



BIOCLIMATOLOGÍA, INDICADORES FLORÍSTICOS Y VEGETACIÓN POTENCIAL DE LA SUBCUENCA SAYULA, JALISCO, MÉXICO

BIOCLIMATOLOGY, FLORISTIC INDICATORS AND POTENTIAL VEGETATION OF THE SAYULA SUB-BASIN, JALISCO, MEXICO

LUIS FERNANDO GOPAR-MERINO¹, MIGUEL ÁNGEL MACÍAS-RODRÍGUEZ^{2*}, JOAQUÍN GIMÉNEZ DE AZCÁRATE³

¹ Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas (CICBA), Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca de Lerdo, México.

² Departamento de Ciencias Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.

³ Departamento de Botánica, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España.

*Autor para correspondencia: mmacias@cucba.udg.mx

Resumen

Antecedentes: La subcuenca Sayula localizada al centro-sur del estado de Jalisco, presenta un complejo paisaje conformado por diferentes comunidades vegetales a lo largo de un gradiente altitudinal. Pese a que existen diferentes trabajos del área, éstos no han abordado la distribución de la vegetación a lo largo de dicho gradiente, ni su interpretación bioclimática.

Preguntas: ¿Cuál es la diagnosis bioclimática de la subcuenca? ¿Cuáles son los pisos bioclimáticos y como se vinculan con su correspondiente vegetación potencial natural? ¿Cuáles son los bioindicadores florísticos de cada piso bioclimático?

Especies de estudio: Plantas vasculares, tipos de vegetación.

Sitio y años de estudio: La subcuenca Sayula; 2017 a 2020.

Métodos: Revisión de literatura, trabajo de campo, análisis bioclimático y trabajo de gabinete.

Resultados: El área pertenece al Macrobioclimate Tropical, reconociéndose los bioclimas Tropical Xérico y Tropical Pluviestacional; en el primero se incluyen los pisos bioclimáticos Termotropical Semiárido, Termotropical Seco y Mesotropical Seco, y en el segundo, los pisos bioclimáticos Mesotropical Subhúmedo y Mesotropical Húmedo. Las categorías mencionadas fueron trabajadas en un SIG obteniendo una cartografía que mostró su distribución espacial. Asimismo, la información geobotánica se sintetizó en una catena de vegetación representativa y en tablas que vinculan la información florística, vegetacional y bioclimática.

Conclusiones: La diagnosis bioclimática permitió establecer la distribución de los pisos bioclimáticos, así como su relación con los tipos de vegetación. Los recambios en cuanto a fisionomía, estructura, composición y ecología de los pisos están en consonancia con las variaciones de las condiciones bioclimáticas a lo largo del gradiente altitudinal.

Palabras clave: Bioindicadores, geobotánica, isobioclimas, vegetación potencial natural.

Abstract

Background: The Sayula sub-basin located in the center-south of the state of Jalisco, presents a complex landscape made up of different plant communities along an altitude gradient. Despite the fact that there are different studies in the area, they have not addressed the distribution of the vegetation along this gradient, nor its bioclimatic interpretation.

Questions: What is the bioclimatic diagnosis of the sub-basin? What are the bioclimatic belts and how are they linked to their corresponding natural potential vegetation? What are the floristic bioindicators of each bioclimate belt?

Study species: Vascular plants, types of vegetation.

Site and years of study: The Sayula sub-basin; 2017 to 2020.

Methods: Literature review, field work, bioclimatic analysis and desk work.

Results: The area belongs to the Tropical Macrobioclimate, recognizing the Tropical Xeric and Tropical Pluviseasonal bioclimates; the first includes the Semi-arid Thermotropical, Dry Thermotropical and Dry Mesotropical bioclimatic belts, and the second includes the Subhumid Mesotropical and Humid Mesotropical bioclimatic belts. The mentioned categories were worked on in a GIS obtaining a cartography that showed their spatial distribution. Likewise, the geobotanical information was synthesized in a representative vegetation chain and in tables that link the floristic, vegetational and bioclimatic information.

Conclusions: The bioclimatic diagnosis allowed to establish the distribution of the bioclimatic belts as well as their relationship with the types of vegetation. The changes in terms of physiognomy, structure, composition and ecology of the vegetation belts are in line with the variations of the bioclimatic conditions along the altitudinal gradient.

Keywords: Bioindicators, geobotany, isobioclimate, potential natural vegetation.

El clima es el principal factor medioambiental regulador de la distribución de las especies y la vegetación; la incidencia de sus diferentes parámetros, entre otros condicionantes edáficos, geofísicos etc., repercute en el reparto de los diferentes tipos de vegetación que se alternan a lo largo de un territorio (Troll 1965, Walter 1985, Woodward 1987, Larcher 2003, Rivas-Martínez *et al.* 2011a). La articulación de una línea base de referencia que vincule el clima con la distribución de los organismos sobre la Tierra, y particularmente de las comunidades vegetales y sus especies, es el objeto de estudio de la bioclimatología. Su marco dual y complementario (climático y geobotánico), la cada vez mayor calidad y disponibilidad de datos climáticos y de herramientas para su tratamiento, junto al mejor conocimiento de la distribución y composición de las comunidades vegetales, permite a la bioclimatología la formulación de categorías que aportan una diferenciación y delimitación precisa y robusta de los ecosistemas terrestres (Müller 1982, Sayre *et al.* 2007, Cress *et al.* 2009, Peinado *et al.* 2010, Gopar-Merino *et al.* 2015, Gopar-Merino & Velázquez 2016, Macías-Rodríguez *et al.* 2017, Castro-López & Velázquez 2019). Los estudios que tratan sobre dichas relaciones abarcan territorios, escalas y tipos de vegetación de amplio espectro, como lo local, lo regional, lo continental y lo global; por mencionar entre otros, los realizados por Peinado *et al.* (1994, 1997), Rivas-Martínez (1997, 2004), Amigo & Ramírez (1998), Navarro & Maldonado (2002), Galán de Mera *et al.* (2003), del Río & Penas (2006), Luebert & Pliscoff (2006), Costa *et al.* (2007), Roig *et al.* (2007), Cress *et al.* (2009), Rivas-Martínez *et al.* (2011b), Gopar-Merino *et al.* (2015). En síntesis, estos trabajos inciden en la importancia del análisis de la información climática (bioclimática) mediante software de sistemas de información geográfica para efectuar una regionalización bioclimática con la que identificar territorios cuya vegetación responda de manera ajustada a los intervalos definidos para los parámetros bioclimáticos recogidos en cada unidad tipológica.

A lo largo de los gradientes altitudinal y latitudinal se observan sucesivos cambios en la estructura, distribución, dinámica y composición de los ecosistemas; paralelamente, a nivel de especies y poblaciones, ocurren variaciones fenológicas, fisiológico-adaptativas y corológicas (Gentry 1988, Breckle 2002). De igual manera y asociados a los futuros escenarios del proceso de calentamiento global, son previsibles cambios en la distribución y respuestas adaptativas de plantas y comunidades (Matías 2012, Ruiz-Labourdette *et al.* 2012, Loidi *et al.* 2010 del Río *et al.* 2018).

Los modelos espaciales de la distribución de la vegetación de un territorio, expresados a través de la interpretación geobotánica y plasmada cartográficamente, constituyen el sustento biótico y el complemento de sus correspondientes modelos bioclimáticos presentes y futuros. En este sentido, la propuesta desarrollada durante décadas por Rivas-Martínez *et al.* (2011a, 2017) y retomadas por varios autores para el establecimiento de modelos cartográficos ha resultado de gran utilidad y aplicabilidad (Cress *et al.* 2009, Gopar-Merino *et al.* 2015). Su fundamento se basa en el establecimiento de una tipología con una ajustada reciprocidad entre el clima (por medio de parámetros e índices bioclimáticos) y la vegetación (tipos de vegetación asociados a la zonación altitudinal). El sistema se articula mediante tres niveles fundamentales: macrobioclima, bioclima y pisos bioclimáticos; las distintas unidades de cada nivel están definidas por los valores umbrales discriminantes de ciertos requisitos térmicos (temperatura) y ómbricos (precipitación) de carácter anual, estacional o mensual.

Los macrobioclimas son las unidades de mayor rango de la clasificación bioclimática. Se trata de modelos biofísicos sintéticos, delimitados por determinados valores latitudinales, climáticos y vegetacionales. Estos poseen una amplia jurisdicción territorial que están relacionados con los grandes tipos de climas, biomas, biorregiones y regiones biogeográficas de la Tierra (Rivas-Martínez *et al.* 2011a). A su vez, cada Macrobioclima se subdivide en bioclimas, que están delimitados por el índice ombrotérmico anual, el régimen estacional de precipitaciones y la continentalidad (en los extratropicales). Estos bioclimas constituyen los tipos de clima que influyen en el desarrollo y distribución de las especies y formaciones vegetales (Rivas-Martínez *et al.* 2011a). En cada bioclima se diferencian los pisos bioclimáticos, que son cada uno de los tipos de condiciones climáticas que se suceden en una cliserie altitudinal o latitudinal, definidos mediante dos parámetros: el termotipo, basado en el índice de termicidad y el ombrotipo, fundamentado en el índice ombrotérmico anual (Rivas-Martínez *et al.* 2011a). Cada piso bioclimático posee unas determinadas formaciones y comunidades vegetales: los tipos de vegetación.

Por otro lado, el isobioclima es aquel que está integrado por un bioclima, un termotipo y un ombrotípico. A cada isobioclima le corresponde un espacio bioclimático propio, identificable por los valores climáticos umbrales de cada una de las unidades bioclimáticas que lo constituyen.

Asimismo, el sistema recoge aspectos básicos relacionados con las limitaciones que el clima plantea a la vida de las plantas vasculares y de las comunidades vegetales (Rivas-Martínez *et al.* 2011a).

Los trabajos botánicos en la subcuenca Sayula se centran mayormente en la parte lacustre. Las primeras reseñas hablan del carácter halófilo de su vegetación, así como de su falta de aptitudes para los cultivos (SPP 1976). En el entorno de la planicie, Estrada-Faudón (1983) describe los tipos de vegetación y las especies de flora encontrados en las islas de la laguna. Posteriormente, Delgado (1984) vincula las plantas indicadoras de salinidad con las características edáficas del suelo. González-Villarreal & Pérez de la Rosa (1987) describen los diferentes tipos de vegetación de la cuenca y su flora más representativa. Arámbula & Preciado (1989) realizan un estudio sobre los usos potenciales de la flora halófita. Estrada-Faudón (1993) analiza la problemática ecológica de la vegetación lacustre y plantea alternativas para su preservación.

El primer estudio botánico sistemático del vaso de la laguna fue realizado por Villegas-Flores *et al.* (1995); en él, se registran un total de 306 taxones, se describen los tipos de vegetación y su distribución espacial. Un inventario sobre las cactáceas del entorno de la laguna y sus aspectos etnobotánicos fue publicado por Arreola-Nava & Villegas-Flores (1995), quienes registraron un total de 16 especies, cifra que aumenta a 37 al considerar otras familias de suculentas (Macías-Rodríguez 2001). Macías-Rodríguez (2004) publicó un libro ilustrado sobre la flora y la vegetación del vaso lacustre, el cual incluye un mapa con la distribución de las principales comunidades vegetales.

Posteriormente Contreras-Rodríguez *et al.* (2013) registran 82 especies de pastos del área de la cuenca aquí tratada. Del mismo modo, Macías-Rodríguez (2016) y Macías-Rodríguez *et al.* (2018) reconocen 70 especies de plantas suculentas, la mayoría nativas de México. Es así que, en total, la cifra de plantas vasculares asciende a 687, las cuales están organizadas en 415 géneros y 113 familias. Asimismo, todas las investigaciones previamente mencionadas, mostraron los aspectos más característicos de los ocho tipos de vegetación más representativos del área, además de que documentaron la problemática existente en la zona, como lo es la asociada a la deforestación, la ganadería y la expansión de diversos cultivos.

