguense se vincula con la alianza *Euphorbio antisiphiliticae-Agavion lechuguillae* (Rivas-Martínez, 1997). La escasa representatividad de las áreas asignadas a este piso, junto con la escala de los mapas bioclimáticos adjuntos hace prácticamente imperceptible su reconocimiento cartográfico.

### Bioclima Tropical Xérico

La atenuación de las condiciones de xericidad extrema en los territorios Tropical Xéricos conlleva un incremento de la complejidad estructural de la vegetación, abarcando diferentes tipos de matorrales, bosques bajos caducífolios más o menos espinosos y bosques bajos de encinos y co-

níferas, dependiendo del piso bioclimático en cuestión. Las situaciones reconocidas y las correspondientes diagnosis se comentan a continuación; en algunos casos se abordan simultáneamente pisos bioclimáticos que por la proximidad de su vegetación potencial y/o por lo reducido de su distribución, permiten su tratamiento conjunto.

#### a) Infratropical y Termotropical Seco.

El primero se restringe a enclaves especialmente cálidos de las partes bajas de los valles que discurren hacia la costa de NAY y JAL (estaciones de Paso de la Yesca, Despeñadero, El Carrizal, etc.); el segundo piso presenta una distribución mucho más amplia ligada a laderas bajas y medias de los declives occidentales de la SMO, y a las barrancas intermontanas secas y profundas que atraviesan la sierra (Yaqui, Mayo, Fuerte, Mezquitic, Acaponeta, Chapalagana, Bolaños, etc.); en cualquier caso se presenta por debajo de los 1 800 m, aunque esta cota fluctúa dependiendo de la latitud, de la exposición y de las condiciones fisiográficas y climáticas locales (González-Elizondo *et al.*, 2012). En ambos pisos la estructura de la vegetación potencial asociada es la de un microbosque caducífolio pluriespecífico (Bosque Tropical Caducífolio *sensu* Rzedowski). Pese a la ausencia de especies claramente dominantes, se han seleccionado como representativas de ambos pisos a: *Amphipterygium adstringens*, *Bursera benthamii*, *B. fagaroides*, *B. graveolens*, *B. multijuga*, *B. schlechtentalli*, *Cedrela odorata*, *Ceiba acuminata*, *C. aesculifolia*, *Cochlospermum vitifolium*, *Cordia alliodora*, *Haematoxylum brasiletto*, *Leucaena esculenta*, *L. lanceolata*, *Lonchocarpus* spp., *Lysiloma* spp., *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Pseudobombax palmeri*, *Stenocereus*

*queretaroensis*, *S. turberi*, *Tabebuia impetiginosa*, etc. La alteración de este bosque conlleva el desarrollo de un matorral arborecente (arbusteda) de sustitución donde persisten algunas de las especies anteriores y elementos secundarios como *Erythrina flabelliformis*, *Guazuma ulmifolia*, *Ipomoea arborescens*, *I. mururoides*, *Lysiloma acapulcense*, *Plumeria acutifolia*, *Tecoma stans* o *Vachellia* spp.

La fisiografía abrupta y sinuosa del límite superior del piso termotropical favorece el contacto irregular del Bosque Tropical Caducifolio con diferentes formaciones de *Pinus* spp. y *Quercus* spp., propias del piso Mesotropical, lo que se refleja en la aparición de mosaicos de vegetación contrastantes. Excepcionalmente las comunidades dominadas por encinos se presentan también en el piso Termotropical Seco; en este caso están vinculadas a condiciones edáficas particulares conferidas por los afloramientos de suelos pedregosos, pobres en nutrientes y ricos en metales pesados (Penington y Sarukán, 2005; Macías *et al.*, 2014).

**b) Termotropical Semiárido.** Se distribuye preferentemente en las tierras bajas de SON y puntualmente en enclaves de los estados de SIN y DGO, ocupando piedemontes y planicies con acusada xericidad. La estructura de la vegetación potencial se corresponde con mesofruticadas y arbustadas arborecentes (Matorral Xerófilo y Bosque Espinoso pro parte sensu Rzedowski), dependiendo de las características topoedáficas, de entre 2 y 6 m de altura, dominadas por elementos espinosos, multicaules y microfilos. Como especies representativas de este piso destacan *Larrea tridentata*, *Mimosa palmeri*, *Pithecellobium sonorae*, *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *P. velutina*, *Forchhammeria*

*watsonii*, *Haematoxylon brasiletto*, *Vachellia cymbispina*, *Cercidium sonorae*, *Bonelia macrocarpa* ssp. *pungens*, *Celtis pallida*, *Pithecellobium mexicanum*, además de suculentas como *Bursera laxiflora*, *B. confusa*, *B. odorata*, *Jatropha cordata*, *Lemaireocereus thurberi*, entre otras. La altura y composición de la vegetación está relacionada con la disponibilidad hídrica del subsuelo, siempre que la alteración antrópica no haya interferido en dichos atributos. En este sentido el carácter subfreatófilo del mezquite destaca en los meses más secos cuando está en plena foliación y contrasta con el aspecto agostado de la vegetación de las laderas. Los bosques y matorrales espinosos y los bosques caducifolios vinculados a los pisos anteriores se relacionan con la clase de vegetación *Pachycereo pecten-aborigini-Lysilometea divaricatae* (Peinado *et al.*, 2008).

**c) Mesotropical Semiárido.** Se localiza en enclaves del piedemonte centro-oriental de la SMO y en las serranías y valles al norte del estado de SON. En ambos casos la vegetación potencial se corresponde con diferentes comunidades de mesofruticadas (Matorral xerófilo pro parte *sensu* Rzedowski), abundantes en elementos microfilos y espinosos, desarrolladas preferentemente sobre suelos de ladera bien drenados. Como especies representativas se reconocen *Celtis iguanea*, *Eysenhardtia polystachya*, *Florencea cernua*, *Fouquieria splendens*, *Forestiera angustifolia*, *Koeberlinia spinosa*, *Larrea tridentata*, *Prosopis laevigata*, *Yucca decipiens*, *Y. rigida* y/o *Y. torreyi*. La incidencia de la ganadería en la vegetación favorece el dominio de fruticadas con mimosas (*Mimosa aculeticarpa*, *M. biuncifera*, *M. dysocarpa*, *M. monancistra*), acacias (*Vachellia constricta*, *V. neovernicosa*, *V. schaffneri*), magueyes (*Agave asperrima*,

*A. lechuguilla*), nopal (*Opuntia durangensis*, *O. leucotricha*, *O. streptacantha*), sotoles (*Dasyliion duranguense*) y chollas (*Cylindropuntia imbricata*), además de numerosos pastos en su estrato herbáceo (*Aristida* spp., *Bouteloua* spp. *Chloris gayana*, *Cynodon dactylon*, *Megathyrsus maximus*, *Melinis repens*, *Pennisetum ciliare*, etc.), mismos que se presentan en otros pisos del bioclima Tropical Xérico. En los valles planos con suelos profundos de naturaleza aluvial y con influencia freática, las matorrales comentados dejan paso a un arbustada arborescente espinosa (Matorral espinoso *sensu* Rzedowski) dominado por *Prosopis laevigata* al que suelen incorporarse *Cercidium praecox*, *Lycium berlandieri*, *Eysenhardtia polystachya*, *Ipomoea* spp. y *Vachellia* spp. entre otras.

**d) Mesotropical Seco.** Este piso es el de mayor extensión en el área de estudio, encontrándose en todos los estados salvo SIN; se distribuye por los valles intermontanos, las vertientes y planicies orientales de la SMO, y las planicies y piedemontes del norte de SON. Su vegetación potencial la conforman diferentes comunidades de microbosques semiabiertos con dominio de encinos aparaosados o achaparrados, caducifolios o subcaducifolios (Bosque de *Quercus* *sensu* Rzedowski) (*Quercus chihuahuensis*, *Q. eduardii*, *Q. emoryi*, *Q. grisea*, *Q. radiata*, *Q. resinosa*, *Q. viminea*, etc.), que suelen incorporar otros árboles y arbustos, en ocasiones de carácter secundario, como *Juniperus deppeana*, *J. duranguensis*, *J. erythrocarpa*, *J. flaccida*, *Opuntia* spp., *Lycium berlandieri*, *Rhus microphylla*, *R. virens*, *Vachellia constricta*, *V. pennatula* y *V. schaffneri*. En el horizonte Mesotropical superior es frecuente la presencia de pinos (*Pinus leiophylla* var. *chihuahuana* o *Pinus*

*cembroides* principalmente) procedentes del piso Supratropical Seco. En su horizonte Mesotropical inferior, en contacto con las barrancas intermontanas de menor altitud y más cálidas, pueden presentarse especies termófilas como *Bursera copalifera*, *B. fagaroides*, *B. multijuga*, *Croton* spp., *Ipomoea intrapilosa*, *I. mururoides*, *Lysiloma divaricatum* o *Randia* spp., entre otras. En hábitats alterados por fuego o sobrepastoreo prolífica un matorral secundario de *Dodonaea viscosa* y *Dasyliion duranguensis*, cuya extensión se está incrementando en los últimos años favorecida por la degradación del suelo.

