

Componentes del paisaje como predictores de cubiertas de vegetación: estudio de caso del estado de Michoacán, México

Recibido: 6 de febrero de 2015. Aceptado en versión final: 11 de septiembre de 2015.
Versión en línea (pre-print): 12 de octubre de 2015.

Luis Fernando Gopar-Merino*
Alejandro Velázquez*

Resumen. El estado de Michoacán alberga una yuxtaposición de riquezas culturales y naturales destacable que se entrelazan entre condiciones geológicas, geográficas y ecológicas. Este patrimonio natural y cultural está hoy día amenazado, por ende, los tomadores de decisiones buscan información de línea base para restaurar y reorientar las acciones de desarrollo. El objetivo de este artículo, por tanto, fue predecir los patrones de cubierta vegetal oriunda a través de un método replicable. La predicción se basó en atributos climáticos, geológicos, geomorfológicos y ecológicos, jerárquicamente yuxtapuestos a través de un sistema de información geográfica (SIG). Las reglas de decisión se basaron en lógica booleana dando énfasis a la zonificación

bioclimatológica. La predicción de la cubierta vegetal oriunda mostró que los bosques estacionales tropicales cubren la mayor superficie, mientras que la vegetación acuática es la menos representada. Para concluir, los atributos que delimitan el paisaje, jerárquicamente organizados, probaron ser un método robusto y replicable para reconstruir los patrones de la cubierta vegetal oriunda, actualmente en áreas de cobertura antropogénica. Este resultado, expresado en un mapa, servirá como línea base para predecir los escenarios futuros a la luz de los cambios climáticos previstos.

Palabras clave: isobioclimas, predicción de cubiertas de vegetación oriunda, Michoacán, México.

Landscape components as predictors of vegetation coverage: the study cases of the State of Michoacán, Mexico

Abstract. The State of Michoacán, as well as a handful of other hot spot regions worldwide, harbors an outstanding overlap between natural and cultural richness as a result of intermingled climatic, geological, geographical and ecological conditions. Presently both, natural and cultural heritages are jeopardized at most hot spots worldwide and policy makers seek urgently for robust base line information to restore

and eventually reorient development. Spatially explicit base line data bases have been recognized as critical in order to facilitate design and implementation of public policies. In this sense, dynamics of native land cover/vegetation patterns (natural units) have helped in enormously to provide base line information and predict outcomes. A rather critical issue relies in developing replicable and robust methods to predict

* Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Colonia Ex-Hacienda de San José de La Huerta, 58190, Morelia, Michoacán, México. E-mail: alex@ciga.unam.mx

Cómo citar:

Gopar-Merino, L. F. y A. Velázquez (2016), "Componentes del paisaje como predictores de cubiertas de vegetación: estudio de caso del estado de Michoacán, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 90, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 75-88, dx.doi.org/10.14350/ig.46688.

natural units, as a direct response of climatic, geological and geomorphological data (physical units). Often natural units are used as spatial criteria to delineate physical units, yet these latter are regarded as the responsible variables for delimiting natural units. This tautological thought has been largely neglected in most scientific literature in Mexico when constructing cartographic outputs.

In this article, we argue that native land cover/vegetation patterns are the response variable of physical attributes at a meso-scale level. Hence, the objective of this investigation was to predict native land cover/vegetation patterns based upon climatic, geological, geomorphological and ecological attributes hierarchically intermingled. The contribution was made in order to developing a robust and replicable method accordingly to current available information worldwide. The research took place in Michoacan state as it is regarded a typical hotspot comprising geo-ecological complex features. To illustrate this further, Michoacan harbors over 800 tree species which overpasses the number of species of all Western Europe. Prediction modeling was with the aid of a geographic information system. Decisions rules were based upon Boolean logic giving special attention to emerging bioclimatic zoning techniques. The later consists in providing gradients of temperature and precipitation along seasonal threshold values so that sound matching between physical and natural units is found. In addition, an innovative aspect regards the cartographic expression of these gradients of temperature and precipitation here referred as termotype and ombrotypes respectively.