El presente trabajo pretende desarrollar tres objetivos principales. El primero es identificar las variaciones fitocénóticas que se presentan a lo largo del gradiente altitudinal de los territorios que forman la subcuenca Sayula. El segundo es identificar la relación existente entre las variaciones fitocénóticas, con el modelo bioclimático propuesto por Rivas-Martínez *et al.* (2011a). Y tercero, derivado del anterior, reconocer las principales especies directrices que caracterizan cada tipo bioclimático en la cliserie altitudinal, mismas que constituyen las especies indicadoras de referencia para efectuar posibles acciones de restauración forestal con criterios geobotánicos y ecológicos.

Materiales y métodos

Área de estudio. La subcuenca de Sayula es una cuenca endorreica localizada en el centro-sur del estado de Jalisco. Está ubicada entre las coordenadas 19° 45' y 20° 15' N; - 103° 10' y - 103° 45' W. Abarca una superficie aproximada de 1,476 km², con un rango altitudinal que oscila entre los 1,110 y los 2,868 m. Los municipios que integran el área son: Amacueca, Atoyac, Concepción de Buenos Aires, Sayula, Techaluta de Montenegro, Teocuitatlán de Corona y Zacoalco de Torres ([Figura 1](#)). El territorio se reparte entre las Regiones Mesoamericana de Montaña (Provincia Serranías Meridionales) y la Caribeña (Provincia Costa Pacífica) (Rzedowski 1978).

El vaso de la laguna presenta un fondo aluvial salino, rico en carbonato de sodio y sulfato de magnesio. Las vertientes que la rodean están conformadas por los lomeríos y contrafuertes de las Sierras de Tapalpa al occidente, Sierra del Tigre al oriente, y de los cerros García y El Caracol al noreste. El cierre del drenaje en el rumbo norte y sur está representado por elevaciones discretas que la separan respectivamente de la cuenca de la laguna de Zacoalco. Fisiográficamente el área es parte de la subprovincia de Chapala, incluida en la Provincia de la Faja Volcánica Transmexicana (Valdivia-Ornelas & Castillo-Aja 2001).

Pisos bioclimáticos de la subcuenta Sayula

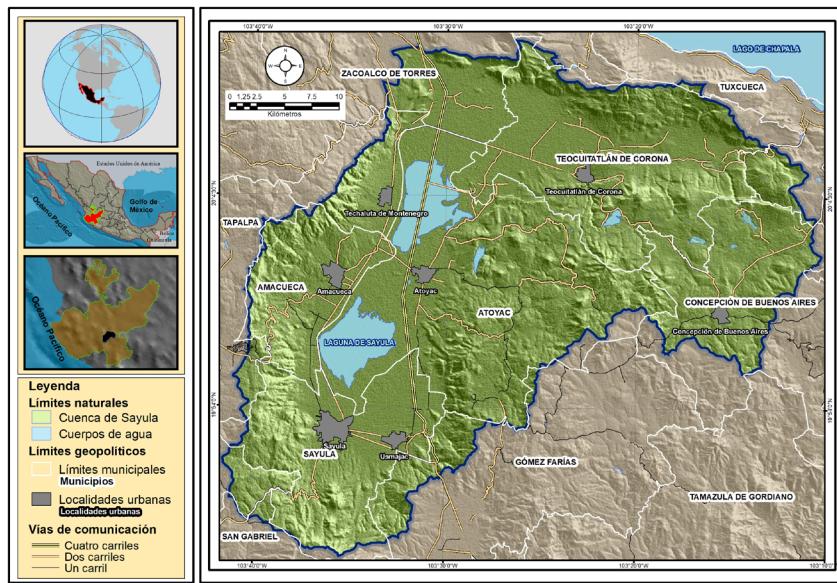


Figura 1. Área de estudio. Subcuenca Laguna de Sayula, Jalisco, México.

La litología es principalmente de origen ígneo extrusivo (lavas, tobas y brechas) de composición basáltica y andesita; puntualmente en las zonas bajas de las laderas se presentan areniscas y lutitas (Flores-Díaz 1984, Ávila-Palafox 1994). El sinclinal resultante de los anticlinales de las sierras de Tapalpa y del Tigre forma el interior de la cuenca y constituye una fosa tectónica. (Estrada-Faudón 1983).

Como resultado de la naturaleza endorreica de la cuenca, las aportaciones de agua son canalizadas a través de diferentes arroyos temporales y ríos permanentes. De estos últimos destacan el Atoyac y el Teocuitatlán cuyas aguas desembocan en la laguna, en donde se tornan salobres por la presencia en el suelo de carbonato de sodio y sulfato de magnesio (Flores-Díaz 1984). Asociados a los sedimentos lacustres de la laguna se presentan suelos de tipo solon-chacks, (gléyco y petrosálico), y fluvisoles. Hacia el norte de la planicie estos suelos forman mosaicos con arenosoles generados a partir de la sedimentación de arenas removidas por el viento. El basalto y la andesita han dado como origen principalmente a vertisoles, asociados a terrazas de la planicie y laderas suaves. Los cambisoles son frecuentes en laderas estables de pendiente variada, mientras que leptosoles se aprecian sobretodo en laderas empinadas y lugares erosionados (SPP 1982).

El patrón evolutivo de la temperatura promedio mensual a lo largo del año es el típico de la cintura geográfica tropical, con variaciones de dicho parámetro entre el mes más frío y el más cálido inferior a 5 °C. En cuanto al ritmo de las precipitaciones se reconoce una marcada estación lluviosa de mayo a octubre, a la que sucede la estación seca. La temperatura media anual en la zona del vaso está en torno a los 22 °C aunque es un poco más elevada al norte (22.7 °C) y un poco más baja al sur (21.3 °C). A medida que se asciende por las vertientes, dicha temperatura desciende hasta alcanzar los 15 °C en las partes más altas de la cuenca (Fernández-Eguiarte *et al.* 2021). En cuanto a la precipitación media anual, las oscilaciones entre el norte y el sur de la planicie son más notorias, con valores que oscilan entre los 851 mm al sur y los 564 mm al norte. Hacia las laderas la precipitación tiende a aumentar hasta alcanzar valores próximos a los 1,300 mm en las barrancas de las zonas altas de las sierras de Tapalpa y El Tigre (García 2004, Fernández-Eguiarte *et al.* 2021).

Siguiendo la propuesta de Köppen modificada por García (2004) se reconocen diferentes subtipos a lo largo del gradiente altitudinal. En la parte baja de la cuenca predominan los subtipos climáticos semiseco semicálido BS1hw(w) y semicálido subhúmedo (A)C(w0)w, con lluvias en verano y menos de cinco por ciento de lluvia invernal. En las zonas medias y altas el tipo climático es templado subhúmedo de humedad media, C(w1)(w), y el templado subhúmedo de humedad alta, C(w2)(w), ambos con lluvias de verano y menos de cinco por ciento de lluvia invernal.

Análisis bioclimático. Para la caracterización de las unidades bioclimáticas se consideró la información de las normales climatológicas de 14 estaciones meteorológicas, cuatro dentro de la zona de estudio y 10 fuera de ella (señaladas con *) en áreas próximas a una distancia no mayor a los 10 km del perímetro de la cuenca. La mayoría de ellas están situadas altitudinalmente entre los 1,350 y los 2,320 m, cubriendo de manera heterogénea y desigual el territorio. Dicha información se obtuvo de las Estadísticas Climáticas Normales del estado de Jalisco (Ruiz *et al.* 2012), así como de la base de datos de la CONAGUA (2018) ([Tabla 1](#)). Para cada una se registró el nombre completo de la estación, municipio, los años de tomas de datos (tanto de temperatura y precipitación), sus coordenadas geográficas y la altitud en la que se encuentran. Con base en su ubicación y en los promedios mensuales de los diferentes parámetros de precipitación y de temperatura, se obtuvieron las correspondientes diagnosis bioclimáticas de las estaciones, utilizando el sistema bioclimático de Rivas-Martínez *et al.* (2011a). Se elaboraron algunos diagramas representativos de los pisos bioclimáticos reconocidos, utilizando para ello el programa BIOCLIMA (Alcaraz 2013). Posteriormente, para cada estación meteorológica se vinculó con su correspondiente vegetación potencial natural (VPN).

Tabla 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de referencia. Se señalan con * las incluidas dentro de la cuenca estudiada.

Estación	Municipio	Años Temperatura/ Precipitación	Latitud °y'	Longitud °x'	Altitud (m)
Zacoalco de Torres	Zacoalco de Torres	48/48	20° 13'	103° 34'	1,350
Teocuitatlán*	Teocuitatlán	42/42	20° 05'	103° 22'	1,370
Atoyac*	Atoyac	48/48	20° 00'	103° 31'	1,350
Amacueca*	Amacueca	22/31	20° 01'	103° 36'	1,439
Ciudad Guzmán	Ciudad Guzmán	52/52	19° 43'	103° 27'	1,515
Jocotepec	Jocotepec	42/42	20° 17'	103° 25'	1,540
Tuxcueca	Tuxcueca	50/50	20° 09'	103° 11'	1,530
Venustiano Carranza	San Gabriel	39/39	19° 45'	103° 45'	1,370
Manzanilla de la Paz	Manzanilla de la Paz	48/48	20° 00'	103° 09'	2,050
Chapala	Chapala	50/50	20° 17'	103° 12'	1,530
Atemajac de Brizuela	Atemajac de Brizuela	44/44	20° 08'	103° 43'	2,320
Concepción de Buenos Aires*	Concepción de Buenos Aires	37/40	19° 58'	103° 15'	1,639
El Nogal	Tapalpa	50/50	19° 52'	103° 47'	2,000
San Gregorio	Gómez Farías	50/50	19° 53'	103° 21'	1,845

Se considera VPN a la comunidad vegetal climatófila que se establecería si todas las secuencias sucesionales se completaran sin interferencia humana, bajo las actuales condiciones climáticas y sobre suelos normales; esta situación equivale a la clímax (Ricotta *et al.* 2002, Loidi *et al.* 2010).

A partir de los datos climáticos de las estaciones meteorológicas, se obtuvieron los diferentes valores de los parámetros e índices bioclimáticos utilizados de acuerdo con el sistema bioclimático global de Rivas-Martínez *et al.* (2011a). Las variables consideradas en la diagnosis fueron: T_i : Temperatura media mensual, siendo i : 1 = enero, ... 12 = diciembre; T_{max} : Temperatura media del mes más cálido del año. T_{min} : Temperatura media del mes más frío del año. M_i : Temperatura media mensual de las mínimas. M_i : Temperatura media mensual de las máximas. m : Temperatura media

de las mínimas del mes más frío. M : Temperatura media de las máximas del mes más frío. Tp : Temperatura positiva anual. Pi : Precipitación media mensual. Pp : Precipitación positiva anual. It : Índice de termicidad: Suma en décimas de grado de T , m y M . $It = (T + m + M) \times 10$. Io : Índice ombrotérmico anual: Cociente entre la Pp , en mm, y Tp , en décimas de °C, multiplicada por diez. $Io=10 \times (Pp/Tp)10$. $Iod2$: Índice ombrotérmico del bimestre más seco del trimestre más seco del año. Ic : Índice de continentalidad: o intervalo térmico anual ($T_{max}-T_{min}$ en °C).

Análisis de la flora y la vegetación. Con el objeto de reconocer los principales componentes de la vegetación forestal y sus pautas de distribución general en el paisaje, se realizaron diez recorridos exploratorios a lo largo de la zona de estudio durante el periodo de 2017 a 2020. Se aprovechando las principales vías de comunicación (carreteras) con el objetivo de identificar las variaciones fisionómicas más significativas de la vegetación.

El trabajo de campo se realizó en sitios cercanos a cada estación meteorológica, donde se verificó la VPN de los sitios aledaños en mejor estado de conservación. Las parcelas muestreadas se seleccionaron atendiendo a criterios de homogeneidad ecológica, estructural y florística de los muestreos. Se realizaron 30 relevés (muestreos fitosociológicos) y se analizaron considerando las premisas y consideraciones de la escuela sigmatista (Westhoff & van der Maarel 1973, Braun-Blanquet 1979). Así, los muestreos se efectuaron en parcelas de aprox. 600 m², en las que se inventariaron las especies leñosas con sus correspondientes índices, biotipos, y caracteres ecofisionómicos, siguiendo las seis categorías descritas y resumidas por Box (1981). De forma complementaria se obtuvieron datos de altitud, pendiente, exposición del terreno y altura de la vegetación.