**e) Supratropical Semiárido.** Su distribución está restringida a enclaves serranos especialmente áridos del extremo septentrional del área de estudio (norte de CHIH y SON). La vegetación potencial la conforman matorrales rosetofilos de entre 1 y 3 m, al que pueden acompañar elementos crasicaules y microfilos propios del Desierto Chihuahuense. Por lo general, estas formaciones se ubican sobre suelos poco desarrollados de tipo xerosol, responsables, junto con el clima, del carácter xerofítico de la vegetación.

Entre las especies de este piso cabe mencionar *Agave lechuguilla*, *Cercocarpus montanus*, *Euphorbia antisiphylitica*, *Garrya wrightii*, *Larrea tridentata*, *Opuntia* spp., *Parthenium argentatum*, *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *Quercus depressipes*, *Vachellia* spp. y *Yucca carnerosana*; el estrato herbáceo está constituido por gramíneas, principalmente del género *Bouteloua*.

**f) Supratropical Seco.** Corresponde a grosso modo con los territorios de media montaña situados al norte de la SMO, con

un marcado efecto de sombra de lluvias. Más al sur, pero en la misma posición de sombra orográfica, su presencia es más irregular y de menor entidad. La vegetación potencial se corresponde con microbosques mixtos de coníferas y de encinos subcaducifolios, propios de la clase *Querco hypoleucoidis-Pinetea cembroidis* (Rivas-Martínez, 2007). Las especies más características son: *Garrya wrightii*, *Juniperus deppeana*, *Pinus cembroides*, *Quercus chihuahuensis*, *Q. emoryi* y *Q. grisea*. Hacia el horizonte superior se hace más notoria la presencia de *Arbutus arizonica*, *Cupressus arizonica*, *Pinus engelmannii*, *P. leiophylla* var. *chihuahuana*, *Quercus arizonica*, *Q. eduardii*, *Q. durifolia* o *Q. laeta*. Como elementos seriales asociados a la perturbación ganadera pueden presentarse *Forestiera angustifolia*, *Lindleya mespiloides*, *Mimosa aculeaticarpa*, *M. biuncifera*, *Quercus eduardii* y *Vachellia schaffnerii*, además de diferentes gramíneas (*Aristida* spp., *Bouteloua* spp.).

El paso del bioclima Tropical Xérico al Tropical Pluviestacional se caracteriza por la aparición de bosques de talla mediana con duración foliar al menos subcaducifolia; su estructura y composición va a variar dependiendo del termotipo representativo. En líneas generales el rigor del período más seco y cálido queda en parte atenuado por la mayor generosidad de las precipitaciones del período de lluvias, lo que se traduce en unos valores de *Io* por encima de 3.6, umbral discriminante de ambos bioclimas.

**a) Infratropical Subhúmedo.** Este piso se presenta de forma puntual en el estado de NAY asociado a enclaves protegidos de los tramos bajos de ciertos valles, situación respaldada por las estaciones de Huajicori y El Naranjo. La vegetación potencial está

formada por mesobosques subcaducifolios cuyas especies de dicho piso son: *Hura polyandra*, *Bursera simarouba*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Swietenia humilis* entre otras. La alteración de estos bosques por deforestación y fuego en las zonas llanas, favorece la instalación de palmares de *Attalea cohune*. En posiciones de ladera, su perturbación propicia la presencia de bosques secundarios caducifolios como los del piso Termotropical Seco, con el que contacta en las zonas de menor precipitación, y de sus etapas seriales de matorral, que aprovechan las nuevas condiciones de degradación, más xéricas y heliófilas, para su desarrollo. Las áreas registradas para los pisos Infratropical Seco y Subhúmedo son poco representativas, lo que unido a la escala de los mapas de termotipos y ombrotipos, hace difícil su reconocimiento cartográfico, apreciado únicamente en la parte central del estado de NAY.

#### **b) Termotropical Subhúmedo y Húmedo.**

El piso Termotropical Subhúmedo tiene una distribución más amplia en planicies, valles y piedemontes del occidente de la SMO (NAY, SIN, DGO), pudiendo alcanzar de forma marginal enclaves de CHIH y JAL; su estructura y composición es muy semejante a la descrita en el párrafo anterior. El Termotropical Húmedo ocupa un pequeño enclave en el centro de NAY (estación de Puerta de Platanares) donde la elevada precipitación favorece un meso-macrobosque subperennifolio, elementos propios de dichos pisos son: *Astronium graveolens*, *Hymenaea courbaril*, *Dalbergia granadillo*, *Brosimum alicastrum*, *Bursera arborea* y *Ficus* spp. En el horizonte Termotropical superior bajo condiciones subhúmedas puede aparecer un bosque de pino-encino formando parches puros o entremezclados con aquellos

árboles, donde destacan *Pinus devoniana*, *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *Clethra rosei*, *Quercus crassifolia*, *Q. praineana*, etc. Así, la composición florística y la proporción de los árboles varían dependiendo de factores ambientales como la orientación, la altitud, el tipo de suelo, etc. Con respecto a este último factor se ha verificado la tendencia a que en este piso Termotropical Subhúmedo los pinares y en menor medida los encinares, ocupen preferentemente suelos pobres, someros, pedregosos y ricos en metales pesados, generalmente asociados a fuertes pendientes que favorecen la escorrentía y el lavado de los pocos nutrientes, lo que explicaría su condición edafoxerófila azonal (Sarukhán, 2005; Macías, 2009). Con frecuencia el territorio de este piso ha sido transformado en tierras agrícolas; en otros casos la degradación del bosque potencial ha favorecido la penetración de otras especies arbóreas y arbustivas propias del bosque tropical caducifolio y del palmar.

**c) Mesotropical Subhúmedo.** Se distribuye preferentemente en zonas de media montaña tanto en la vertiente occidental de la SMO como en las laderas interiores sin un marcado efecto de sombra de lluvias. Su vegetación potencial se vincula a diferentes mesobosques mixtos de coníferas y encinos a los que frecuentemente se incorporan otras frondosas. Como especies típicas de este piso están: *Arbutus* spp., *Bocconia arborea*, *Juniperus deppeana*, *Pinus devoniana*, *P. engelmannii*, *P. douglasiana*, *P. lumholzii*, *P. luzmariae*, *P. oocarpa*, *Quercus cocclobifolia*, *Q. gentryi*, *Q. magnoliifolia*, *Q. oblongifolia*, *Q. rugosa* y *Q. viminea*. Los matorrales seriales de sustitución incluyen elementos espinosos, preferentemente en el horizonte inferior del piso bioclimático (*Vachellia* spp. y *Mimosa* spp.), compues-

tas arbustivas de los géneros *Baccharis*, *Eupatorium*, *Roldana*, *Senecio*, *Stevia* y *Verbesina*, y ericáceas como *Arctostaphylos pungens*, *Befaria mexicana* y *Vaccinium caespitosum*. Es frecuente que muchas de estas especies puedan incorporarse al sotobosque como indicadoras de perturbación, fundamentalmente asociadas al trasiego de ganado y al fuego.

**d) Mesotropical Húmedo.** La distribución de este piso se restringe a enclaves de laderas y barrancas de DGO, CHIH y en menor medida SIN, situados en torno a la cota de 2 000 m y orientados hacia los vientos húmedos del Pacífico. La vegetación potencial está constituida por un macrobosque mixto donde se entremezclan elementos planifolios, perennifolios o subcaducifolios, y aciculifolios. Hacia el horizonte Mesotropical inferior predominan los bosques mesofíticos donde son frecuentes *Alnus acuminata*, *Arbutus xalapensis*, *Carpinus caeroliniana*, *Cedrela odorata*, *Cleyera integrifolia*, *Ceanothus depressus*, *Clethra* spp., *Cornus disciflora*, *Garrya laurifolia*, *Ilex quercetorum*, *Litsea glaucescens*, *Magnolia pacifica* ssp. *tarahumara*, *Ostrya virginiana*, *Oreopanax* spp., *Persea liebmannii*, *Tilia americana*, y ciertos pinos y encinos como: *Pinus herrerae*, *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *Quercus candicans*, *Q. castanea*, *Q. diversifolia*, *Q. obtusata*, *Q. splendens* y *Q. subespathulata*. Hacia el horizonte superior las especies más termófilas tienden a desaparecer a la vez que se incorporan otras como *Abies neodurangensis*, *Clethra rosei*, *Pinus ayacahuite*, *P. douglasiana*, *P. pseudostrobus*, *Quercus scytophylla* y *Styrax ramirezii*, adquiriendo la formación una fisionomía más típica del bosque de pino-encino. La alteración de estos bosques favorece el desarrollo de una orla arbustiva

densa de sustitución en la que son frecuentes *Cercocarpus macrophyllus*, *Coriaria ruscifolia*, *Monnieria wrightii*, *Prunus* spp., *Rhamnus betulifolia*, *Rhus aromatica*, *Ternstroemia lineata*, *Triumfetta discolor*, *Verbesina* spp. y *Waltheria indica*.