Outcomes demonstrated that prediction of native land cover/vegetation patterns was feasible within a geo-ecologically complex region as Michoacan. In addition, dissecting

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Larcher (2003), el clima es el principal factor regulador de la estructura, función y distribución de la cubierta de vegetación. Walter (1994), entre otros, afirma que el clima a lo largo del tiempo opera por encima de factores físicos y bióticos. De manera general, el clima está integrado por elementos meteorológicos (como la temperatura, la humedad, la precipitación, el viento, la radiación solar, la luz, la presión atmosférica, entre otros) que se encuentran parcial o estrechamente relacionados, que pueden llegar a interactuar de manera constante y que en su conjunto son reconocidos como parte del llamado sistema climático (Kabat *et al.*, 2004; McGuffie y Henderson-Sellers, 2005). Estos elementos del clima manifiestan patrones de variación espacial y temporal, que en cierto grado pueden explicarse por las características geográficas o atmosféricas (Fernández, 2004; Del Río, 2005;

attributes of the landscape hierarchically organized proved to be a robust and replicable method to reconstruct native vegetation patterns at places currently covered by anthropogenic activities. Tropical seasonally dry forests covers most surface still covers most surface (28.52% of the State), whereas, temperate forests cover the second most abundant types (27.71% of the State). Aquatic vegetation (0.22% of the State), and Xerophytic scrubland (0.08% of the State), are currently the least represented types. The prediction modeling indicated that tropical seasonally dry forests has been depleted in 18.68% of the State, while temperate forests in 14.98% of the State.

Ecotones delimiting tropical seasonally dry and temperate forests are under drastic threat because two mayor productive systems are gaining global importance. Avocado and Mango produced at these regions are expanding their ranges as a result of global demands. In consequence our current findings may serve to reorient policy makers in order to find tradeoffs and thresholds to conciliate encroachment of productive systems and maintenance of environmental services provided by native land cover/vegetation patterns.

To conclude, native land cover/vegetation patterns were predicted as a response variable of physical attributes so that tautological thinking was avoided. The method developed may be applied to other hot spots provided that physical information is available. A practical outcome regard the obtained land cover/vegetation map, which may serve as baseline to predict future scenarios in the light of current man-made and climatic changes foreseen.

Key words: Isobioclimates, prediction of native vegetation coverage, Michoacán, Mexico.

McGuffie y Henderson-Sellers, 2005; Peinado *et al.*, 2008).

Las diversas propuestas climáticas en el mundo han sido desarrolladas intentado agrupar y sistematizar los elementos del clima en clases, con el fin de ordenar y explicar de manera sencilla y coherente los eventos que ocurren dentro de la atmósfera, hidrósfera, biósfera y geósfera (Claussen, 2004; McGuffie y Henderson-Sellers, 2005). No obstante, y a pesar de que el clima es definido como

el conjunto de magnitudes promedio analizados por medio de valores estadísticos que caracterizan la estructura y comportamiento de la atmósfera, hidrósfera, biósfera y geósfera a lo largo de un periodo de tiempo (Aguirre de Cárcer y Carral, 2009)

es común que las diferentes propuestas climáticas tomen a la vegetación como base para desarrollar sus sistemas clasificatorios (Kabat *et al.*, 2004;