Para la selección de las especies bioindicadoras florísticas (BIF) de cada piso bioclimático se consideró el nivel de representatividad y los porcentajes más altos de cobertura de las especies en los inventarios realizados. Esta información se solapó con la cartografía bioclimática obtenida, de manera que cada piso se vinculó con aquellas especies diferenciales para cada uno reconocidas a lo largo del gradiente altitudinal. Se aplica a taxones o sintaxones que ponen de relieve propiedades del medio o unidad de lugar. Puede hablarse de bioindicadores pudiendo ser climáticos, edáficos, geográficos etc. Los bioindicadores fitocénóticos de las comunidades son los taxones: especies características diferenciales, territoriales, etc.; siendo base fundamental de la fitosociología tipológica (Géhu 2005, Rivas-Martínez 2011a).

La determinación de las especies muestreadas se realizó en campo; cuando esto no fue posible, se colectaron ejemplares botánicos los cuales fueron determinados e incorporados al herbario IBUG Luz M^a Villarreal de Puga de la Universidad de Guadalajara. En ambos casos se siguieron fundamentalmente las obras Flora de Nueva Galicia (McVaugh 1983, 1984, 1985, 1987, 1989, 1992, 1993, 2001). Adicionalmente se consultaron las monografías de los pinos de México y América Central (Perry 1991, Farjon *et al.* 1997) y la de los encinos del estado de Jalisco (González-Villarreal 1987). Como referente nomenclatural de las especies se utilizó la base de datos del Jardín Botánico de Missouri (tropicos.org).

Elaboración cartográfica. Para los modelos cartográficos de la zona de estudio, se consideraron los datos del Atlas Climático Digital de México (Fernández-Eguiarte *et al.* 2021). Se utilizaron los promedios mensuales y anuales de: temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima y precipitación. Se utilizaron las capas de información climática en formato raster con pixeles de aproximadamente 1 km². 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 10.5) mediante el uso de herramientas de álgebra de mapas. Las capas resultantes en formato raster fueron categorizadas (bioclimas, termotipos, ombrotipos e isobioclimas) y vectorizadas en el mismo SIG, acorde a los índices bioclimáticos propuestos por Rivas-Martínez *et al.* (2011a) (ver Gopar-Merino & Velázquez 2016). Los mapas se trabajaron a una escala 1: 500,000 con una proyección cónica conforme de Lambert y un Datum WGS 1984. La escala mínima cartografiable fue de 2 mm, es decir, se eliminaron aquellos polígonos con áreas menores a 100 ha.

La caracterización bioclimática se complementó con el análisis de VPN. Para ello, se tomaron en cuenta los datos recolectados en campo y el mapa de vegetación y uso del suelo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía

(INEGI 2007). De este último mapa solo se consideraron los tipos relacionados con la vegetación climatófila, con el fin de vincularlos con su correspondiente cintura bioclimática. También se tuvieron en cuenta las descripciones de vegetación relacionadas en la literatura (Rzedowski 1978, Macías-Rodríguez *et al.* 2018). Finalmente, se consideraron los aportes bioclimáticos reportados en otros territorios mexicanos (Peinado *et al.* 1994, Rivas-Martínez *et al.* 1999, Macías-Rodríguez 2009, Peinado *et al.* 2010, 2011, Giménez de Azcárate & González-Costilla 2011, Giménez de Azcárate *et al.* 2013, Macías-Rodríguez *et al.* 2014, 2017 y Ochoa-Ramos 2020).

Resultados

Análisis bioclimático. La Diagnosis Bioclimática (Bioclima, Termotipo y Ombrotipo) detallada de las 14 estaciones meteorológicas se muestra en la [Tabla 2](#). De forma complementaria y para ilustrar gráficamente las situaciones identificadas se muestran cuatro diagramas bioclimáticos representativos de otros tantos isobioclimas del área ([Figura 2](#)).

El área de estudio se incluye en el Macrobioclima Tropical, dentro de la cintura latitudinal Eutropical. El siguiente nivel de la clasificación permitió reconocer los Bioclimas: Tropical Xérico (Tr Xe) ($Io \leq 3.6$) y el Tropical Pluviestacional (Tr Ps) ($Io \geq 3.6$; $Iod_2 \leq 2.5$). En el siguiente nivel de análisis se reconocieron dos termotipos (Termotropical y Mesotropical) y cuatro ombrotipos (Semiárido, Seco, Subhúmedo y Húmedo) cuya combinación en la zona arrojó cinco isobioclimas: Tr Xe Termotropical Semiárido, Tr Xe Termotropical Seco, Tr Xe Mesotropical Seco, Tr Ps Mesotropical Subhúmedo y Tr Ps Mesotropical Húmedo.

Tabla 2. Diagnosis bioclimática de las estaciones consideradas. (Acrónimos empleados: Tp: Temperatura positiva anual; PP: Precipitación positiva anual; It: Índice de termicidad; Io: Índice ombrotérmico anual; Tr Xe: Tropical Xérico; Tr Ps: Tropical Pluviestacional; Ttr: Termotropical; Mtr: Mesotropical; Sar: Semiárido; Sec: Seco; Shu: Subhúmedo; Hum: Húmedo).

Estación	Tp	PP	It	Io	Bioclima	Termotipo	Ombrotipo
Zacoalco de Torres	2,562	492.90	558	1.92	TrXe	Ttr	Sar
Teocuitatlán de Corona	2,544	503.60	578	1.98	TrXe	Ttr	Sar
Atoyac	2,532	626.20	570	2.47	TrXe	Ttr	Sec
Amacueca	2,492	639.70	558	2.57	TrXe	Ttr	Sec
Ciudad Guzmán	2,369	732.05	510	3.09	TrXe	Ttr	Sec
Jocotepec	2,271	753.70	499	3.32	TrXe	Ttr	Sec
Tuxcueca	2,345	743.30	499	3.17	TrXe	Ttr	Sec
Venustiano Carranza	2,470	790.80	537	3.20	TrXe	Ttr	Sec
La Manzanilla de la Paz	2,511	974.20	548	3.88	TrPs	Ttr	Shu
Chapala	2,405	938.00	533	3.90	TrPs	Ttr	Shu
El Nogal	1,965	779.50	423	3.97	TrPs	Mtr	Shu
Concepción de Bs. Aires	1,917	950.10	428	4.95	TrPs	Mtr	Shu
Atemajac de Brizuela	1,885	947.80	406	5.03	TrPs	Mtr	Shu
San Gregorio	1,839	1292.2	384	7.03	TrPs	Mtr	Hum

Bioclima Tropical Xérico (Tr Xe).- Este bioclima es el de más amplia distribución en la zona de estudio, con una superficie total de 85,397 ha (57.9 %). Se presenta en la planicie de la laguna y en los piedemontes que la circundan (partes bajas de las Sierras de Tapalpa, del Tigre, y de los Cerros El Caracol y García). Se desarrolla altitudinalmente entre los 1,329 y los 1,944 m. Así, es que están presentes los siguientes isobioclimas: Tr Xe Termotropical Semiárido, Tr Xe Termotropical Seco y Tr Xe Mesotropical Seco.

Pisos bioclimáticos de la subcuenca Sayula

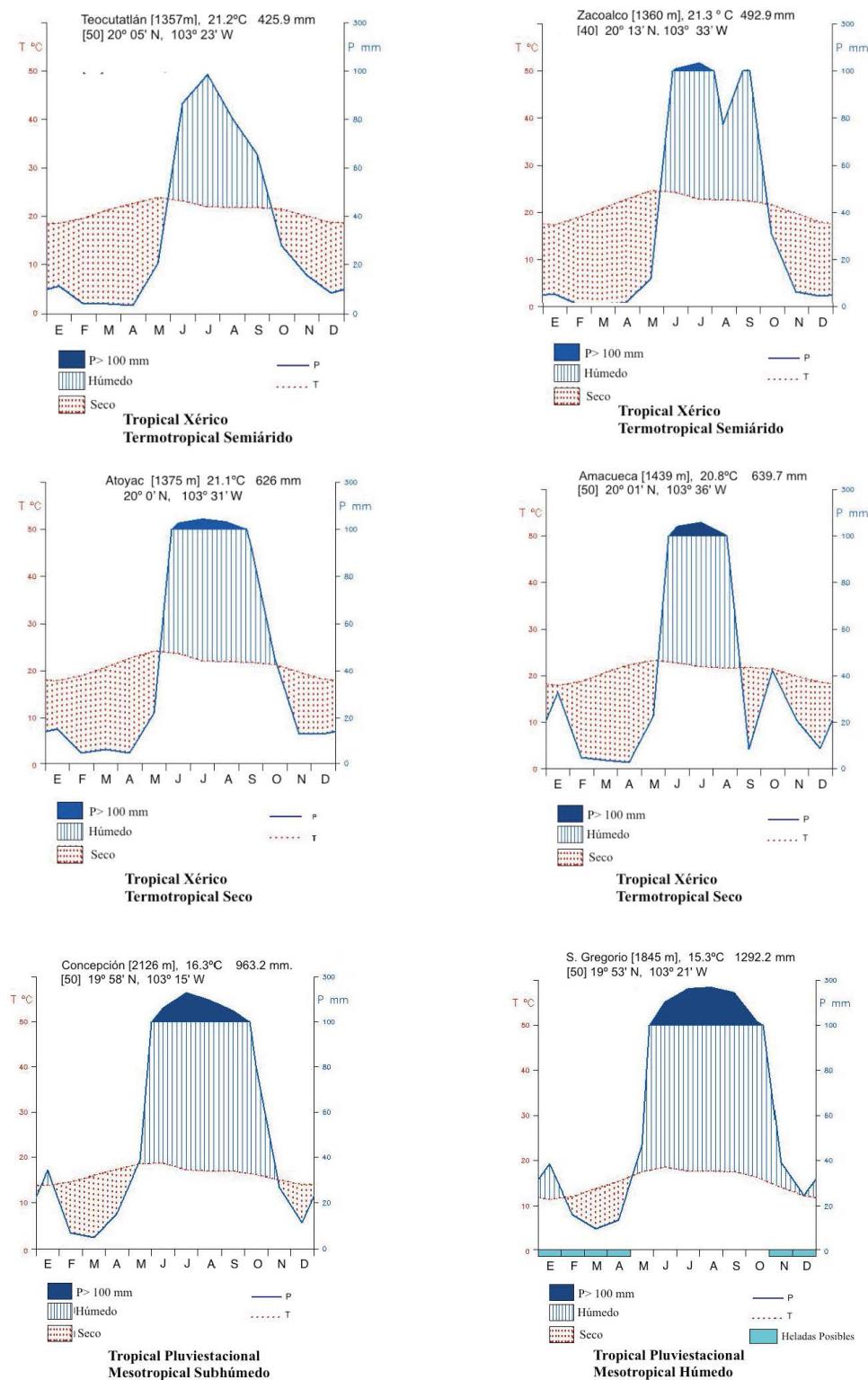


Figura 2. Diagramas bioclimáticos representativos de la Subcuenca Laguna de Sayula, Jalisco, México.

A. Tr Xe Termotropical Semiárido (Ttr Sar).- Presenta una superficie de 14,483 ha, ocupando el tercer lugar en extensión dentro del área de estudio. Este isobioclima se distribuye en las zonas planas de la parte norte y noreste formando una superficie continua, que integra los territorios de Teocuitatlán de Corona, Citala, San José de Gracia, Cacaluta y Verdía principalmente; estos enclaves presentan una notable xericidad a lo que hay que añadir la textura arcillo-limosa y pH alcalino (10.4) de sus suelos. Los datos resultantes provenientes de las estaciones meteorológicas, Zacoalco de Torres y Teocuitatlán de Corona, hacen evidente esta categoría climática. Se desarrolla a una altitud de 1,329 a 1,482 m. Presenta un *It* de 490 a 710 y un *Io* de 1.0 a 2.0.