**e) Supratropical Subhúmedo.** Abarca buena parte de las zonas altas de la SMO en los estados de CHIH y DGO principalmente, así como las cumbres de las sierras premadreanas situadas al oriente de la cordillera; estas áreas presentan una exposición a los vientos húmedos más difuminada que otras representativas de ombrotípicos más húmedos. La vegetación potencial se corresponde con diferentes mesobosques dominados por pinos y en menor grado encinos y otras frondosas, donde destacan como elementos representativos *Arbutus arizonica*, *A. madrensis*, *A. tessellata*, *Garrya ovata*, *Juniperus deppeana*, *Pinus engelmannii*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *Quercus arizonica*, *Q. castanea* y *Q. durifolia*. En posiciones topográficamente favorecidas, como planicies hidromorfas, puede incorporarse *Pinus arizonica* var. *cooperi*, llegando a dominar estos biotopos en el centro y norte del territorio. Cuando el sotobosque y las áreas adyacentes deforestadas son afectadas por el fuego, se instala un zacatal de sustitución conformado por gramíneas de los géneros *Aristida*, *Bouteloua*, *Bromus*, *Festuca*, *Muhlenbergia* y *Stipa*; en áreas con suelos someros o afloramientos pedregosos son frecuentes los matorrales dominados por *Arctostaphylos pungens*.

**f) Supratropical Húmedo e Hiperhúmedo.** Al igual que el piso precedente, se distribuyen en las zonas altas de la SMO de los estados de CHIH y DGO donde ocupan barrancas y laderas sometidas a la

influencia de los vientos húmedos, los cuales son responsables de los elevados registros pluviométricos, en especial en el ombrotípico Hiperhúmedo. La vegetación potencial la constituyen diferentes macrobosques de coníferas, puros o mixtos, en los que destacan *Abies duranguensis*, *Hesperocyparis lusitanica* var. *lindleyi*, *Picea chihuahuana*, *Pinus* spp. y *Pseudotsuga menziesii*, pudiendo incorporar, en el horizonte Supratropical inferior, algunos encinos (*Quercus* spp.). Como principales especies diagnósticas de estos pisos, además de los anteriores, están *Arbutus bicolor*, *A. madrensis*, *Pinus arizonica* var. *cooperi*, *P. ayacahuite*, *P. leiophylla*, *P. duranguensis*, *P. strobus*, *Populus tremuloides*, *Prunus serotina*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus crassifolia*, *Q. macvaughii*, *Q. scytophylla* y *Q. sideroxyla*. Los bosques de *Abies duranguensis* y *Picea chihuahuana* tienden a dominar los biotopos más esciófilos y ombrófilos de las barrancas (ombrotípico hiperhúmedo); en cualquier caso sus orlas de sustitución están dominadas por representantes arbustivos de compuestas y labiadas (*Eupatorium*, *Hyptis*, *Roldana*, *Salvia*, *Stevia* y *Senecio*).

**g) Orotropical Subhúmedo.** Se localiza de forma discontinua en pequeños enclaves de las zonas más altas del norte de la SMO (noroeste de CHIH), donde es evidente la disminución de la influencia de la humedad del Océano Pacífico y la prevalencia de las condiciones xéricas por frío, propias del extremo noroccidental del Desierto Chihuahuense. La vegetación potencial se corresponde con formaciones puras de *Pinus* spp. o mixtas con *Quercus* spp. y tásctates (*Juniperus deppeana*); como especies representativas se reconocen *Pinus arizonica*, *P. chihuahuana* y *P. teocote* a las que acompañan encinos como *Quercus arizonica*, *Q.*

*depressipes* y *Q. laeta*, madroños (*Arbutus* spp.) etc. La falta de estaciones meteorológicas, unido a las posiciones marginales que ocupa este piso, dificultan su interpretación y el establecimiento de criterios nítidos que permita diferenciarlos de los otros dos pisos orotropicales.

#### **h) Orotropical Húmedo e Hiperhúmedo.**

Ambos pisos se encuentran relegados a las cumbres más elevadas, preferentemente por encima de los 3 000 m, así como a ciertas zonas altas del extremo septentrional del área de estudio (CHIH). La vegetación potencial está conformada por diferentes comunidades de mesomacrobosques de coníferas con presencia esporádica de árboles planifolios. Sus principales indicadores son: *Arbutus bicolor*, *Pinus ayacahuite*, *P. arizonica* var. *cooperi*, *P. hartwegii*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus crassifolia*, *Q. depressipes* y *Q. sideroxyla*.

Lo riguroso del clima, junto con los suelos pedregosos y escasamente desarrollados, hace que las comunidades forestales sean poco diversas y con frecuencia presenten síntomas de fuegos, árboles caídos y muertos etc., lo que favorece que el bosque pueda presentar un aspecto abierto, con abundante dominio de herbáceas, principalmente gramíneas y compuestas, propias de las etapas seriales, como *Bouteloua*, *Draba*, *Muhlenbergia*, *Poa*, *Primula*, *Sedum* y *Senecio*, entre otras. En posiciones edafoxerófilas próximas a algunas cumbres se presenta una comunidad de matorral dominada por *Quercus depressipes*, *Arctostaphylos pungens* y *Helianthemum glomeratum*.

A la caracterización geobotánica y bioclimática expuesta se acompaña la delimitación de las unidades consideradas obtenidas a partir

del arreglo espacial de los datos bioclimáticos de las estaciones. Así la distribución de los tres bioclimas se plasma en el mapa de la figura 4, mientras que las delimitaciones de los termotipos y ombrotipos se refleja en los mapas de las figuras 5 y 6. Esta cartografía permite conocer los territorios de dichas unidades y sus correspondientes pisos de vegetación. Como complemento de las anteriores diagnosis se presentan tres catenas de vegetación, elaboradas a diferentes latitudes, donde se ilustra la disposición secuencial de los pisos bioclimáticos (termotipos) y sus respectivos pisos de vegetación, de acuerdo con los datos, interpretaciones y extrapolaciones realizadas (figs. 7, 8 y 9).

## DISCUSIÓN

La diversidad y distribución de climas en la SMO está condicionada por su posición mayoritaria en la cintura geográfica subtropical, por su rango altitudinal y latitudinal, y por su compleja y asimétrica fisiografía determinante del efecto de barrera orográfica. El análisis bioclimático junto con la identificación de las principales formaciones vegetales representativas de la vegetación potencial, permitió establecer y clarificar el modelo catenal de pisos bioclimáticos asociado a sus correspondientes pisos de vegetación. La estructura y distribución de las diferentes comunidades vegetales reconocidas (bosques, arbustadas y matarrales), se ajustan de forma fiel, recurrente y predictiva al de territorios tropicales análogos con marcados contrastes climáticos como Los Andes (Navarro y Maldonado, 2002; Costa *et al.*, 2007; Rivas-Martínez *et al.*, 2011b). La regionalización territorial, Bioclimas, Termotipos y Ombrotipos refleja una mayor precisión en las zonas de influencia de las estaciones, en contraste