Del Río, 2005; Peinado *et al.*, 2008; Rivas *et al.*, 2011). La biología de las plantas, su distribución mundial y la constancia de su permanencia sobre la superficie terrestre, han hecho que sean un buen parámetro para poder identificar, indirectamente, climas (Claussen, 2004; Kabat *et al.*, 2004; Del Río, 2005; McGuffie y Henderson-Sellers, 2005; Peinado *et al.*, 2008; Rivas *et al.*, 2011). Ejemplos de esto último se ve reflejado en las propuestas climáticas propuestas por Thornthwaite (1948) usada principalmente en Norteamérica, en la de Holdridge (1967) con mayor presencia en Centroamérica y Sudamérica, en la de Köppen modificada por García (1973) en México y la de Rivas *et al.* (2011) aplicada primordialmente en España. Las tres primeras tomaron a la vegetación como parte integral de sus trabajos, en tanto la última se basó únicamente en parámetros atmosféricos. Así, las investigaciones en las que se hace hincapié a la estrecha relación clima-vegetación no se habla propiamente de estudios de climatología, sino más bien de “bioclimatología” (Fernández, 2004; Del Río, 2005; Peinado *et al.*, 2008; Rivas *et al.*, 2011).

El enfoque propuesto por Rivas *et al.* (2011), (llamado en adelante como Bioclimatología), se centra en la comprensión y representación de la relación clima-vegetación visto, principalmente, a escala regional. Esta propuesta está organizada en tres niveles: cinco macrobioclimas a nivel mundial (polar, boreal, templado, mediterráneo y tropicales), 28 bioclimas y un extenso número de combinaciones de unidades bioclimáticas (termotipos [parámetro de temperatura] y ombrotipos [parámetro de precipitación]). La combinación de un macrobioclima, un bioclima y de una unidad bioclimática (un termotipo y un ombrotipo) representa una unidad bioclimática llamada isobioclima. La Bioclimatología se basa primordialmente en datos climáticos de precipitación y temperatura de los meses más extremos del año (secos, húmedos, cálidos o fríos). Los datos son procesados y transformados en índices para proveer de un sistema de clasificación, representando patrones a lo largo de gradientes (*Ibid.*).

El estudio de la vegetación comprendido como el agregado de especies de plantas de un lugar y tiempo específico, única para cada área o región

del planeta, producto de una historia evolutiva (Odum, 2006), ha tenido diversos objetivos, entre los que se encuentran:

- Descripción y definición de los diferentes tipos de vegetación y la flora que la integra (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 2004 y 2006; Kent y Coker, 2012).
- Distribución de la vegetación, su cobertura (amplitud o porcentaje que abarca la vegetación sobre el terreno) y su relación con su entorno (Walter, 1994; Steffen *et al.*, 1996; van der Maarel, 2005; Kent y Coker, 2012).
- Caracterización de la vegetación como hábitat de animales, aves e insectos (Magle y Crooks, 2008; Giffard *et al.*, 2012; Kent y Coker, 2012; Sulaiman *et al.*, 2013).
- Mapeo e identificación indirecta de tipos de cubiertas de vegetación a través de la observación remota de la superficie terrestre (cubiertas de vegetación), (Driese *et al.*, 1997; Chuvieco, 2008; Hearn *et al.*, 2011; Kent y Coker, 2012; Pedrotti, 2013).

La información resultante de estos estudios se ha visto reflejada en investigaciones de conservación y manejo de recursos naturales, en informes de impacto ambiental y para orientar el monitoreo de actividades económicas del sector primario y secundario. Asimismo, la identificación de tipos de cubiertas de vegetación son componentes esenciales en los análisis de tipos y procesos de cambio en determinados lapsos del tiempo, además de ser clave en la caracterización y elucidación de patrones climático, entre otros más (Box, 1996; Braun-Blanquet, 1979; Velázquez *et al.*, 2002, 2005 y 2010; Adams, 2010; Kent y Coker, 2012). El avance de la tecnología en las últimas décadas ha permitido digitalizar los tipos de cubiertas de vegetación y sus modificaciones causadas por diversos factores. La Percepción Remota (PR) y los SIG han sido las herramientas que han permitido obtener datos que detallan la posición (coordenadas geográficas) y los atributos (información alfanumérica) de los eventos que suceden en la superficie terrestre (Chuvieco, 2008; Foody, 2008; Pedrotti, 2013).