B. Tr Xe Termotropical Seco (Ttr Sec).- Es el que mayor superficie ocupa en la zona de estudio con 66,283 ha. Se presenta en la parte central y meridional de la laguna, así como en las laderas bajas y en los piedemonte de las sierras antes mencionadas, entre los 1,451 a 1,950 m. Abarca los territorios de los poblados de San Miguel del Zapote, Techaluta, Amacueca, Sayula, Usmajac, Unión de Guadalupe y Atoyac. Los datos resultantes provienen de las estaciones meteorológicas, Amacueca, Atoyac y Cd. Guzmán entre otras, y ponen en evidencia esta categoría bioclimática. Presenta un *It* igual que el isobioclima anterior, pero difiere en su *Io* de 2.0 a 3.6.

C. Tr Xe Mesotropical Seco (Mtr Sec).- Se extiende por una superficie de 4,497 ha ocupado el cuarto lugar en superficie. Se distribuye en la porción meridional de la Sierra de Tapalpa, en la ladera occidental de la Sierra del Tigre y en la vertiente sur y noroeste del Cerro García. Se presenta altitudinalmente por arriba del anterior isobioclima, de 1,710 a 1,950 m. Presenta un *It* de 320 a 490 y un *Io* de 2.0 a 3.6.

Bioclima Tropical Pluviestacional (Tr Ps).- Este bioclima ocupa el segundo lugar en la zona de estudio, con una superficie total de 62,151 ha (42.1 %). Se presenta en las zonas medias y altas de la Sierra de Tapalpa en su porción este, así como en las partes altas de los Cerros el Caracol, García y toda la Sierra del Tigre. Asimismo, está presente en los territorios de los poblados Paso de la Yerbabuena, Concepción de Buenos Aires, Los Sauces y del Tigre, bordeando casi toda el área, excepto en su porción meridional. Se desarrolla entre las altitudes de 1,493 y los 2,800 m. Esta zona registra los siguientes isobioclismas: Tr Ps Mesotropical Subhúmedo y Tr Ps Mesotropical Húmedo.

D. Tr Ps Mesotropical Subhúmedo (Mtr Shu).- Ocupa el segundo lugar de importancia dentro el área de estudio, con una superficie de 62,060 ha. Su distribución abarca zonas de media montaña, tanto en la vertiente oriental de la Sierra de Tapalpa como en las laderas orientales de La Sierra del Tigre y la porción norte de los Cerros del Caracol y Ortega. Presenta un *It* de 320 a 710 y un *Io* de 3.6 a 6.0.

E. Tr Ps Mesotropical Húmedo. (Mtr Hum).- Este isobiocoima está relegado a una pequeña porción de la parte más alta de la zona de estudio con tan sólo 17 ha. Esta área se ubica al nornoroeste del poblado de Junacatlán en la Sierra de Tapalpa a una altitud de los 2,673 a los 2,823 m. Presenta un *It* de 320 a 710 y un *Io* de 6.0 a 12.0.

El isobioclima Tr Ps Termotropical Subhúmedo se reconoció para las estaciones Chapala y Manzanilla de la Paz, las cuales se encuentran fuera del área de estudio. Por esta razón, este isobioclima tiene una mayor influencia en el piedemonte próximo a la Laguna de Chapala.

Es así que, con base en la caracterización bioclimática detallada previamente, se presentó la delimitación de las unidades obtenidas a partir del arreglo espacial de los datos bioclimáticos provenientes de las estaciones meteorológicas. De tal modo, el área que ocupan los dos bioclimas preponderantes se plasma en la [Figura 3](#). Esta cartografía permitió conocer la delimitación de cada isobioclima presente en el área de estudio y refleja la posible distribución potencial de los diferentes tipos de vegetación.

Establecida la diagnosis bioclimática, se procedió a constituir los vínculos de reciprocidad entre los isobioclismas y la vegetación potencial. Quedan al margen de la interpretación y del enfoque seguido en este trabajo otros tipos de vegetación que no se ajustan convenientemente al modelo de reciprocidad establecido en los postulados bioclimáticos (vegetación de tipo azonal).

Pisos bioclimáticos de la subcuenta Sayula

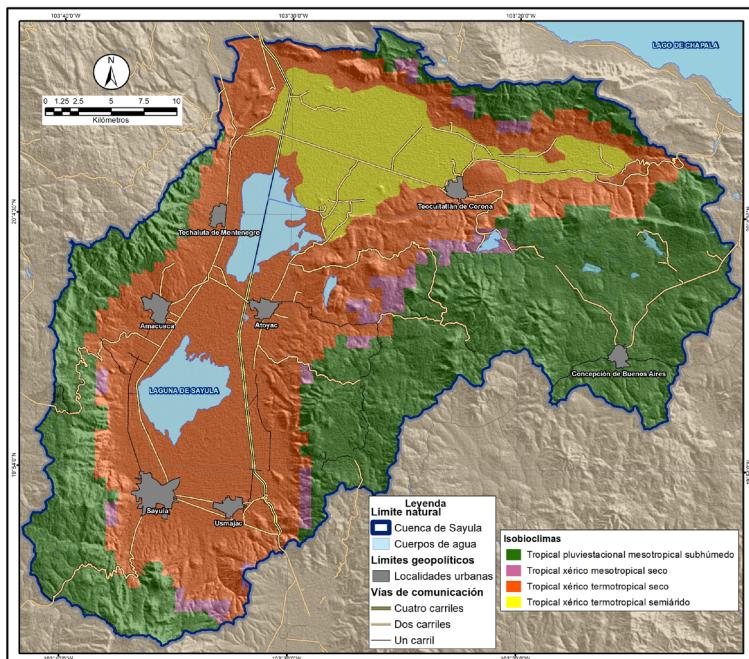


Figura 3. Mapa de isobioclimas de la Subcuenca Laguna de Sayula, Jalisco, México.

Correspondencia de los isobioclimas 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 insertar los respectivos pisos de vegetación, incidiendo en la estructura, fisionomía, especies indicadoras, distribución y posición catenal; cuando fue posible la información se complementa con aspectos dinámicos y ecológicos de la vegetación circundante. Cabe señalar que la mayoría de los BIF son referidos a su correspondiente piso, aunque los mismos pueden presentarse en los pisos vecinos mediante acomodos fisiográficos y edáficos compensatorios.

Bioclima Tropical Xérico. (Tr Xe).- 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 caducifolios o espinosos y bosques bajos de encinos, dependiendo del piso bioclimático en cuestión. Las situaciones reconocidas y las correspondientes diagnosis se comentan a continuación; en algunos casos se abordan simultáneamente los pisos bioclimáticos que por la proximidad de su vegetación potencial y/o por lo reducido de su distribución, permiten su tratamiento conjunto.

La vinculación de cada uno de estos bioclimas con su respectiva VPN nos permite reconocer los siguientes pisos bioclimáticos presentes en el área, los cuales se caracterizan a continuación:

A. Termotropical Semiárido (Ttr Sar).- La vegetación potencial característica de este tipo es la de bosque espinoso abierto, dominado por microfanerófitos de 2 - 8 m de altura, cuya principal cualidad es el carácter perenne y espinoso de la mayoría de sus árboles, así como por la composición florística del sotobosque. Ocupa terrenos profundos próximos al vaso de la laguna, de naturaleza sub-freatófila, planos o levemente inclinados y de naturaleza arcillosa cercanos a suelos inundables. Esto último incide en su tendencia a encharcarse durante los episodios de lluvias fuertes o persistentes. La especie más abundante y representativa de su etapa madura es *Prosopis laevigata* (Willd.) M.C. Johnst. Los principales bioindicadores florísticos (BIF) son: *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm., *Lycium carolinianum* Walter, *Mammillaria scrippsiana* (Britton & Rose) Orcutt, *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex

Pfeiff.) Console, *Prosopis laevigata*, *Opuntia fuliginosa* Griffiths, *O. pubescens* H.L.Wendl. ex Pfeiff., *Pereskiopsis diguetii* (F.A.C. Weber) Britton & Rose, asociados a las zonas deprimidas de la cuenca endorreica que acompañan al mezquite como plantas indicadoras de la cabeza de serie ([Figura 5-1](#)). Otros elementos de la formación de carácter secundario y subnitrófilo son *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn., *Neurolaena lobata* (L.) R.Br. ex Cass. y *Solanum torvum* Sw. Su área de distribución potencial se ha visto ampliamente reducida debido a la expansión de la frontera agrícola. Asimismo, la presencia de ganadería extensiva, junto con la tala ilegal ha favorecido su perturbación progresiva.

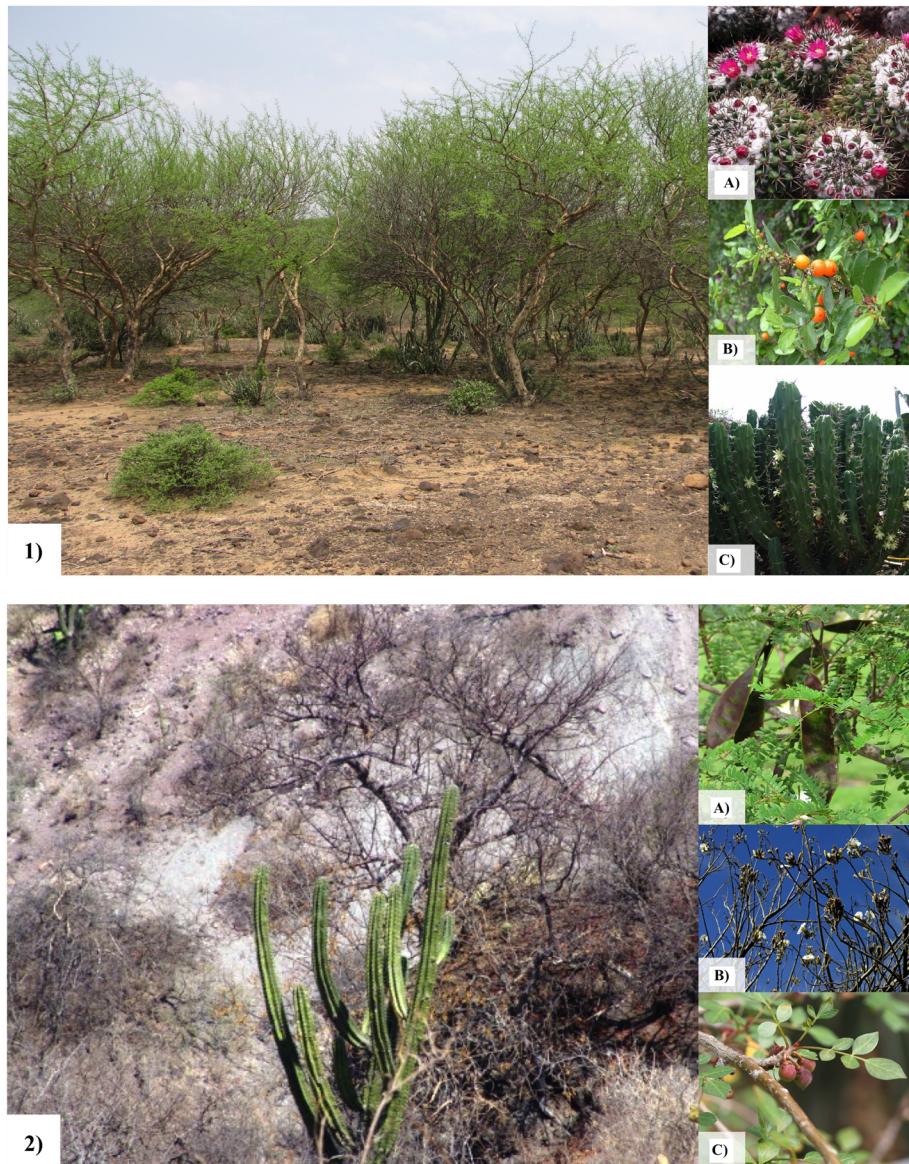


Figura 5. 1) Tropical Xérico Termotropical Semiárido, corresponde a la vegetación potencial natural (VPN) de bosque espinoso o mezquitera de *Prosopis laevigata* con la presencia de: A) *Mammillaria scrippsiana*, B) *Celtis pallida* y C) *Myrtillocactus geometrizans*. 2) Tropical Xérico Termotropical Seco, corresponde a la VPN de Bosque tropical caducifolio con *Stenocereus queretaroensis* y la presencia de: A) *Lysiloma divaricata*, B) *Ipomoea intrapilosus* y C) *Bursera fagaroides*.