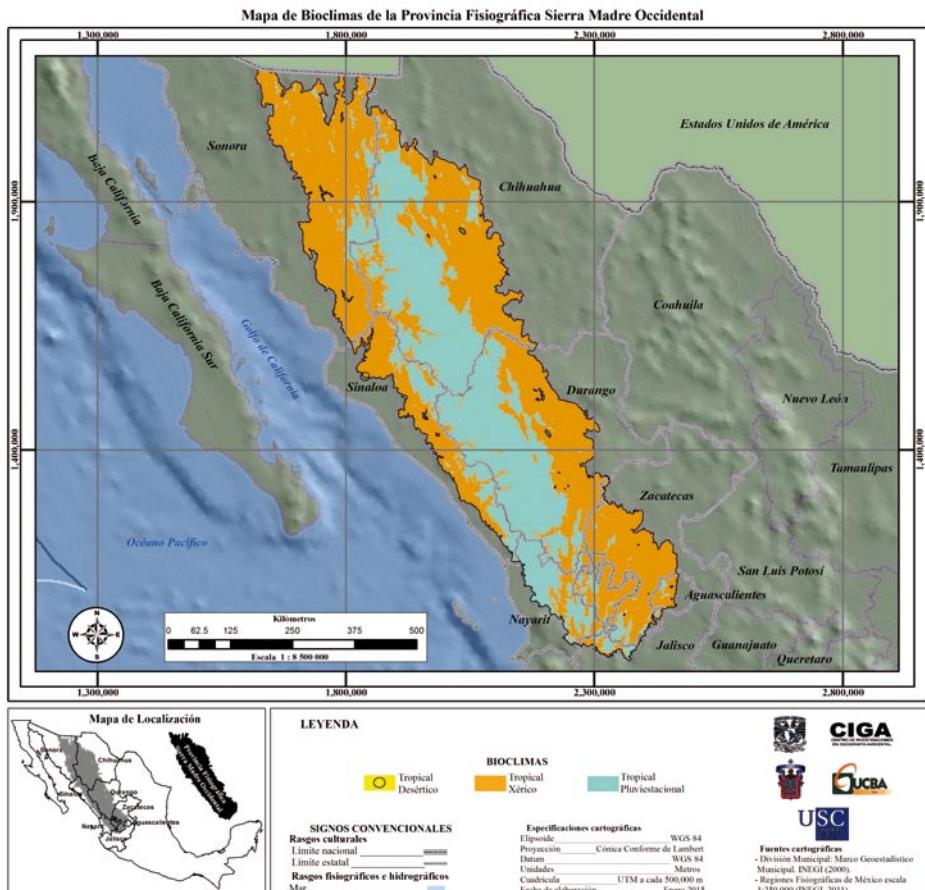
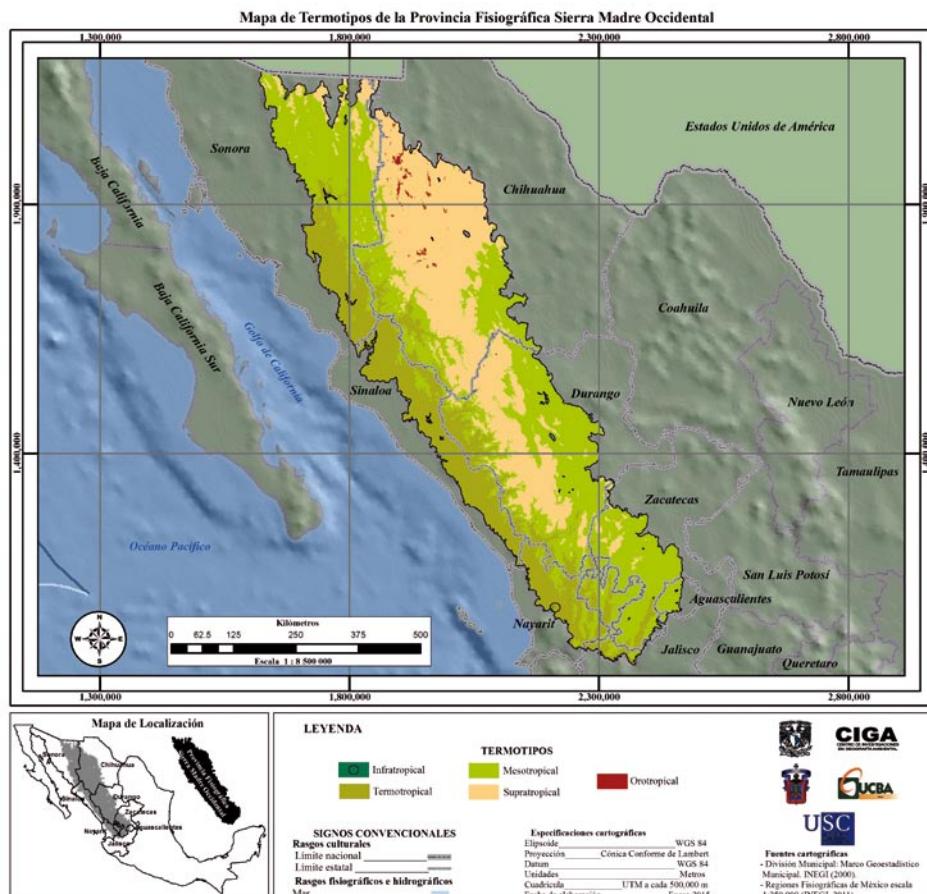


Fig. 4. Mapa de Bioclimas de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental.

con aquellas áreas carentes de estaciones de referencia, donde el ajuste es menos fiel; ello debido a que la metodología utilizada está sustentada en extrapolaciones y relaciones efectuadas entre los datos bioclimáticos y los pisos de vegetación con los que se vinculan los pisos reconocidos. Es precisamente en estas áreas apartadas donde se precisa complementar la información con nuevos

trabajos de campo con el fin de afinar las relaciones y extrapolaciones bioclimáticas y de vegetación aquí mostrados.

Lo amplio y complejo del territorio ha condicionado la escala del presente trabajo y ha impedido completar con detalle ciertos ajustes necesarios para profundizar en el conocimiento de la vegetación y sus relaciones con

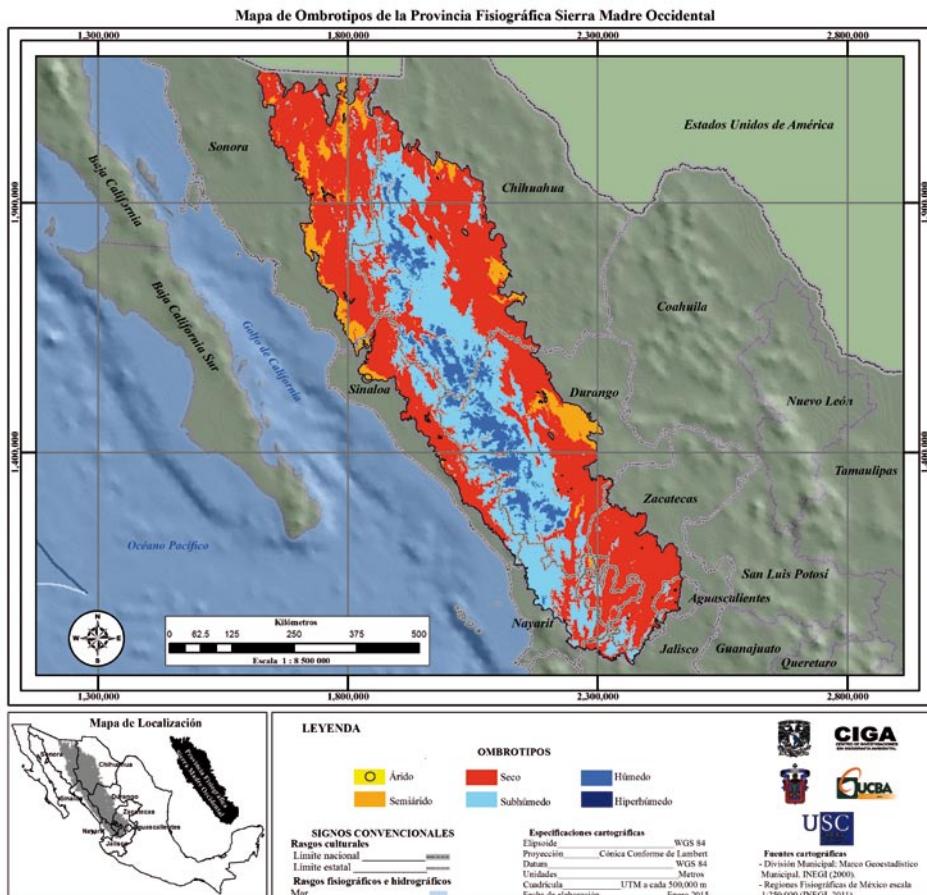


**Fig. 5.** Mapa de Termotipos de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental.

el clima y con su distribución catenal. Esto mismo justifica el hecho de no haber acotado altitudinalmente los pisos bioclimáticos reconocidos, que junto a lo intrincado del territorio y la asimetría de vertientes impide establecer una delimitación inequívoca del rango de distribución de cada termotipo. De igual manera el amplio gradiente latitudinal abordado condiciona la distinta secuencia de pisos encontrada, cuya presencia y delimi-

tación altitudinal varía de norte a sur. Pese a lo anterior, en este estudio de síntesis han quedado establecidos los fundamentos de las relaciones de correspondencia entre la vegetación y el clima a través del modelo de los pisos bioclimáticos.

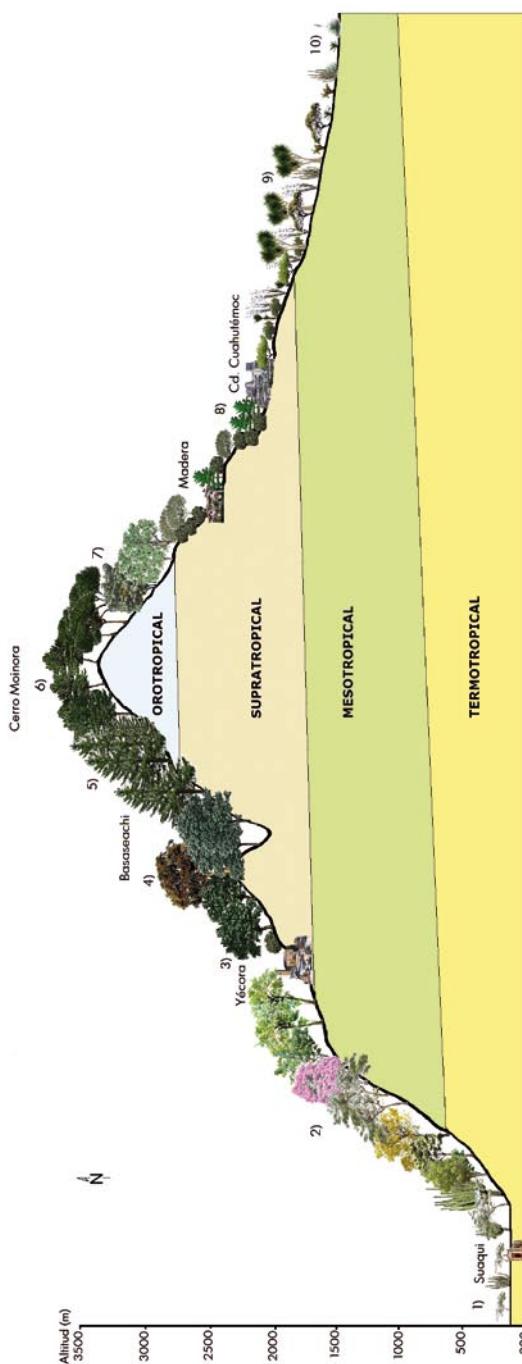
Hubiera sido de gran interés cotejar los resultados aquí obtenidos con el análisis climático de las estaciones considerado al