En México han existido diversos esfuerzos para conocer, clasificar, identificar y, eventualmente cartografiar, la vegetación o los tipos de cubiertas de vegetación que están presentes a lo largo del territorio nacional. Ejemplos de investigaciones en vegetación son los formulados por Miranda y Hernández-X (1963) y Rzedowski (2006); en tanto que los estudios elaborados por el Instituto de Geografía de la UNAM (Palacio *et al.*, 2000) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) expresan información de tipos de cubiertas de vegetación (Velázquez *et al.*, 2002; Victoria *et al.*, 2011). El INEGI, a lo largo de su historia, ha realizado cinco series de conjuntos de datos vectoriales de uso de suelo y cubiertas de vegetación a escala 1:250 000. La información geográfica que cubre todo el país fue recopilada a través de herramientas de PR y analizadas, primordialmente, en SIG. La leyenda de sus mapas fue realizada tomando como base clasificaciones de vegetación de diversos autores y utilizadas acorde con los objetivos que se persiguieron en cada serie (Velázquez *et al.*, 2002; Victoria *et al.*, 2011).

En las últimas décadas, alrededor del mundo se han incrementado las publicaciones de corte climático, sus alteraciones y la influencia sobre el medio ambiente. No obstante, y de acuerdo con lo mencionado con anterioridad, muchos de estos

trabajos hacen difícil evaluar las afectaciones sobre la vegetación dado que usan a la misma como parte de sus modelos. Así, el objetivo de este trabajo es predecir patrones de cubiertas de vegetación con base en parámetros bioclimáticos y complementado con información de elementos geomorfológicos y geológicos. En ejercicio científico se limitó al estado de Michoacán por ser considerado un ejemplo de alta complejidad geocológica y que en su conjunto cubre una superficie ligeramente mayor que Costa Rica. Los resultados se discuten a la luz de su relevancia para estudios de línea base para estudios de cambio climático y manejo de recursos naturales.

ZONA EN ESTUDIO

El estado de Michoacán de Ocampo se encuentra ubicado al oeste de la República Mexicana, cuenta con una extensión superficial de 58 599 km² y representa el 3% de la superficie total del país (INEGI, 2011; Figura 1).

La intersección de las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical, además de la compleja topografía marcada primordialmente por regiones montañosas como la Sierra Madre del Sur y el Eje Volcánico Transversal, dan como resultado que Mi-

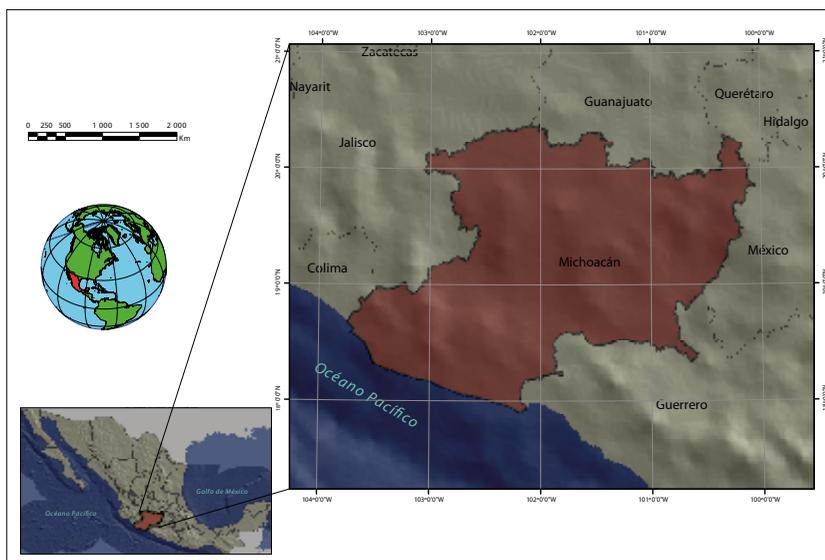


Figura 1. Localización del estado de Michoacán, México.

choacán sea uno de los primeros cinco estados con mayor diversidad biológica de México (Velázquez *et al.*, 2005; Villaseñor, 2005).