Los pisos Termotropical y Mesotropical Seco presentan casi la misma vegetación potencial, asociada a comunidades de microfanerófitos y mesofanerófitos de bosque tropical caducifolio (BTC) (*sensu* Rzedowski 1978). Se trata de una formación de bosques densos y enmarañados de 10 - 15 m de alto, con una fenología foliar marcadamente estacional, coincidiendo su pérdida de hojas con el inicio de la estación seca (noviembre a mayo) y su brotadura con las primeras lluvias (junio a octubre). Pero existen algunas diferencias, por lo que se tratan como pisos diferentes que se comentan a continuación.

B. Termotropical Seco (Ttr Sec).- En el interior del vaso de la laguna se encuentra sólo en las partes centrales de la Isla Grande e Isla Chica, únicamente sobre afloramientos rocosos, ya que donde se pierde esta condición, que es a su alrededor, se hace presente el bosque espinoso. Como se mencionó anteriormente, estructural y fisonómicamente corresponde al BTC, aunque en esta comunidad vegetal, los árboles no sobrepasan los 10 m de alto. En este último, los principales BIF son: *Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl., *Bursera bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl., *Celtis reticulata* Torr., *Cnidosculus spinosus* Lundell, *Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten & Baker f., *Ipomoea intrapilosa* Rose, *Lysiloma divaricata* (Jacq.) J.F. Macbr., *Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber ex Mathes.) Buxb. y *Thevetia ovata* (Cav.) A. DC. (Macías-Rodríguez *et al.* 2018) ([Figura 5-2](#)). En cañadas con afloramientos rocosos y de veneros es frecuente la presencia de amates (*Ficus crocata* (Miq.) Miq., *Ficus cotinifolia* Kunth, *Ficus insipida* Willd. subsp. *insipida* y *Ficus pertusa* L.f.).

La incidencia de la ganadería extensiva favorece su apertura y entrada de especies secundarias como *Ricinus communis* L., *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, *Bothriochloa barbinodis* (Lag.) Herter y *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs. Asimismo, la vegetación ha sido afectada en tiempos recientes por desmontes para obtención terreno agrícola, dedicados preferentemente al cultivo del maíz y la pitaya.

C. Mesotropical Seco (Mtr Sec).- Su vegetación potencial asociada se corresponde con un bosque de encino con presencia de elementos arbóreos de mayor talla procedentes del BTC, y que conforman un microbosque de 12 m de altura promedio. La presencia de especies del BTC es especialmente notable en áreas alteradas o sobre suelos degradados o pedregosos. Estos bosques de distribuyen de forma discontinua a modo de parches, en ocasiones favorecidos por la exposición del terreno, por las condiciones fisiográficas y microclimáticas de los enclaves donde se ubican. Los principales BIF son: *Acacia angustissima* (Mill.) Britton & Rose, *Coursetia glandulosa* A. Gray, *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., *Ipomoea mururoides* Roem. & Schult., *Leucaena esculenta* (DC.) Benth., *Mimosa benthamii* J.F. Macbr., *Quercus resinosa* Liebm. y *Vachellia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Seigler & Ebinger. Cabe señalar que en este piso existen algunos individuos de *Quercus laeta* Liebm. y *Q. magnoliifolia* Née.

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

D. Mesotropical Subhúmedo (Mtr Shu).- Su vegetación potencial se vincula con mesobosques mixtos de encinos y coníferas a los que frecuentemente se incorporan otras frondosas. Se trata de un mesobosque (micro-) dominado por especies semicaducifolias del género *Quercus* que ocupa una franja discontinua en las laderas por debajo de los bosques de pino (y encino) en la Sierra de Tapalpa y algunos otros enclaves puntuales de Cerro García y de la Sierra del Tigre. Las especies de su etapa madura están como BIF: *Arbutus xalapensis* Kunth, *Arctostaphylos pungens* Kunth, *Crataegus mexicana* Moci. & Sessé ex DC., *Q. gentryi* C.H. Mull., *Q. laeta* Liebm., *Q. magnoliifolia* Née, *Pinus devoniana* Lindl. y *P. oocarpa* Schiede ([Figura 6-3](#)). Asimismo, hay presencia de especies acompañantes vinculadas al BTC con el que contacta en su límite inferior como: *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl., *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., *Ipomoea mururoides* Roem. & Schult. y *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth.

Este tipo de bosque ha sufrido una histórica deforestación por lo que la mayoría de sus representaciones son discontinuas y alteradas, lo que ha favorecido la presencia de comunidades arbustivas de carácter secundario dominadas por *Ageratum corymbosum* Zucc. ex Pers., *Barkleyanthus salicifolius*, *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq., *Lagascea decipiens* Hemsl. y *Verbesina phaerocephala* A. Gray, y herbáceas como *Cenchrus echinatus* L, *Chloris gayana* Kunth, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd., *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Melampodium divaricatum* (Rich.) DC., *Melinis repens* (Willd.) Zizka, *Parthenium hysterophorus* L, *Paspalum notatum* Flüggé y *Tithonia tubaeformis* (Jacq.) Cass.

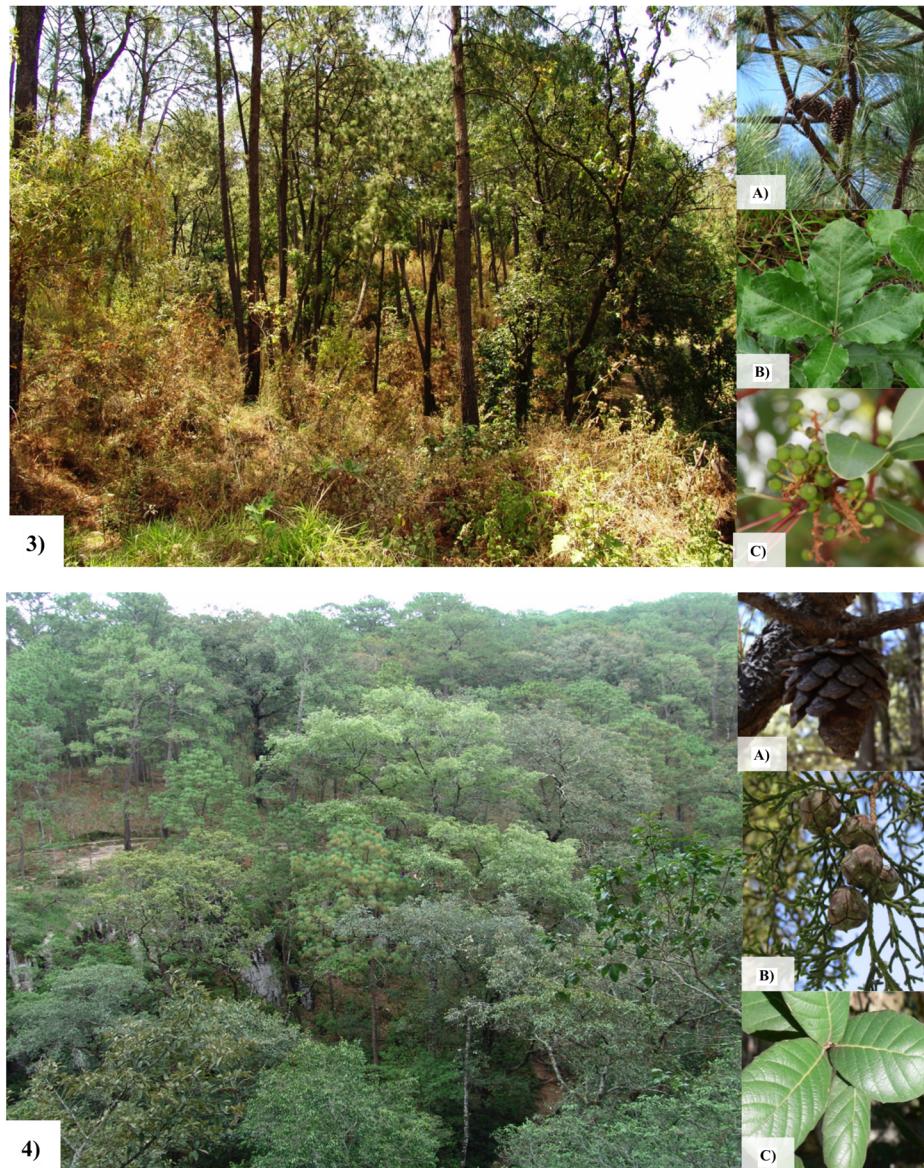


Figura 6. 3) Tropical Pluvial Mesotropical Subhumedo, corresponde a la vegetación potencial natural (VPN) de bosque encino-pino con la presencia de: A) *Pinus devoniana*, B) *Quercus resinosa* y C) *Arbutus xalapensis*. 4) Tropical Pluvial Húmedo, corresponde a la VPN de Bosque de Pino y la presencia de: A) *Pinus douglasiana*, B) *Callitropsis lusitanica* y C) *Quercus subspatulata*.

En ocasiones las diferentes especies de pinos pueden hacerse dominantes frente a los *Quercus*, probablemente debido a que históricamente se ha favorecido su proliferación en detrimento de las especies de encino. Se trata de un mesobosque dominado por distintas especies de *Pinus* (*P. devoniana*, *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. oocarpa*) al que le suelen acompañar encinos como *Quercus candicans* Née, *Q. crassipes*, *Q. crassifolia* Bonpl. y *Q. magnoliifolia* Née y otros elementos característicos como *Arbutus tessellata* y *A. xalapensis* Kunth.

Al igual que en casos anteriores, los efectos derivados de la entresaca de madera, de fuegos y del pastoreo, han modificado su aspecto y composición original, dando paso a la entrada de plantas secundarias de carácter helófita frecuentes en las áreas degradadas *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers., *Bidens reptans* (L.) G. Don, *Stevia serrata* Cav., *Tagetes filifolia* Lag. y *Verbesina fastigiata* B.L. Rob. & Greenm.

E. Mesotropical Húmedo. (Mtr Hum).- La vegetación potencial está constituida por un macrobosque mixto donde se entremezclan elementos de hoja ancha, perennifolios o subcaducifolios y aciculifolios. Está constituido principalmente por las especies BIF: *Alnus acuminata* Kunth, *A. jorullensis* Kunth y *Callitropsis lusitanica* (Mill.) D.P. Little. Además de las anteriormente mencionadas, se localizan especies de pinos y encinos como: *Pinus douglasiana* Martínez, *P. leiophylla*, *P. pseudostrobus* Brong., *Q. laurina* Bonpl. y *Q. subespathulata* Trel., adquiriendo la formación una fisonomía más típica de un bosque, con una altura de 20 a 30 m ([Figura 6-4](#)). Puntualmente en las laderas umbrias más altas se presenta de forma relictual un bosque de *Callitropsis lusitanica* y algunos pinos como *Pinus douglasiana* y *P. pseudostrobus*. Debido a que su área de distribución es menor a 100 ha no parece cartografiado en el mapa de isobioclimes.