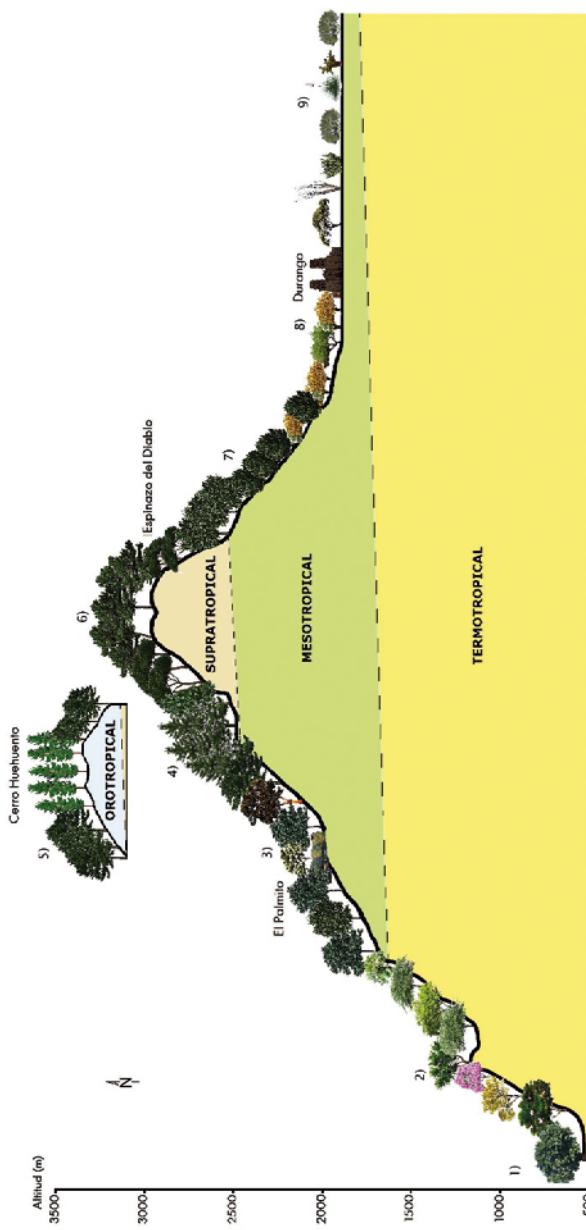
**Fig. 6.** Mapa de Ombrotípos de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental.

aplicar el Sistema de Köppen modificado por García (García, 2004), y así comparar las posibles equivalencias entre sus diferentes niveles organizativos. Debido a la extensión de la diagnosis efectuada en este trabajo se ha optado por dejar para otra publicación este análisis comparativo en la cual se hará énfasis en identificar las fortalezas y debilidades que puedan presentar ambos sistemas de clasificación.

Lo amplio y complejo del territorio ha impedido detallar muchos de los ajustes necesarios para profundizar en el conocimiento de la vegetación y sus relaciones con el clima. Las diagnosis y modelos aquí presentados servirán de referencia para futuras investigaciones de índole ecológica que afronten aspectos aplicados de evolución, restauración y gestión de hábitats y ecosistemas y su posible respuesta ante los nuevos esce-



**Fig. 7. Transecto 1.** Catena idealizada de la distribución de la vegetación potencial y de los pisos bioclimáticos (termotipos) a lo largo del transecto Yécora-Ciudad Cuauhtémoc, entre los 27°N y 29°N. 1) Comunidades termotropicales semiáridas, de mesofruticadas y arbustadas arborecentes. 2) Comunidades termotropicales y mesotropicales secas, de microbosques caducífolios. 3) Comunidades supratropicales, secas y subhúmedas de micro- y mesobosques de pinos y encinos. 4) Comunidades supratropicales, subhúmedas y húmedas de meso- y macrobosques) de pinos y encinos. 5) Comunidades supratropicales, húmedas e hiperhúmedas de macrobosques de coníferas y encinos. 6) Comunidades orotropicales, húmedas e hiperhúmedas de macrobosques de coníferas y encinos. 7) Comunidades supratropicales subhúmedas de mesobosques de pinos y encinos. 8) Comunidades supratropicales inferiores, secas y semiáridas de microbosques mesobosques de pinos y encinos. 9) Comunidades mesotropicales y supratropicales inferiores, secas y semiáridas de microbosques y fruticadas arborecentes. 10) Comunidades de mesofruticadas con elementos microfilos y espinosos.



**Fig. 8. Transecto 2.** Catena idealizada de la distribución de la vegetación potencial y de los pisos bioclimáticos (termotípos) a lo largo del transecto El Palmito-Durango entre los 23°N y 25°N. 1) Comunidades termotropicales y mesotropicales subhúmedas constituidas por mesobosques subcaducifolios. 2) Comunidades termotropicales y mesotropicales secas, de microbosques caducifolios. 3) Comunidades mesotropicales, subhúmedas superiores y húmedas de meso-macrobosques mesofíticos mixtos. 4) Comunidades supratropicales, húmedas e hiperhúmedas e hiperhúmedas e hiperhúmedas de macrobosques de coníferas y encinos. 5) Comunidades supratropicales inferiores y mesotropicales, subhúmedas y secas de meso y macrobosques de coníferas. 6) Comunidades mesotropicales secas con dominio de achaparrados. 7) Comunidades mesotropicales secas con microbosques semiabiertos en el horizonte superior con dominio de encinos. 8) En el horizonte inferior podemos encontrar comunidades termófilas. 9) Comunidades mesotropicales semáridas con matorral microfilo representadas por microbosques y arbustos espinosos.



**Fig. 9.** Transecto 3. Catena idealizada de la distribución de la vegetación potencial y de los pisos bioclimáticos (termotipos) a lo largo del transecto Mesa del Nayar-Zacatecas entre los 21°N y 22°N. 1) Comunidades termotropicales húmedas constituidas por mesobosques subcaducifolios. 2) Comunidades termotropicales secas de microbosques caducifolios. 3) Comunidades mesotropicales secas superiores y subhúmedas inferiores de micro y mesobosques de pinos y encinos. 4) Comunidades mesotropicales secas inferiores y semiáridas de pinos y encinos. 5) Comunidades mesotropicales húmedas de meso y macrobosques de pinos y encinos. 6) En el horizonte inferior podemos encontrar comunidades termófilas. 7) Comunidades mesotropicales mesotropicales semiáridas con matorral microfilo representadas por microbosques y arbustadas espinosas.

narios de cambio climático. A medida que se disponga de una diagnosis geobotánica más detallada se podrán ajustar de forma más precisa las relaciones entre los aspectos dinámicos, ecológicos y biogeográficos de las fitocenosis y los pisos bioclimáticos que las delimitan.

El presente trabajo, junto con los realizados por Giménez de Azcarate *et al.* (1999, 2013); Macías (2009); Macías *et al.* (2014); Peinado *et al.* (1994b, 1997a, 2010, 2011a) y Rivas-Martínez (2004) permiten definir y dotar de contenido vegetacional al modelo catenal de pisos bioclimáticos establecido para la parte noroccidental de México. De igual manera la presente aportación se suma a las propuestas de regionalización bioclimática efectuadas en otras zonas del país contribuyendo así a establecer un sistema de clasificación cada vez más sólido y estructurado, que aclare y aporte criterio al difícil escenario de la clasificación de la vegetación de México dentro de un contexto global.

## CONCLUSIONES

La posición latitudinal de la SMO, los ritmos estacionales de los principales parámetros climáticos y los valores de los índices bioclimáticos discriminantes hacen que, desde una perspectiva bioclimática global, el territorio pertenezca al Macrobioclima Tropical, estando representados los bioclimas Tropical Pluviestacional, Tropical Xérico y Tropical Desértico. El primero es el de mayor distribución ya que abarca la mayor parte de la vertiente occidental de la Sierra, donde se distribuyen casi todos los termotipos reconocidos a nivel global (Infra-, Termo-, Meso-, Supra- y Orotropical), y tres ombrotipos (Subhúmedo, Húmedo e Hiperhúmedo). En líneas generales se corresponden con

diferentes tipos de bosques subcaducifolios o subperennifolios que incluyen selvas, bosques mesófilos y bosques de coníferas y encinos. En contraparte el bioclima Tropical Xérico se emplaza preferentemente en la vertiente oriental, aunque también está presente en cotas bajas del cuadrante noroccidental del área de estudio; en él están presentes los termotipos Infra-, Termo-, Meso- y Supratropical, y los ombrotipos Semiárido y Seco; la vegetación potencial de sus pisos se corresponde con distintos tipos de matorrales xerofíticos, arbustadas arborescentes espinosas, bosques caducifolios y bosques y arbustadas esclerófilas de *Quercus* spp. y *Pinus* spp. El bioclima Tropical Desértico está restringido a ciertos enclaves de extrema xericidad localizados al este y noroeste de la zona de estudio donde el matorral microfilo abierto conforma la vegetación potencial característica del piso Termotropical Árido. En total se han reconocido para el área de estudio 19 isobioclimas que se relacionan con 15 tipos de vegetación potencial.