En la orografía del estado predominan las provincias fisiográficas Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur. Estas últimas cuentan con una gran ramificación que hace a la zona una de las más montañosas de México (Antaramián y Correa, 2003; CNA, 2009). La primera abarca 26 956 km², es decir, el 46% del territorio michoacano, en tanto que la segunda tiene una extensión territorial de 31 643 km², comprendiendo el 54% del estado en cuestión.

El estado cuenta con 14 de las 18 unidades de tipos de suelos reportadas para México (Cabrera *et al.*, 2005). El leptosol, regosol, luvisol, acrisol, andosol, vertisol y feozem son los suelos más importantes en el estado, ya que abarcan el 94%, aproximadamente, del territorio michoacano (*Ibid.*).

El estado de Michoacán forma parte de dos de las cuencas hidrológicas más importantes para el país, la de los ríos Lerma y Balsas. En la provincia fisiográfica Eje Volcánico Transversal, que corresponde a la región centro-norte de dicha entidad federativa, se localizan los ríos Tlalpujahuá, Cachiví y Duero, afluentes principales de la primera cuenca mencionada anteriormente. En tanto que para la segunda cuenca, ubicada en la región Sierra Madre del Sur, los principales tributarios michoacanos que proveen a dicho caudal son los ríos Cutzama-la, Carácuaro y Tepalcatepec, siendo este último el mayor recaudador del recurso fluvial (Israde, 2005; CNA, 2009; INAFED, 2010; Mendoza *et al.*, 2010). Las vertientes que se desprenden hacia el Océano Pacífico se cuentan en más de 50, siendo las de mayor jerarquía la de los ríos Coahuayana, Aquila, Ostula, Motín del Oro, Coire, Cachán y Nexpa (INAFED, 2010).

La gran variación altitudinal presente en el estado, desde el nivel del mar (0 m) hasta los 3 857 m de altitud del Pico de Tancítaro, promueve la diversidad de climas (Villaseñor, 2005; INAFED, 2010). De acuerdo con la clasificación realizada por Köppen y modificada por García (1973) en la región están presentes los climas Aw (tropical lluvioso, con lluvias predominantes en verano) en el suroeste, BS (seco estepario) en la depresión del río

Tepalcatepec, Cw (templado con lluvias en verano) en el norte y Cf (templado con lluvias todo el año) en las partes más altas del Eje Volcánico transversal (Antaramián, 2005).

La vegetación del estado está integrada por una gran variedad de plantas, enlistándose 17 tipos diferentes de comunidades de vegetación de 28 que se encuentran descritas para México (Carranza, 2005; Rzedowski, 2004 y 2006). Entre ellas se encuentran los bosques de coníferas, los bosques de encino, los bosques mesófilos de montaña, la selva baja caducifolia, el matorral subtropical, el bosque espinoso, la selva baja subcaducifolia y la vegetación acuática y subacuática (Carranza, 2005; Rzedowski, 2004 y 2006). Michoacán presenta aproximadamente el 50% de familias y géneros de árboles de México (Velázquez *et al.*, 2009) y el 23% de especies arbóreas reportados para toda la República Mexicana (845 especies), (Villaseñor e Ibarra, 1998; Cué-Bär *et al.*, 2006).

MATERIAL Y MÉTODO

Elementos discretizadores del paisaje

Los elementos del paisaje seleccionados para llevar a cabo esta investigación fueron los siguientes:

Tipos de cubiertas de vegetación. El conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie V (CDVUSV-sV) elaborado por INEGI en 2013, fue la fuente de información más actualizada (hasta el momento) para la obtención de los tipos de cubiertas de vegetación presentes en el estado de Michoacán. Este mapa digital fue realizado utilizando técnicas de fotointerpretación de imágenes de satélite Landsat TM5 del 2011 y complementado con información obtenida de trabajo de campo. El esquema de clasificación fue de acuerdo con el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV para la escala 1:250 000 (INEGI, 2013). Esto último se desprende de la propuesta de los tipos de cubierta terrestre del Land Cover Classification System de FAO (2000) y del sistema de clasificación de vegetación y usos agrícolas (de uso del suelo) creado por INEGI (Victoria *et al.*, 2011). El sistema clasificatorio para el área en estudio estuvo conformado por categorías

de comunidades de cubiertas de vegetación oriunda, las cuales fueron re-categorizadas a nivel de cubiertas de formación de vegetación, entendidas estas como “un grupo de comunidades vegetales de un área continental o de otra área geográfica que presentan características fisonómicas y ambientales similares” (SEMARNAP-UNAM, 2000). Al agrupar a nivel de cubiertas de formación de vegetación la certidumbre del estudio aumentó, dado que a nivel de categorías de cubiertas de comunidades de vegetación, propias del CDVUSV-sV, presenta errores. Las mayores inconsistencias que se detectaron fueron en la interpretación y delimitación de tipos de cubiertas de vegetación. Los polígonos a nivel de cubierta de formación de vegetación fueron ratificados con 268 puntos de verificaciones de campo, recabados a lo largo de todo el estado de Michoacán durante los últimos cinco años de trabajo.

Las categorías relacionadas con actividades preponderantemente antrópicas fueron categorizadas como “sin dato”. La categoría “cuerpos de agua” fue respetada. El re-arreglo de categorías fue realizado en la base de datos del conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación Serie V de INEGI (2013) en el programa ArcGIS 9.3.

Isobioclimas. Los insumos para definir los nichos climáticos derivan de la investigación realizada por Gopar *et al.* (2015). Dicho insumo está a escala 1:250 000 y está integrado por un macrobioclima, tres bioclimas, cuatro termotipos y cinco ombrotipos. La combinación de los tres niveles de organización resultan en un nicho climático llamado isobioclima y que de acuerdo con Gopar *et al.* (2015), ocurren 14 en el contexto de Michoacán (http://www.ciga.unam.mx/images/investigacion/Isobioclim_1902_2011_INGLES_4_8_WEB_ECOSPHERE.pdf).

Geomorfología. El mapa geomorfológico del estado de Michoacán fue tomado del trabajo realizado por Bocco *et al.* (2001b) a una escala espacial de 1:250 000. Este mapa contiene la distribución geográfica de ocho geofformas predominantes en el relieve y fueron identificados bajo criterios morfogenéticos (amplitud del relieve y gradiente de pendientes, derivados de modelos digitales del terreno) y morfolitológicos (*Ibid.*). Las clases incluidas son: Altiplanicies, Colinas, Lomeríos

altos, Lomeríos bajos, Montañas, Piedemontes y Planicies.

Geología. El conjunto de datos vectoriales geológicos realizado por INEGI (1984) refleja 23 unidades de tipos de rocas que afloran en la región y estructuras geológicas originadas por eventos tectónicos (p. ej. volcanes, fallas y fracturas). El conjunto de rocas incluyen: aluviales, andesitas, areniscas, basalto, brecha sedimentaria, brecha volcánica, caliza, complejo metamórfico, conglomerados, dacitas, dioritas, gabros, granitos, granodioritas, lacustres, latitas, limolitas, litoral, lutita, meta, residual, riodacita, riolita, toba, tonalita, taquita y volcanso clástico.