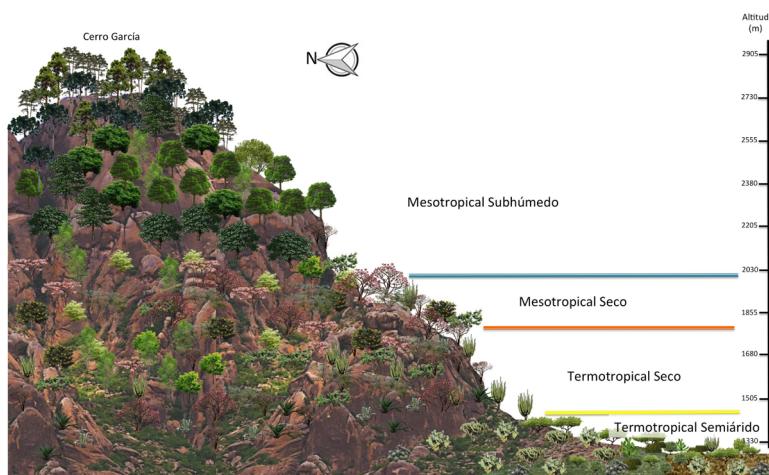


Figura 4. Catena idealizada de la distribución de la vegetación potencial y los pisos bioclimáticos (termotipos) dentro de la Subcuenta Laguna de Sayula, del Cerro Ortega hasta Teocuitatlán de Corona, Jalisco, México. Piso Termotropical Semiárido corresponde a la Vegetación Potencial Natural (VPN) de bosques espinosos o “mezquiteras” con *Prosopis laevigata*, *Mammillaria scrippsiana*, *Celtis pallida* y *Myrtillocactus geometrizans*. Piso Termotropical Seco corresponde a la VPN de bosques tropicales caducifolios con *Stenocereus queretaroensis*, *Lysiloma divaricata*, *Ipomoea intrapilosa* y *Bursera sagaroides*. Mesotropical Seco corresponde a la VPN de bosques tropicales caducifolios con *Coursetia glandulosa*, *Eysenhardtia polystachia*, *Leucaena esculenta* y *Quercus resinosa*. Piso Mesotropical Subhúmedo corresponde a la VPN de bosques encino-pino con *Pinus devoniana*, *Quercus resinosa* y *Arbutus xalapensis*.

La destrucción de estos bosques conlleva al desarrollo de matorrales secundarios de sustitución, en los que son frecuentes *Crataegus mexicana* Moci. & Sessé ex DC., *Monnieria xalapensis* Kunth, *Rhus trilobata* Nutt, *Rubus adenotrichos* Schltdl., *Triumfetta semitriloba* Jacq., *Verbesina spaherocephala*, *Waltheria indica* L. y *Xylosma flexuosum* (Kunth) Hemsl.

Integración vegetación-bioclima. Las relaciones de reciprocidad entre el clima y los tipos de vegetación potencial natural identificadas en la diagnosis se expresan gráficamente en la cliserie altitudinal establecida entre el vaso de la cuenca y las partes más elevadas de las sierras del área de estudio. De forma particular se presenta una catena idealizada de la de vegetación potencial del transecto entre el vaso y el Cerro García, donde se ilustra la correspondencia de los tipos bioclimáticos (bioclima, termotipos y ombrotipos) y sus respectivos pisos de vegetación ([Figura 4](#)). Asimismo, y como referencias de los recambios de especies y comunidades identificados a lo largo del gradiente altitudinal y climático, se muestran en la [Tabla 3](#) las correspondencias estructurales, fitocenóticas y florísticas reconocidas para cada unidad bioclimática (isobioclima).

Con el fin de ilustrar las diferentes situaciones comentadas anteriormente se muestran imágenes representativas de los diferentes tipos de vegetación potencial y sus correspondientes BIF ([Figuras 5](#) y [6](#)).

Tabla 3. Estructuras, tipología y bioindicadores florísticos de la vegetación potencial natural característica de los isobioclimas representativos del territorio. (Acrónimos empleados: Tr Xe: Tropical Xérico; Tr Ps: Tropical Pluvial).

Isobioclima	Estructura	Vegetación Potencial	Bioindicadores
Tr Xe Termotropical Semiárido	Microbosque espinoso semi-caducifolio	Bosque Espinoso	<i>Celtis pallida, Lycium carolinianum, Mammillaria scrippsiana, Myrtillocactus geometrizans, Prosopis laevigata, Opuntia fuliginosa, O. pubescens, Pereskiopsis diguetii, Pithecellobium dulce.</i>
Tr Xe Termotropical Seco	Microbosque caducifolio	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Amphipterygium adstringens, Bursera bipinnata, B. fagaroides, Celtis caudata, Cnidosculus spinosus, Ceiba aesculifolia, Ipomoea intrapilosa, Lysiloma divaricata, Stenocereus queretaroensis, Thevetia ovata.</i>
Tr Xe Mesotropical Seco	Microbosque caducifolio	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia angustissima, Coursetia glandulosa, Eysenhardtia polystachia, Ipomoea mururoides, Leucaena esculenta, Mimosa benthamii, Quercus resinosa, Vaquelia pinnatula.</i>
Tr Ps Mesotropical Subhúmedo	Mesobosque aciculifolio y subcaducifolio	Bosque de Encino-Pino	<i>Arbutus xalapensis, Arctostaphylos pungens, Crataegus mexicana, Q. gentryi, Q. laeta, Q. magnoliifolia, Pinus devoniana, P. oocarpa.</i>
Tr Ps Mesotropical Húmedo	Macrobosque escamíaculifolio	Bosque de Pino (-Cedro)	<i>Callitropsis lusitanica, Pinus douglasiana, P. leophylla, P. pseudostrobus, Quercus eduardii, Q. laurina, Q. subespatulata.</i>

Discusión

Las relaciones de reciprocidad evidenciadas en la diagnosis permiten establecer el escenario geobotánico del área, donde los gradientes altitudinales y ritmos climáticos condicionan y moldean los diferentes tipos de vegetación de la subcuenca de Sayula. La heterogeneidad ecológica del territorio permitió establecer la secuencia de tipos de vegetación que se sustituyen altitudinalmente como respuesta a las condiciones climáticas cambiantes, dando lugar a

los denominados pisos o cinturas de vegetación. Este remplazo adaptativo a sucesivos tipos bioclimáticos se delimita en función de los termotipos y ombrótipos.

La ubicación y área de distribución de la Subcuenca Sayula determina su función como un refugio florístico con doble afinidad, holártica y tropical, lo que ha favorecido una alta diversidad florística y fitocenótica en la que se han registrado 687 especies, 415 géneros y 113 familias (Macías-Rodríguez *et al.* 2018). La complejidad fisiográfica y climática ha contribuido en gran medida a la diversidad y originalidad de su biota, por lo que ha sido considerada desde el punto de vista biogeográfico como una unidad independiente, la subprovincia Chapala (Valdivia-Ornelas & Castillo-Aja 2001). Ejemplo de lo anterior, es la presencia de *Cleomella jaliscensis* E. Villegas & R. Delgad. (Villegas-Flores & Ramírez-Delgadillo 1998), especie endémica de esta subprovincia.

Pese a que las 14 estaciones meteorológicas no cubrían el territorio de forma homogénea y representativa, pudo completarse la diagnosis bioclimática de las áreas no representadas a partir de los datos climáticos obtenidos de Fernández-Eguiarte *et al.* (2021); ello permitió realizar extrapolaciones de datos en aquellas zonas donde no se contaba con información puntual. Con dichas referencias se identificaron y relacionaron las cinturas de vegetación reconocidas en campo y con ello completar las interrelaciones entre la diagnosis bioclimática y los correspondientes tipos de vegetación potencial climatófila.

Desde una perspectiva bioclimática global, la zona de estudio al igual que en el resto de México (excepto la zona Noroeste) pertenece al Macrobioclima Tropical (Peinado *et al.* 2010, 2011, Macías-Rodríguez *et al.* 2014, Hernández *et al.* 2018, Ochoa-Ramos 2020). Esta zona macroclimática se caracteriza por presentar una estación de lluvias coincidente con el período más cálido del año, además de contar con otro período de sequía de duración variable, coincidente con la temporada de temperaturas relativamente más bajas (Walter 1985).

En la zona se presenta un gradiente de precipitación de norte a sur (García 2004, Fernández-Eguiarte *et al.* 2021), siendo la porción sur más húmeda que la norte, la cual se confirma con los datos arrojados por las estaciones meteorológicas de Zacoalco de Torres y Teocuitatlán de Corona. Estas últimas dos, al ser analizadas, denotaron la presencia de un isobioclima Tropical Xérico Termotropical Semiárido. En tanto que, las estaciones que están ubicadas en la parte media de la zona de estudio, Amacueca y Atoyac, presentan un isobioclima Tropical Xérico Termotropical Seco. Finalmente, el análisis bioclimático de las estaciones más meridionales, El Nogal y San Gregorio, arrojaron la presencia de los isobioclimes Tropical Pluvial Mesotropical Subhúmedo y el Tropical Pluvial Mesotropical Húmedo, respectivamente.

Las variaciones en la precipitación y la temperatura a lo largo del área de estudio están reguladas por factores latitudinales, longitudinales, regionales y locales, estos últimos a su vez condicionados por la orografía. El hecho de que buena parte del territorio esté libre de heladas, hace que la cantidad y la distribución de la precipitación sean los factores responsables de la distribución de la vegetación; a su vez las temperaturas actúan modulando la disponibilidad hídrica aportada por la precipitación, siendo esta menor cuanto más elevada sea la temperatura, lo cual viene explicitado por el índice ombrótérmico (I_o). A ello hay que añadir las asimetrías en las precipitaciones provocadas por las sierras de Tapalpa y del Tigre, con lluvias orográficas en las laderas de barlovento y sombras de lluvia en las de sotavento, amplificada ésta en el vaso de la laguna y alrededores, donde se presentan las precipitaciones más bajas.

El análisis bioclimático junto con la identificación de las principales formaciones vegetales permitió establecer y clarificar el modelo catenal de pisos bioclimáticos asociados a sus correspondientes pisos de vegetación. La estructura, el tamaño, la composición florística y la distribución de las diferentes comunidades vegetales potenciales reconocidas a lo largo de las Sierras (bosques de coníferas, bosques de encinos, bosques mixtos, bosques tropicales caducifolios y bosques espinosos) se ajustan de forma recurrente y predictiva al modelo de los tipos bioclimáticos de territorios tropicales análogos con marcados contrastes climáticos como Los Andes (Navarro & Maldonado 2002, Costa *et al.* 2007, Rivas-Martínez *et al.* 2011a), el Altiplano Mexicano (Giménez de Azcárate & González-Costilla 2011, Giménez de Azcárate *et al.* 2013), y la vertiente del Pacífico Mexicano (Macías-Rodríguez *et al.* 2014).

El presente trabajo, complementa los realizados en otras zonas del país (Peinado *et al.* 1994, 1997, 2010, 2011, Giménez de Azcárate & Escamilla 1999, Rivas-Martínez 2004, Macías-Rodríguez 2009, Giménez de Azcárate *et al.*

2013, Macías-Rodríguez *et al.* 2014, Gopar-Merino *et al.* 2015), al incidir en la estructura, composición y delimitación catenal de los pisos de vegetación identificados.

Para obtener una mejor correlación entre los bioclimas y la vegetación, se requiere llevar a cabo nuevos estudios a escalas regionales y locales que permitan una equiparación más precisa y ajustada de los isobioclimas, así como seguir afinando en las relaciones clima-vegetación de cara al establecimiento y ajuste de un modelo predictivo de referencia frente a los procesos de cambio global.

El grado de alteración y transformación antrópica del área, han constituido un inconveniente a la hora de establecer los ajustes entre la vegetación y el clima; sin embargo, la presencia e interpretación de los remanentes de vegetación forestal natural han sido claves para la diagnosis de dichos vínculos. Las diagnosis y modelos aquí presentados servirán de referencia para futuros trabajos de carácter geobotánico que afronten aspectos aplicados a la restauración y reforestación de hábitats y su posible respuesta ante los nuevos escenarios de cambio climático, principalmente. A medida que se disponga de un conocimiento florístico más riguroso y una diagnosis geobotánica más detallada, se podrán afinar de forma más precisa las relaciones entre los aspectos dinámicos, catenales, ecológicos y biogeográficos de las comunidades vegetales y los tipos bioclimáticos que las delimitan.