Debido a la gran extensión del territorio abarcado en este trabajo 280 000 km<sup>2</sup>, para poder obtener una distribución más precisa de las fronteras de las unidades bioclimáticas y vegetacionales se requiere de una red con mayor número de estaciones, en particular en zonas con escasa representación, y de una más intensa prospección botánica que ayude a dilucidar el comportamiento y funcionamiento de los diferentes pisos de vegetación potencial natural. Ello permitirá definir los vínculos recíprocos entre los pisos bioclimáticos y las correspondientes comunidades vegetales potenciales (diferentes tipos de bosques y matorrales) que sirvan de referencia a la implementación de estrategias de conservación y restauración

de ecosistemas. Los mapas bioclimáticos generados reflejan de forma fiel la secuencia de situaciones encontradas y su disposición en el contexto fisiográfico general del territorio y los límites aproximados de la distribución de los bioclimas y pisos reconocidos.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Socorro y Martha González-Elizondo del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional de Durango (CIIDIR), por su respaldo en el trabajo de campo y por sus valiosos comentarios y aportaciones. A los revisores anónimos por sus recomendaciones para mejorar la calidad de trabajo. Este estudio fue financiado con fondos de los proyectos de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) A/016235/08, A/023310/09 y A/024250/09.

### LITERATURA CITADA

Alcaraz, F., 2013. *Bioclimatología con R*. Universidad de Murcia. Available from: <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/practica1.pdf>.

Almeida, L.; A.M. Cleef, A. Herrera, A. Velásquez, e I. Luna, 1994. “El zacatal alpino de la vertiente NW del volcán Popocatépetl, México y su posición en las montañas tropicales de América”. *Phytocoenologia*, 22: 391-346.

Almeida, L.; J. Giménez de Azcárate, A.M. Cleef, y A. González-Trápaga, 2004. “Las comunidades vegetales del zacatal alpino de los volcanes Popo-

catépetl y Nevado de Toluca, Región Central de México”. *Phytocoenologia*, 34(1): 91-132.

Amigo, J., y R. Ramírez, 1998. “A bioclimatic classification of Chile: Woodland communities in the temperate zone”. *Plant Ecol.*, 136: 6-26.

Amigo, J., y M. Rodríguez, 2011. “Bioclimatic and phytosociological diagnosis of the species of the *Nothofagus* genus in South America”. *Int. J. Geobotanical Research*, 1: 1-20.

Arriaga, C.; J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez-Mendoza, y E. Loa-Loza (coords.), 2000. *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México DF, México. 609 pp.

Bailey, R.G., 1995. *Description of the eco-regions of the United States*, 2nd ed. USDA Forest Service. Washington DC.

\_\_\_\_\_, 1996. *Ecosystem Geography*. Springer-Verlag. New York.

Barber, A., y M. Crespo, 2001. “A new approach on the bioclimatology and potential vegetation of Yucatán peninsula México”. *Phytocoenologia*, 311: 1-31.

Beard, J., 1973. “The Physiognomic Approach”. Wittaker R.H. Eds. *Ordination and Classification of Communities*, pp. 355-387, Dr. W. Junk Publishers. The Hague.

- Boege, E., 2008. *El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas.* INAH-CNDPI. 344 pp.
- Box, E.O., 1981. *Macroclimate and plant forms: An introduction to predictive modelling in Phytogeography.* Dr. W. Junk Publishers. The Hague.
- Breckle, S.W., 2002. *Walter vegetation of the Earth. The ecological systems of the geobiosphere.* Springer. Berlin.
- Brown, D.E.; F. Reichenbacher, y S.E. Franson, 1998. *A classification of North American Biotic Communities.* University of Utah Press. Salt Lake City.
- Bye, R., 1995. "Prominence of the Sierra Madre Occidental in the biological diversity of Mexico". L.F. DeBano, P.F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre, y C.B. Edminster. (coord.). *Biodiversity And Management Of The Madrean Archipelago: The Sky Islands Of Southwestern United States And Northwestern Mexico.* United States Department of Agriculture Forest Service, *General Technical Report RM,* **264:** 19-27.
- Cervantes-Zamora, Y.; S.L. Cornejo-Olgín, R. Lucero-Márquez, J.M. Espinoza-Rodríguez, E. Miranda-Víquez, y A. Pineda-Velázquez, 1990. *Provincias Fisiográficas de México. Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2.* Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM/CONABIO, México, DF.
- CONABIO, 1997. *Provincias Biogeográficas de México.* Escala 1:4.000.000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos>.
- Costa, M.; A. Cegarra, L. Lugo, J. Lozada, J. Guevara, y P. Soriano, 2007. "The bioclimatic belts of the Venezuelan Andes in the state of Merida". *Phytocoenología,* **37(3-4):** 711-738.
- Cress, J.J.; R. Sayre, P. Comer, y H. Warner, 2009. *Terrestrial Ecosystems-Isobio-climates of the conterminous United States: US Geological Survey.* Scientific Investigations Map 3084, scale 1:5 000 000, 1 sheet. (<http://pubs.usgs.gov/sim/3084>).
- Del Río, S., y A. Penas, 2006. "Potential areas of evergreen forests in Castile and Leon (Spain) according to future climate change". *Phytocoenología,* **36(1):** 45-66.
- Descroix, L.; J.L. González Barrios. y J. Estrada, 2004. *La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Institut de Recherche pour le Développement. Gómez Palacio, Durango, México. 300 pp.
- Douglas, M.W.; R.A. Maddox, K. Howard, y S. Reyes, 1993. "The Mexican Monsoon". *J. Clim.,* **6:** 1665-1677.

- Escamilla, M.; L. Almeida, y J. Giménez de Azcárate, 2002. "Las comunidades tropoalpinas del volcán Popocatépetl, y su relación con el medio". Gómez F. y Mota J. Eds. *Vegetación y Cambios Climáticos*, pp. 71-84, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería, Almería.
- Escamilla, M.; J. Giménez de Azcárate, L. Vázquez, y L. Almeida, 1998. *La vegetación de la alta montaña del volcán Iztaccíhuatl, México, y su relación con el medio*. Resúmenes del VII Congreso Latinoamericano de Botánica. México, DF.
- Farjon, A.; J.A. Pérez de la Rosa, y B.T. Styles, 1997. *A field guide to the pines of México and Central America*. The Royal Botanic Gardens. Kew, UK.
- Felger, R., y M.F. Wilson, 1995. "Northern Sierra Madre Occidental and its Appalachian outliers: A neglected center of biodiversity". L.F. DeBano, P.F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre y C.B. Edminster. (co-ord.). *Biodiversity And Management Of The Madrean Archipelago: The Sky Islands Of Southwestern United States And Northwestern Mexico*. United States Department of Agriculture Forest Service, *General Technical Report RM 264*: 36-59.
- Fernández-Eguiarte, A.; R. Romero-Centeno, J. Zavala-Hidalgo, y B. Kucienska, 2014. *Atlas Climático Digital de México* (versión 2.0). Acceso 6 de diciembre de 2015. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>
- Galán de Mera, A.; A. González, y J.G. Cáceres, 2003. "La vegetación de la alta montaña andina del sur del Perú". *Acta Bot. Malacitana*, **28**: 121-147.
- García, D., 2008. "El concepto de escala y su importancia en el análisis espacial". F. Maestre; A. Escudero, y A. Bonet, (Eds). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid. pp. 35-73.
- García, E., 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros núm. 6, 5<sup>a</sup>. ed., Instituto de Geografía, UNAM, México.
- García-Arévalo, A., y M.S. González-Eliozondo, 2003. *Pináceas de Durango*. CONAFOR e Instituto de Ecología, A.C. 2<sup>a</sup> ed. México, DF.
- García, E.; R. Vidal, y M.E. Hernández, 1990. *Regiones Climáticas. Climas IV*. 4.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 16 000.000. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.
- Géhu, J.M., 2006. *Dictionnaire de Sociologie et synécologie végétales*. J. Cramer. Berlin-Stuttgart, Germany.
- Giménez de Azcárate, J., y M. Escamilla, 1999. "Las comunidades edafoxorófilas (enebrales y zacatonales) en las montañas del centro de México". *Phytocoenologia*, **29**(4): 449-468.
- Giménez de Azcárate, J.; M. Escamilla, y A. Velásquez, 1997. "Fitosociología