Del mismo modo que la caracterización vegetacional efectuada da una perspectiva sobre cómo cambia la estructura, fisionomía y composición florística de la vegetación potencial natural del área, la interpretación de la diagnosis bioclimática permitió establecer los límites asociados a la distribución escalonada de los pisos bioclimáticos identificados. Las categorías climáticas, si bien están basadas en índices que denotan períodos de estrés hídrico y de temperatura, principalmente, no consideran a la flora o la vegetación para definir sus fronteras climáticas (del Río 2005, Rivas-Martínez *et al.* 2011a, Gopar-Merino & Velázquez 2016). A diferencia de la propuesta más utilizada en México (Köppen modificada por García 2004), la clara relación que se encontró en la distribución de la vegetación - pisos bioclimáticos, fue establecida de manera independiente, sin que una estuviera subordinada a la otra para definir alguna de las dos.

De igual manera, la disposición actual de fuentes de información de fácil acceso (datos meteorológicos y climáticos) y la disposición de tecnologías que facilitan su manejo y análisis (SIG), han permitido mejorar la resolución espacial y temporal de los procesos y modelos geobotánicos reconocidos en la superficie terrestre.

Los bioindicadores florísticos reconocidos en la diagnosis constituyen elementos que por su fidelidad a las condiciones bioclimáticas que determinan, fueron de gran utilidad e interés para complementar la caracterización biótica de cada uno de los diferentes pisos bioclimáticos. Cada uno de estos presenta una serie de especies diferenciales y exclusivas, que contienen parte de la información ambiental que refleja las particulares condiciones climáticas del piso al que se vinculan. En otras palabras, se encuentran altamente relacionadas con una serie de condiciones ambientales particulares del lugar donde se presentan.

En esta diagnosis se tomó en cuenta referencias altitudinales como latitudinales. No obstante, los insumos cartográficos y el tamaño de la cuenca hicieron que la cartografía expresada denotara una escala espacial pequeña (1: 500,000). Debido a ello el área mínima cartografiable impide recoger ciertas situaciones de distribución puntual como el isobioclima Mesotropical Húmedo. No obstante, se identificó su presencia tanto en el proceso de elaboración cartográfica en gabinete, como durante el trabajo de verificación en campo donde se identificó el piso de vegetación asociado y sus correspondientes bioindicadores ([Tabla 3](#)). Adicionalmente este trabajo refleja la secuencia y disposición de los pisos de vegetación en el contexto fisiográfico del territorio, así como los límites de la distribución de los bioclimas y pisos bioclimáticos. Esta cartografía, junto con la catena realizada y el diagnóstico bioclimático, además de aportar una dimensión espacial a los resultados de este trabajo, constituyen una herramienta útil para futuras investigaciones de carácter ecológico.

A diferencia de otros análisis bioclimáticos, la cartografía bioclimática y su relación con la flora y vegetación (componentes biológicos) y cubiertas de vegetación (formación proveniente de elementos de percepción remota) son de reciente aparición en México. Investigaciones efectuadas en la Sierra Madre Occidental por Giménez de Azcárate *et al.* (2013) y Macías-Rodríguez *et al.* (2017) aportaron diferentes insumos de cartografía bioclimática obtenidos a partir del análisis geoespacial de información procedente de estaciones y de bases de datos climáticas. El desarrollo

metodológico de esta cartografía incipiente es abordado de forma más profunda en el trabajo de Gopar-Merino *et al.* (2015), quienes realizaron un análisis metodológico que detalla cómo realizar cartografía bioclimática. Dicho estudio refleja las bondades y beneficios que puede traer consigo una caracterización bioclimática del territorio robusta y replicable, pese a no considerar de forma directa la relación con la vegetación. Más adelante, Gopar-Merino & Velázquez (2016), toman la cartografía bioclimática como base para la descripción de cubiertas de vegetación actual, proveniente de elementos de percepción remota, y su posible distribución potencial para el estado de Michoacán, México; este trabajo marca el inicio de lo que se puede considerar el primer estudio regional de la relación clima - cobertura vegetal.

Recientemente, Pérez-Valladares *et al.* (2019), Castro-López & Velázquez (2019) y Castro-López *et al.* (2021) abordan la relación bioclima - vegetación a mayor detalle. El primero lo hace mediante un exhaustivo estudio de la vegetación presente en La Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (estados de Puebla y Oaxaca); los otros dos, efectuados al norte del estado de Michoacán y sur del estado de Guanajuato, México, abordan el estudio de la vegetación en tiempos históricos a partir de información palinológica, para así determinar los tipos de vegetación potencial de la época. De igual manera, Velázquez *et al.* (2021) utilizan el mapeo de la vegetación como base para la política ambiental pública de México.

El caso del territorio aquí analizado se suma al de otras regiones cuentan con una cartografía bioclimática como la península de Baja California (Peinado *et al.* 1994, 1997, 2010, 2011), Michoacán y parte de los estados de Chihuahua, Sonora, Durango, Sinaloa, Zacatecas, Nayarit, Jalisco, Aguascalientes, Estado de México, Guanajuato, Puebla y Oaxaca (Giménez de Azcárate & Escamilla 1999, Giménez de Azcárate *et al.* 2013, Rivas-Martínez 2004, Macías-Rodríguez 2009, Macías-Rodríguez *et al.* 2014, Ochoa-Ramos 2020).

En síntesis, estos trabajos inciden en la importancia del análisis de la información climática (bioclimática) mediante software de sistemas de información geográfica para efectuar una regionalización bioclimática con la que identificar territorios cuya vegetación responda de manera ajustada a los intervalos definidos para los parámetros bioclimáticos recogidos en cada unidad tipológica.

El análisis de los componentes biofísicos de los distintos territorios mediante la propuesta emanada del proyecto “*Global Bioclimatics*” (Rivas-Martínez *et al.* 2011a) está contribuyendo a conocer y acotar los patrones de distribución de la vegetación potencial de una forma precisa, ajustada y con un alto grado de certidumbre, a la vez que aporta criterio analítico en el complejo bioclimático.

La presente contribución incorpora nuevas piezas complementarias al escenario tipológico regional de la clasificación de la vegetación, según el modelo de pisos bioclimáticos, vinculando territorios biogeográficos con comportamientos vegetacionales análogos; el enfoque biofísico complementario del modelo seguido junto con la estructura jerárquica e integradora de sus unidades aporta claridad y criterio al contexto climático de la clasificación de la vegetación de México. Ello toma todavía más sentido al considerar los escenarios del clima a futuro, en donde las variaciones y tendencias que se están detectando tendrán reflejo en la estructura distribución y composición de la vegetación, con pautas e interpretaciones análogas a las planteadas en el modelo bioclimático.

Literatura citada

- Alcaraz F. 2013. Funciones de bioclimatología con el programa R (bh.R, climogram.R, diagram.R, diagrambh.R, indices.R, pmbar.R, psbar.R rivas.R, tmbar.R. *España, Murcia: Universidad de Murcia*. <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/bioclima.zip> (accesseg August17, 2020).
- Amigo J, Ramírez R. 1998. A bioclimatic classification of Chile: Woodland communities in the temperate zone. *Plant Ecology* **136**: 6-26. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009714201917>
- Arámbula NA, Preciado R. 1989. *Uso potencial de la vegetación halófila de la región de Zacoalco-Sayula, en el estado de Jalisco*. BSc Thesis. Universidad de Guadalajara.
- Arreola-Nava HJ, Villegas-Flores E. 1995. Cactáceas de la Laguna de Sayula, Jalisco. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **41**: 18-23.

- Ávila-Palafox R. 1994. *Transformaciones mayores en el occidente de México*. Guadalajara, Jal. México: Universidad de Guadalajara. ISBN: 968-895-6074
- Box EO. 1981. *Macroclimate and plant forms: An introduction to predictive modelling in Phytogeography*. Netherlands: Springer. ISBN: 978-90-6193-941-2
- Braun-Blanquet J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madrid: Blume. ISBN: 84-7214-174-8.
- Breckle SW. 2002. *Walter's vegetation of the Earth*. Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 978-3-540-43315-6.
- Castro-López V, Domínguez-Vázquez G, Islebe GA, Priego-Santander ÁG, Velázquez A. 2021. Modern pollen-vegetation relationships across a landscape mosaic in central México. *Review of Palaeobotany and Palynology* **289**, 104362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104362>
- Castro-López V, Velázquez A. 2019. Reconstruction of native vegetation based upon integrated landscape approaches. *Biodiversity and Conservation* **28**: 315-327. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1655-2>
- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. 2018. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=jal>. (accessed November 15, 2018).
- Contreras-Rodríguez SH, Macías-Rodríguez MÁ, Barba-Calvillo G, González-Castro SI, Ávila- Ramírez BO. 2013. *Guía de Pastos de la Cuenca de Sayula*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara. ISBN: 978-607-450-861-1
- Costa M, Cegarra A, Lugo L, Lozada J, Guevara J, Soriano P. 2007. The bioclimatic belts of the Venezuelan Andes in the state of Merida. *Phytocoenología* **37**: 711-738. DOI: <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2007/0037-0711>
- Cress JJ, Sayre R, Comer P, Warner H. 2009. Terrestrial Ecosystems-Isobioclimates of the conterminous United States: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3084, scale 1:5,000,000, 1 sheet.
- del Río S. 2005. El cambio climático y su influencia en la vegetación de Castilla y León (España). *Itinera Geobotánica* **16**: 5-534.
- del Río S, Álvarez-Esteban R, Cano E, Pinto-Gomes C, Penas Á. 2018. Potential impacts of climate change on habitat suitability of *Fagus sylvatica* L. forests in Spain. *Plant Biosystems* **152**: 1205-1213. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1435572>
- del Río S, Penas A. 2006. Potential areas of evergreen forests in Castile and Leon (Spain) according to future climate change. *Phytocoenología* **36**: 45-66. DOI: <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2006/0036-0045>
- Delgado R. 1984. *Plantas halófitas y su relación con características edáficas en la cuenca endorreica Zacoalco-Sayula (Jalisco)*. BSc Thesis. Universidad de Guadalajara.
- Estrada-Faudón E. 1983. Estudio geográfico de dos islas lacustres de la jurisdicción de Atoyac, estado de Jalisco. *Boletín del Instituto de Geografía y Estadística de la Universidad de Guadalajara* **6**: 2-19.
- Estrada-Faudón E. 1993. Vegetación de la Laguna de Sayula, problemática y alternativas. In: Munguía F. coord. *Análisis Geográfico y Social de la Zona Zacoalco-Sayula*. Sociedad de Geografía y Estadística de Jalisco. pp. 62-69.
- Farjon A, Pérez de la Rosa JA, Styles BT. 1997. *Guía de campo de los pinos de México y América Central*. Oxford: The Royal Botanical Gardens, Kew. ISBN: 978-1-900347-37-2
- Fernández-Eguiarte A, Elizarrarás L, Minero V, Castelán, C, Bautista A. 2021. *Atlas Climático Digital de México*. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas> (accessed August 23, 2021).
- Flores-Díaz JA. 1984. *Presencia de Evaporitas en el Lago de Sayula, Municipio de Teocuitatlán, Jalisco*. BSc. Thesis, Instituto Politécnico Nacional.
- Galán de Mera A, González A, Cáceres JG. 2003. La vegetación de la alta montaña andina del sur del Perú. *Acta Botanica Malacitana* **28**: 121-147. DOI: <https://doi.org/10.24310/abm.v28i0.7271>
- García E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 970-32-1010-4
- Géhu JM. 2006. *Dictionnaire de Sociologie et synécologie végétales*. Stuttgart: J. Cramer. ISBN: 978-3-443-50030-6
- Gentry AH. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **75**: 1- 34. DOI: <https://doi.org/10.2307/2399464>