- y sucesión en el volcán Paricutín (Michoacán, México)”. *Caldasia*, **19**(3): 487-505.
- Giménez de Azcárate, J., y O. González-Costilla, 2011. “Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México)”. *Acta Bot. Mex.*, **94**: 91-123.
- Giménez de Azcárate, J., e I. Ramírez, 2004. “Análisis fitosociológico de los bosques de oyamel *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. y Schlecht. de la Sierra de Angangueo, región central de México”. *Fitosociología*, **41**(1) suppl. 1: 91-100.
- Giménez de Azcárate, J.; I. Ramírez, y M. Pinto, 2003. “Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (Estados de Michoacán y México, México): clasificación, composición y distribución”. *Lazaroa*, **24**: 87-111.
- Giménez de Azcárate, J.; S. Rivas-Martínez, y A. Peñas, 1999. *Mapa bioclimático de México*. 42<sup>nd</sup> Annual Symposium of de IAVS. Bilbao.
- Giménez de Azcárate, J.; M.Á. Macías, y F. Gopar, 2013. “Bioclimatic belts of Sierra Madre Occidental (Mexico): A preliminary approach”. *Inter. J. Geobot. Research*, **3**: 19-35.
- González-Elizondo, M.; M.S. González-Elizondo, e Y. Herrera-Arrieta, 1991. Listados Florísticos de México. IX. Flora de Durango. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.
- González-Elizondo, M.S., 1997. “Upper Mezquital River region, Sierra Madre Occidental, Mexico”, Davis, S.D., V.H. Heywood, O. Herrera-McBryde, J. Villa-Lobos, y A.C. Hamilton (eds.). *Centres For Plant Diversity: A Guide And Strategy For Their Conservation*. vol. III: The Americas. The World Wide Fund for Nature & International Union for the Conservation of Nature-The World Conservation Union. Cambridge, UK. pp. 157-160.
- González-Elizondo, M.S., y M. González-Elizondo, 1995. *Los Encinos de Durango, México*. III Seminario Nacional sobre utilización de encinos. Reporte Científico Especial núm. 15. Fac. C. Forestales U.A.N.L. pp 28-33.
- González-Elizondo, M.S.; M. González-Elizondo, y M.A. Márquez-Linares. 2007. *Vegetación y Ecorregiones de Durango*. Plaza y Valdez, México, DF.
- González-Elizondo, M.S.; M. González-Elizondo, J.A. Tena-Flores, L. Ruacho-González, e I.L. López-Enríquez, 2012. “Vegetación de La Sierra Madre Occidental, México: Una Síntesis”. *Acta Bot. Mex.*, **100**: 351-403.
- González-Medrano, F., 2003. *Las Comunidades Vegetales de México*. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF.
- González-Quintero, L., 1974. “Tipo de vegetación de México”. Flores D.A., Q.L. González, T. Álvarez y F. de Lachica

- Eds. *El escenario geográfico: Recursos Naturales*, pp. 109-218, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, DF.
- González-Villareal, L.M., 1986. "Contribución al conocimiento del género *Quercus* en el Estado de Jalisco, México". *Colección Flora de Jalisco*, 1: 1-240. Universidad de Guadalajara.
- González-Villareal, L.M., 1990. "Las Eriáceas de Jalisco, México". *Colección Flora de Jalisco*, 2: 1-140. Universidad de Guadalajara.
- Gopar-Merino, F.; A. Velázquez, y J. Giménez de Azcárate, 2015. "Bioclimatic mapping as a new method to assess effects of climatic change". *Ecosphere*, 6(1): 1-12.
- Hastings, J.R., y R.M. Turner, 1965. "Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico". *Geografiska Annaler. Series A., Phys. Geogr.*, 47(4): 204-223.
- Hijmans, R.; S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones, y A. Jarvis. 2005. "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas". *Int. J. Climatol.*, 25: 1965-1978.
- Hutchinson, M.F., 2004. Anusplin Version 4.3. Centre for Resource and Environmental Studies. The Australian National University, Canberra, ACT, Australia.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]-Instituto Nacional de Ecología, 1996. "Uso de Suelo y Vegetación". Agrupado por CONABIO, (1998). Escala 1: 1.000.000. México.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática], Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, 2007. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1: 250,000, Serie IV. Conjunto Nacional. Aguascalientes, México.
- Larcher, W., 2003. *Physiological Plant Ecology*. 4th ed. Springer. Berlin.
- Lieth, H.; J. Berlekamp, S. Fuest, y S. Riediger, 1999. *Climate diagrams world Atlas*. Backhuys Publishers. Leiden.
- Luebert, F., y P. Pliscoff, 2006. *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.
- Macías, M.Á., 2009. "Estudio de las relaciones entre zonobiomas, bioclimas y vegetación en la costa del Pacífico norteamericano". Tesis de doctorado, Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España. 1041 pp.
- Macías, M.Á.; M. Peinado, J. Giménez de Azcárate, J.L. Aguirre, y J. Delgadillo, 2014. "Clasificación Bioclimática de la vertiente del Pacífico mexicano y su relación con la vegetación potencial". *Acta Bot. Mex.*, 109: 133-165.
- McVaugh, R., 1987. "Leguminosae". *Flora Novo Galiciana* 5: 1-786. The University of Michigan Press. Ann Arbor, USA.

- McVaugh, R., 1989. "Bromeliaceae to Diostecaceae". *Flora Novo Galiciana*, **15**: 1-398. The University of Michigan Press. Ann Arbor, USA.
- \_\_\_\_\_, 1992. "Gymnosperms and Pteridophytes". *Flora Novo Galiciana*, **17**: 1-119. The University of Michigan Press. Ann Arbor, USA.
- \_\_\_\_\_, 2001. "Ochnaceae to Loasaceae". *Flora Novo Galiciana*, **3**: 1-751. The University of Michigan Press. Ann Arbor, USA.
- Medina, C.; F. Gopar, J. Giménez de Azcárate, y A. Velázquez, 2012. "Análisis bioclimático y estudio de la vegetación del transecto Pico del Tancítaro-Valle de Apatzingán, Michoacán, México". Mas J.F., y G. Cuevas (Comps.) *Memorias XIX Reunión Nacional SELPER*, pp 293-301, CIGA-UNAM. Morelia, México.
- Medina, G.; G. Díaz, M. Berzoza, M.M. Silva, A.H. Chávez, y A.D. Baez, 2006a. *Estadísticas Climatológicas Básicas del estado de Chihuahua* (Período 1961-2003). Libro Técnico núm. 1. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Dirección de Coordinación y Vinculación Estatal de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.
- Medina, G.; G. Díaz, J. López, J.A. Ruiz, y M.M. Marín, 2005. *Estadísticas Climatológicas Básicas del estado de Durango* (Período 1961-2003). Libro Técnico núm. 1. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México.
- Medina, G.; L.H. Maciel, J.A. Ruiz, V. Serrano, y M.M. Silva, 2006b. *Estadísticas Climatológicas Básicas del estado de Aguascalientes* (Período 1961-2003). Libro Técnico núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Pabellón de Artega, Ags. México.
- Medina, G., y J.A. Ruiz, 2004. *Estadísticas Climatológicas Básicas del estado de Zacatecas* (Período 1961-2003). Libro Técnico núm. 3. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Zacatecas. Calera de V. R., Zac. México.
- Miranda, F., y E. Hernández-X., 1963. "Los tipos de vegetación de México y su clasificación". *Bol. Soc. Bot. México*, **28**: 29-179.
- Mittermeier, R.A., y C. Goettsch de Mittermeirt, 1992. "La importancia de la diversidad biológica de México". Sarukhán J., y R. Dirzo (Comps.) *México ante los retos de la biodiversidad*, pp. 63-73, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, DF.
- Mosiño-Alemán, P.A., y E. García, 1974. "The climate of Mexico". Bryson R.A., y F.K. Hare (Eds.) *Climates of North America*, pp. 345-404, Amsterdam y New York.
- Müller, M.J., 1982. *Selected climatic data for a global set of standard stations*

- for vegetation science.* Dr. W. Junk Publishers, The Hague.
- Navarro, G., 2011. *Clasificación de la vegetación de Bolivia*. Fundación Simón I. Patiño. La Paz.
- Navarro, G., y M. Maldonado, 2002. *Geografía ecológica de Bolivia. Vegetación y ambientes acuáticos*. Centro de Ecología Simón I. Patiño. Departamento de Difusión. Cochabamba.
- Navarro, G., y W. Ferreira, 2007. Mapa de vegetación de Bolivia. CD-ROM interactivo, The Nature Conservancy & Rumbol.
- Olson, D.M.; E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, G.V.N. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'amico, I. Itoua, H.E. Strand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.F. Allnutt, T.H. Ricketts, Y. Kura, J.F. Lamoreux, W.W. Wettenberg, P. Hedao, y K.R. Kassem, 2001. "Terrestrial Ecoregions of The World: A New Map of Life on Earth". *Bioscience*, **51**(11): 933-938.
- Peinado, M.; F. Alcaraz, J.L. Aguirre, y J. Álvarez, 1994a. "Vegetation formations and associations of the zonobiomes along the North American Pacific coast". *Vegetatio*, **114**: 123-135.
- Peinado, M.; C. Bartolomé, J. Delgadillo, e I. Aguado, 1994b. "Pisos de Vegetación de la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México". *Acta Bot. Mex.*, **29**: 1-30.
- Peinado, M.; F. Alcaraz, J.L. Aguirre, y J. Delgadillo, 1995. "Major plant associations of warm North American Deserts". *J. Veg. Sci.*, **6**: 79-94.
- Peinado, M.; F. Alcaraz, J.L. Aguirre, y J. Delgadillo, 1997a. "Phytosociological, bioclimatic and biogeographical classification of woody climax communities of western North America". *J. Veg. Sci.*, **8**: 505-528.
- Peinado, M.; F. Alcaraz, J.L. Aguirre, y J.M. Martínez-Parras, 1997b. "Vegetation formations and associations of the zonobiomes along the North American Pacific coast: from Northern California to Alaska". *Plant Ecol.*, **129**: 29-47.
- Peinado, M.; J.L. Aguirre, y M. De la Cruz, 1998. "A phytosociological survey of the boreal forest Vaccinio-Picetea in North America". *Plant Ecol.*, **137**: 151-202.
- Peinado, M.; J.L. Aguirre, J. Delgadillo, y M.Á. Macías, 2007. "Zonobiomes, zonoecotones and azonal vegetation along the Pacific coast of North America". *Plant Ecol.*, **191**(2): 221-252.
- Peinado, M.; J.L. Aguirre, J. Delgadillo, y M.Á. Macías, 2008. "A phytosociological and phytogeographical survey of the coastal vegetation of western North America. Part 1: plant communities of Baja California, Mexico". *Plant Ecol.*, **196**: 27-60.
- Peinado, M.; M.Á. Macías, J.L. Aguirre, y J. Delgadillo, 2009a. "Fitogeografía de la costa del Pacífico de Norteamérica". *Anales Jard. Bot. Madrid*, **66**(2): 151-194.

- Peinado, M.; M.Á. Macías, J.L. Aguirre, y J. Delgadillo, 2009b. "A phytogeographical classification of the North American Pacific coast based on climate, vegetation and floristic analysis of vascular plants". *Journal of Botany*, vol. 2009. ID 389414, 30 pp.
- Peinado, M.; M.Á. Macías, J.L. Aguirre, y J. Delgadillo, 2010. "Bioclimate-vegetation interrelations in Northwestern Mexico". *Southw. Nat.*, **55**(3): 311-322.
- Peinado, M.; M.Á. Macías, J. Delgadillo y J.L. Aguirre, 2006. "Major plant communities of North America's most arid region: The San Felipe Desert, Baja California, Mexico". *Plant Bios.*, **140**(3): 280-296.
- Peinado, M.; M.Á. Macías, F.M. Ocaña-Peinado, J.L. Aguirre, y J. Delgadillo, 2011a, "Bioclimates and vegetation along the Pacific basin of Northwestern Mexico". *Plant Ecol.*, **212**: 263-281.
- Peinado, M.; F.M. Ocaña-Peinado, J.L. Aguirre, J. Delgadillo, M.Á. Macías, y G. Díaz-Santiago, 2011b. "A phytosociological and phytogeographical survey of the coastal vegetation of western North America: beach and dune vegetation from Baja California to Alaska". *Appl. Veg. Sci.*, **14**(4): 464-484.
- Pennington, T.D., y J. Sarukhán, 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. 3ra. ed. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, DF, México.
- Rivas-Martínez, S., 1997. "Syntaxonomical synopsis of the North America natural potential vegetation communities, I (Compendio sintaxonómico de la vegetación natural potencial de Norteamérica, I)". *Itinera Geobot.*, **10**: 5-148.
- Rivas-Martínez, S., 2004. "Sinopsis biogeográfica, bioclimática y vegetacional de América del Norte". *Fitosociología*, **41**(1) suppl. **2**: 19-52.
- \_\_\_\_\_, 2005. "Notions on dynamic-catenal phytosociology as basis of landscape science". *Plant Bios.*, **139**(2): 135-144.
- \_\_\_\_\_, 2007. "Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España". *Memoria del Mapa de Vegetación Potencial de España*, Parte I. *Itinera Geobot.*, **17**: 5-436.
- \_\_\_\_\_, 2008. *Global Bioclimatics* (Clasificación Bioclimática de la Tierra). Disponible en <http://www.globalbioclimatics.org/book/publications.htm>. Acceso el 23 de julio de 2012.
- Rivas-Martínez, S.; D. Sánchez-Mata, y M. Costa, 1999. "North America boreal and western temperate forest vegetation (Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, II)". *Itinera Geobot.*, **12**: 5-316.

- Rivas-Martínez S.; S. Rivas-Sáenz, y A. Penas, 2011a. "Worldwide bioclimatic classification system". *Global Geobot.*, 1: 1-634.
- Rivas-Martínez S.; G. Navarro, A. Penas, y M. Costa, 2011b. "Biogeographic map of South America. A preliminary survey". *Int. Jour. Geobot. Research*, 1: 21-40 + map.
- Roig, E.; E. Abraham, y E. Méndez, 2007. "Vegetation belts, cold and soil freezing in the Central Andes of Mendoza, Argentina". *Phytocoenología*, 37(1): 99-114.
- Ruiz, J.A.; I.J. González, J. Anguiano, I. Vizcaíno, D. Ibarra, J. Alcalá, S. Espinoza, y H.E. Flores, 2003. *Estadísticas Climatológicas Básicas para el Estado de Jalisco* (Periodo 1961-2000). Libro Técnico núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco, Guadalajara, Jal. México. 281 pp.
- Ruiz, J.A.; I.J. González, V. Serrano, G. Medina, G. Díaz, y S.H. Contreras, 2009. *Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Nayarit*. (Periodo 1961-2003). Libro Técnico núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco Méx. 150 pp.
- Ruiz, J.A.; G. Medina, J. Grajeda, M.M. Silva, y G. Díaz, 2005a. *Estadísticas Climatológicas Básicas del estado de Sonora* (Periodo 1961-2003). Libro Técnico núm. 1. INIFAP-CIRNO. Cd. Obregón, Sonora, México. 171 pp.
- Ruiz, J.A.; G. Medina, J. Macías, M.M. Silva, y G. Díaz, 2005b. *Estadísticas Climatológicas Básicas del estado de Sinaloa* (Periodo 1961-2003). Libro Técnico núm. 2. INIFAP-CIRNO. Ciudad Obregón, Son. México. 151 pp.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, DF.
- \_\_\_\_\_, 1991. "Diversidad y orígenes de la Flora Fanerogámica de México". *Acta Bot. Mexicana*, 14: 3-21.
- Rzedowski, J., y T. Reyna Trujillo, 1990. "Divisiones Florísticas". Instituto de Geografía Ed. *Atlas Nacional de México* Tomo II. IV.8.3. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.
- Rzedowski, J., y R. McVaugh, 1966. "La vegetación de Nueva Galicia". *Contr. Univ. Michigan Herb.*, 9(1): 1-123.
- Sarukhán, J., 2005. "Los tipos de vegetación arbórea de la zona cálido-húmeda de México". Pennington T.D. y J. Sarukhán (Eds.) *Manual para la identificación de los principales árboles tropicales de México*, pp. 3-46, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. México, DF.
- Sayre, R.; J. Bow, C. Josse, L. Sotomayor, y J. Touval, 2008. "Terrestrial ecosystems of South America", chap. 9. Campbell J.C., K.B., Jones, J.H. Smith y M.T. Koepp, (Eds.) *North America Land Cover Summit*, pp. 131-152, Washington, D.C., Association of American Geographers.

- Sayre, R.; A. Yanosky y D. Muchoney, 2007. *Mapping global ecosystems - the GEOSS approach: Group on Earth Observations (ed.), The Full Picture.* Tudor Rose, London, UK.
- Schultz, J., 2005. *The Ecozones of the World. The Ecological Divisions of the Geosphere.* 2nd ed. Springer. The Hague.
- SMN/CNA, 2011. Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua. *Normas climatológicas* (<http://smn.cna.gob.mx>).
- Troll, C., 1966. "Seasonal climates of the earth: the seasonal course of natural phenomena in the different climatic zones of the Earth". Rodenwaldt E. y H.J. (Jusatz Eds.) *World maps of climatology*, pp. 19-28, Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Tropicos, 2014. Missouri Botanical Garden. 03 Oct 2014 (<http://www.tropicos.org>).
- Tuhkanen, S., 1980. "Climatic parameters and indices in Plant Geography". *Acta Phytogeogr. Sueca*, **67**: 9-109.
- Tüxen, R., 1956. "Die heutige potentielle natürliche Vegetation als genenstand der vegetationskartierung". *Angew Pflanzenoz Stolzenau*, **13**: 5-42.
- Vázquez-García, J.A.; G. Nieves, M. Cházaro, Y. Vargas-Rodríguez, A. Flores, y H. Luquín, 2004. "Listado preliminar de plantas vasculares del norte de Jalisco y zonas adyacentes". Vázquez-García, J.A., M. Cházaro, G. Nieves, Y. Vargas-Rodríguez, M. Vázquez-García, y A. Flores. Eds. pp. 115-168, *Flora del Norte de Jalisco y Etnobotánica Huichola*. Serie Fronteras de Biodiversidad. Universidad de Guadalajara.
- Villaseñor, J.L., 2004. "Los géneros de Plantas Vasculares de la Flora de México". *Bol. Soc. Bot. México*, **75**: 105-135.
- Walter, H., 1981. *Los Sistemas Ecológicos de los Continentes*. Ed. Omega. S.A. Barcelona.
- Walter, H., y H. Lieth, 1960-1967. *Klimadiagramm-Weltatlas*. VEB Gustav.

Recibido: 21 mayo 2015. Aceptado: 14 junio 2016.