- Giménez de Azcárate J, Escamilla M. 1999. Las comunidades edafoxerófilas (enebrales y zacatonales) en las montañas del centro de México. *Phytocoenologia* **29**: 449-468.
- Giménez de Azcárate J, González-Costilla O. 2011. Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México). *Acta Botanica Mexicana* **94**: 91-123. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm94.2011.272>
- Giménez de Azcárate J, Macías MÁ, Gopar F. 2013. Bioclimatic belts of Sierra Madre Occidental (Mexico): A preliminary approach. *International Journal of Geobotanical Research* **3**: 19-35. DOI: <https://doi.org/10.5616/ijgr130002>
- González-Villarreal LM. 1987. *Contribución al conocimiento del género Quercus (Fagaceae) en el estado de Jalisco*. Guadalajara, Jal. México: Universidad de Guadalajara. ISBN: 968- 895-027-0.
- González-Villarreal LM, Pérez de la Rosa JA. 1987. Guía de excursiones botánicas al Nevado de Colima. In: Zamudio-Ruiz S, Guevara-Fefer F, Pérez de la Rosa JA, coords, *Guías de Excusiones Botánicas en México VIII*. Sociedad Botánica de México y Universidad de Guadalajara. pp. 101-139.
- Gopar-Merino LF, Velázquez A. 2016. Componentes del paisaje como predictores de cubiertas de vegetación: estudio de caso del estado de Michoacán, México. *Investigaciones Geográficas* **90**: 75-88. DOI: <https://doi.org/10.14350/ig.46688>
- Gopar-Merino LF, Velázquez A, Giménez de Azcárate J. 2015. Bioclimatic mapping as a new method to assess effects of climatic change. *Ecosphere* **6**: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES14-00138.1>
- Hernández-Cerda ME, Ordóñez-Díaz MJ, Giménez de Azcárate J. 2018. Análisis comparativo de dos sistemas de clasificación bioclimática aplicados en México. *Investigaciones Geográficas* **95**: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.14350/ig.57451>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]. 2007. Conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000, Serie IV. Conjunto Nacional. Aguascalientes, México: INEGI.
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology*. Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 3-540-43516-6.
- Loidi J, del Arco M, Pérez de Paz PL, Asensi A, Díez-Garretas B, Costa M, Díaz-González T, Fernández-González F, Izco J, Penas A, Rivas-Martínez S, Sánchez-Mata D. 2010. Understanding properly the “potential natural vegetation” concept. *Journal of Biogeography* **37**: 2209-2215. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02302.x>
- Luebert F, Pliscott P. 2006. *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria. ISBN: 956-11-1832-7
- Macías-Rodríguez MÁ. 2001. Plantas suculentas de la Laguna de Sayula, Jalisco, México. *Boletín Nakari* **12**: 17-26.
- Macías-Rodríguez MÁ. 2004. *Vegetación y Flora de la Laguna de Sayula. Guía Ilustrada*. Guadalajara, Jal. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad de Guadalajara. ISBN: 970-27-0490-1.
- Macías-Rodríguez MÁ. 2009. *Estudio de las Relaciones entre Zonobiomas, Bioclimas y Vegetación en la Costa del Pacífico Norteamericano*. PhD Thesis. Universidad de Alcalá.
- Macías-Rodríguez MÁ. 2016. Inventario de plantas suculentas de la subcuenca Sayula, Jalisco, México. *Boletín Nakari* **27**: 11-30.
- Macías-Rodríguez MÁ, Frías-Ureña HG, Contreras-Rodríguez SH, Frías-Castro A. 2018. Vascular plants and vegetation of the Sayula sub-basin, Jalisco, Mexico. *Botanical Sciences* **96**: 103-137. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1030>
- Macías-Rodríguez MÁ, Giménez de Azcárate-Cornide J, Gopar-Merino LF. 2017. Sistematización bioclimática de la Sierra Madre Occidental (México) y su relación con los pisos de vegetación. *Polibotánica* **43**: 125-163. DOI: <https://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.43.6>
- Macías-Rodríguez MÁ, Peinado-Lorca M, Giménez de Azcárate J, Aguirre-Martínez JL, Delgadillo-Rodríguez J. 2014. Clasificación bioclimática de la vertiente del Pacífico mexicano y su relación con la vegetación potencial. *Acta Botanica Mexicana* **109**: 133-165. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm109.2014.194>

- Matías L. 2012. Cambios en los límites de distribución de especies arbóreas como consecuencia de las variaciones climáticas. *Ecosistemas* **21**: 91-96. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.12>
- McVaugh R. 1983. Gramineae. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 14. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-436. ISBN: 0-472-04814-7.
- McVaugh R. 1984. Compositae. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 12. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-1157. ISBN: 0-472-04812-0.
- McVaugh R. 1985. Orchidaceae. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 16. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-363. ISBN: 0-472-04816-3.
- McVaugh R. 1987. Leguminosae. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 5. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-786. ISBN: 0-472-04968-2.
- McVaugh R. 1989. Bromeliaceae to Dioscoreaceae. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 15. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-398. ISBN: 0-9620733-0-X.
- McVaugh R. 1992. Gymnosperms and Pteridophytes. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 17. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-467. ISBN: 0-9620733-2-6.
- McVaugh R. 1993. Limnocharitaceae to Typhaceae. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 13. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-480. ISBN: 0-9620733-3-4.
- McVaugh R. 2001. Ochnaceae to Loasaceae. In: Anderson W, ed. Flora Novo-Galiciano 3. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1-751. ISBN: 0-9620733-5-0
- Müller MJ. 1982. *Selected climatic data for a global set of standard stations for vegetation science*. Netherlands: Springer. ISBN: 978-94-009-8040-2.
- Navarro G, Maldonado M. 2002. *Geografía ecológica de Bolivia. Vegetación y ambientes acuáticos*. Cochabamba, Bolivia: Centro de Ecología Simón I. Patiño. ISBN: 99905-0-2250
- Ochoa-Ramos NY. 2020. *Clasificación bioclimática del occidente de México y su relación con la vegetación potencial*. MSc. Thesis, Universidad de Guadalajara.
- Peinado M, Alcaraz F, Aguirre JL, Delgadillo J. 1997. Phytosociological, bioclimatic and biogeographical classification of woody climax communities of western North America. *Journal of Vegetation Science* **8**: 505-528. DOI: <https://doi.org/10.2307/3237202>
- Peinado M, Bartolomé C, Delgadillo J, Aguado I. 1994. Pisos de Vegetación de la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. *Acta Botanica Mexicana* **29**: 1-30. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm29.1994.720>
- Peinado M, Macías MÁ, Aguirre J, Delgadillo Rodríguez J. 2010. Bioclimate-Vegetation interrelations in Northwestern Mexico. *The Southwestern Naturalist* **55**: 311-22. DOI: <https://doi.org/10.1894/DW-121.1>
- Peinado M, Macías MÁ, Ocaña-Peinado F, Aguirre JL, Delgadillo J. 2011. Bioclimates and vegetation along the Pacific Basin of Northwestern Mexico. *Plant Ecology* **212**: 263-281. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9820-z>
- Pérez-Valladares CX, Velázquez A, Moreno-Calles AI, Mas JF, Torres-García I, Casas A, Rangel-Landa S, Blancas J, Vallejo M, Téllez-Valdés O. 2019. An expert knowledge approach for mapping vegetation cover based upon free access cartographic data: the Tehuacan-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *Biodiversity and Conservation* **28**: 1361-1388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01723-w>
- Perry JP Jr. 1991. *The pines of México and Central America*. Portland: Timber Press. ISBN: 978-1604691108.
- Ricotta C, Carranza ML, Avena G, Blasi C. 2002. Are potential vegetation maps a meaningful alternative to neutral landscape models? *Applied Vegetation Science* **5**: 271-275.
- 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). *Itineraria Geobotánica* **10**: 5-148.
- Rivas-Martínez S. 2004. Sinopsis biogeográfica, bioclimática y vegetacional de América del Norte. *Fitosociología* **41**: 19-52.
- Rivas-Martínez S, Sánchez-Mata D, Costa M. 1999. North America boreal and western temperate forest vegetation (Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, II). *Itineraria Geobotánica* **12**: 5-316.

- Rivas-Martínez S, Rivas-Sáenz S, Penas Merino A. 2011a. Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany* 1: 1-634. DOI: <https://doi.org/10.5616/gg110001>
- Rivas-Martínez S, Navarro Sánchez G, Penas Merino A, Costa Talens, M. 2011b. Biogeographic map of South America. A preliminary survey. *International Journal of Geobotanical Research* 1: 21-40. DOI: <https://doi.org/10.5616/ijgr110002>
- Rivas-Martínez S, Lousa M, Costa JC, Duarte MC. 2017. Geobotanical survey of Cabo Verde Islands (West Africa). *International Journal of Geobotanical Research* 7: 1-103. DOI: <https://doi.org/10.5616/ijgr170001>
- Roig E, Abraham E, Méndez E. 2007. Vegetation belts, cold and soil freezing in the Central Andes of Mendoza, Argentina. *Phytocoenología* 37: 99-113. DOI: <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2007/0037-0099>
- Ruiz A, Flores H, Regalado J, Ramírez G. 2012. *Estadísticas climáticas normales del Estado de Jalisco*. Tepatitlán de Morelos, Jal. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). ISBN: 978-607-425-875-2.
- Ruiz-Labourdette D, Nogués-Bravo D, Sáinz-Ollero H, Smith M, Pineda F. 2012. Forest composition in Mediterranean mountains is projected to shift along the entire elevational gradient under climate change. *Journal of Biogeography* 39: 162-176. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02592.x>
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. México, DF: Limusa. ISBN: 968-18-0002-8.
- Sayre R, Yanosky A, Muchoney D. 2007. Mapping Global Ecosystems; The GEOSS Global Earth Observation System of Systems] Approach. In: Group on Earth Observations Secretariat, ed. London, UK: Group on Earth Observations. <https://www.earthobservations.org/index.php>
- SPP [Secretaría de Programación y Presupuesto]. 1976. Carta Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000. México: SPP
- SPP. 1982. Cartas Edafológica. Guadalajara. Escala 1:1.000,000. México: SPP
- Troll C. 1965. Seasonal climates of the earth. In: Rodenwaldt E, Jusatz HJ. eds. *World maps of climatology*. Berlin: Springer Verlag. pp. 19-28. ISBN: 978-3-662-13419-1.
- Valdivia-Ornelas L, Castillo-Aja MR. 2001. Las regiones geomorfológicas del estado de Jalisco. *Revista Geocallíptera* 2: 17-108.
- Velázquez A, Medina-García C, Gopar-Merino F, Duran E, Pérez-Vega A, Mas J, Giménez de Azcárate J, Blanco-García A, López-Barrera F, Castro-López V, Aguirre R. 2021. Merged phytosociological and geographical approach for multiple scale vegetation mapping as a baseline for public environmental policy in Mexico. *Applied Vegetation Science* 24: 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1111/avsc.12595>
- Villegas-Flores E, Macías-Rodríguez MÁ, Ramírez-Delgadillo R. 1995. Vegetación de la Laguna de Sayula, Jalisco, México. *Boletín del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara* 3: 91-118.
- Villegas-Flores E, Ramírez-Delgadillo R. 1998. Una nueva especie de *Cleomella* (Capparidaceae) del estado de Jalisco. *Boletín del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara* 6: 179-186.
- Walter H. 1985. *Vegetation of the earth and ecological systems of the geobiosphere*. Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 038-790-4042.
- Westhoff V, van der Maarel E. 1973. The Braun-Blanquet approach. In: Whittaker RH, ed. *Ordination and classification of communities*. Netherlands: Springer. pp. 617-726. ISBN: 978-94-010-2703-8.
- Woodward FI. 1987. *Climate and plant distribution*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN: 978-0521282147

Editor de Sección: Alejandro Zavala Hurtado

Contribución de los autores: LFG diseño conceptual, compilación de la base de datos, análisis de los datos, elaboración cartográfica y, redacción y revisión del manuscrito. MÁMR diseño conceptual, compilación de la base de datos, análisis de datos, trabajo de campo, revisión taxonómica, redacción y revisión del manuscrito, toma de fotografías, elaboración de los bioclimogramas y de la catena de vegetación. JGA, diseño conceptual, trabajo de campo y redacción y revisión del manuscrito.