Expresión cartográfica: tipos de cubiertas de vegetación actual y potencial

La expresión cartográfica de los tipos de cubiertas de vegetación actual reflejará el re-arreglo de las fronteras de los polígonos del conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación de la Serie V de INEGI (2013) debido a la recategorización de las clases, las cuales fueron de nivel de cubierta de comunidad a cubierta de formación de vegetación (véase apartado Tipos de cubierta de vegetación). El diseño del mapa de los tipos de cubiertas de vegetación potencial partió del re-nombramiento de los espacios etiquetados como “sin dato” hacia alguna con categoría de cubierta de formación de vegetación. Lo anterior se logró, en primer lugar, realizando la intersección geométrica de los conjuntos de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación Serie V (*Ibid.*) con las unidades isobioclimáticas (Gopar *et al.*, 2015). Posteriormente se realizó la intersección con las unidades geomorfológicas (Bocco *et al.*, 2001b) y finalmente con las unidades geológicas (INEGI, 1984). El orden de las intersecciones fueron realizadas conforme al orden de importancia que tienen los componentes del paisaje en el establecimiento de los tipos de cubiertas de vegetación en la zona en estudio. Así, lo anteriormente mencionado se ve reflejado en la siguiente fórmula de álgebra booleana o álgebra lógica (Barco, 2005):

Si $\{P_X TCV_A : \text{un Isobioclima}_a \wedge \text{una Geomorf.}_a \wedge \text{una Geol.}_a\} \cap P_Y TCV_P = P_X TCV_A, \hat{U} \{PSD_A :$

un Isobioclima_a ^ una Geomorf._a ^ una Geol._a }
 PSD_B: Isobioclima_b ^ una Geomorf._b ^ una Geol._b }

donde:

P_XTCV_A = Polígono “X” de tipo de cubierta de vegetación actual.

Geomorf. = Unidad geomorfológica.

Geol. = Unidad geológica.

P_YTCV_P = Polígono “Y” de tipo de cubierta de vegetación potencial.

PSD = Polígono “sin dato” de tipo de cubierta de vegetación.

Todos los procedimientos anteriores fueron realizados mediante el uso del software ArcGIS 9.3. Los mapas de salida de tipos de cubiertas de vegetación actual y potencial fueron realizados a escala 1: 250 000.

RESULTADOS

De acuerdo con lo reportado por INEGI para el 2013, el 59.05% de la superficie del estado de

Michoacán está conformada por algún tipo de cubierta de vegetación oriunda. La re-categorización de los tipos de cubiertas de vegetación, de comunidad a formación, arrojó que la selva baja caducifolia ocupa la mayor extensión territorial con 1 671 157 ha, seguida por la de bosque templado con 1 624 006 ha. La vegetación hidrófila y el matorral xerófilo fueron los tipos de cubierta con menor presencia con 12 970 y 4 644 ha, respectivamente (Tabla 1, Figura 2).

La combinación de los elementos isobioclimáticos, geomorfológicos, geológicos y de tipos de cubiertas de vegetación actual reflejó 448 composiciones únicas. La relación Tropical pluviestacional termotropical subhúmedo (isobioclima), con montañas (geomorfología) y andesitas, calizas, complejos metamórficos (geología) y bosque templado (tipo de cubierta de vegetación) fue la combinación predominante y que cubre el 10.91% del estado de Michoacán.

El 40.95% del territorio michoacano, de acuerdo con INEGI (2013), se etiquetó como “sin dato”. En esta superficie, la combinación con mayor presencia fue la conformada por el isobioclima Tropical pluviestacional mesotropical subhúmedo,

Tabla 1. Tipos de cubiertas de vegetación actuales presentes en el estado de Michoacán, México.

Tipos de cubiertas de comunidades de vegetación a nivel de comunidad de acuerdo con INEGI (2013)	Tipos de cubiertas de vegetación a nivel de formación (Re-categorización)	Porcentaje de cubierta oriunda actual
Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia	28.52
Bosque de cedro Bosque de encino Bosque de encino-pino Bosque de oyamel Bosque de pino Bosque de pino-encino Bosque mesófilo de montaña	Bosque templado	27.71
Selva mediana subcaducifolia	Selva mediana subcaducifolia	2.52
Manglar Pastizal halófilo Tular	Vegetación hidrófila	0.22
Matorral crasicaule Mezquital xerófilo Selva baja espinosa caducifolia	Matorral xerófilo	0.08
Total		59.05

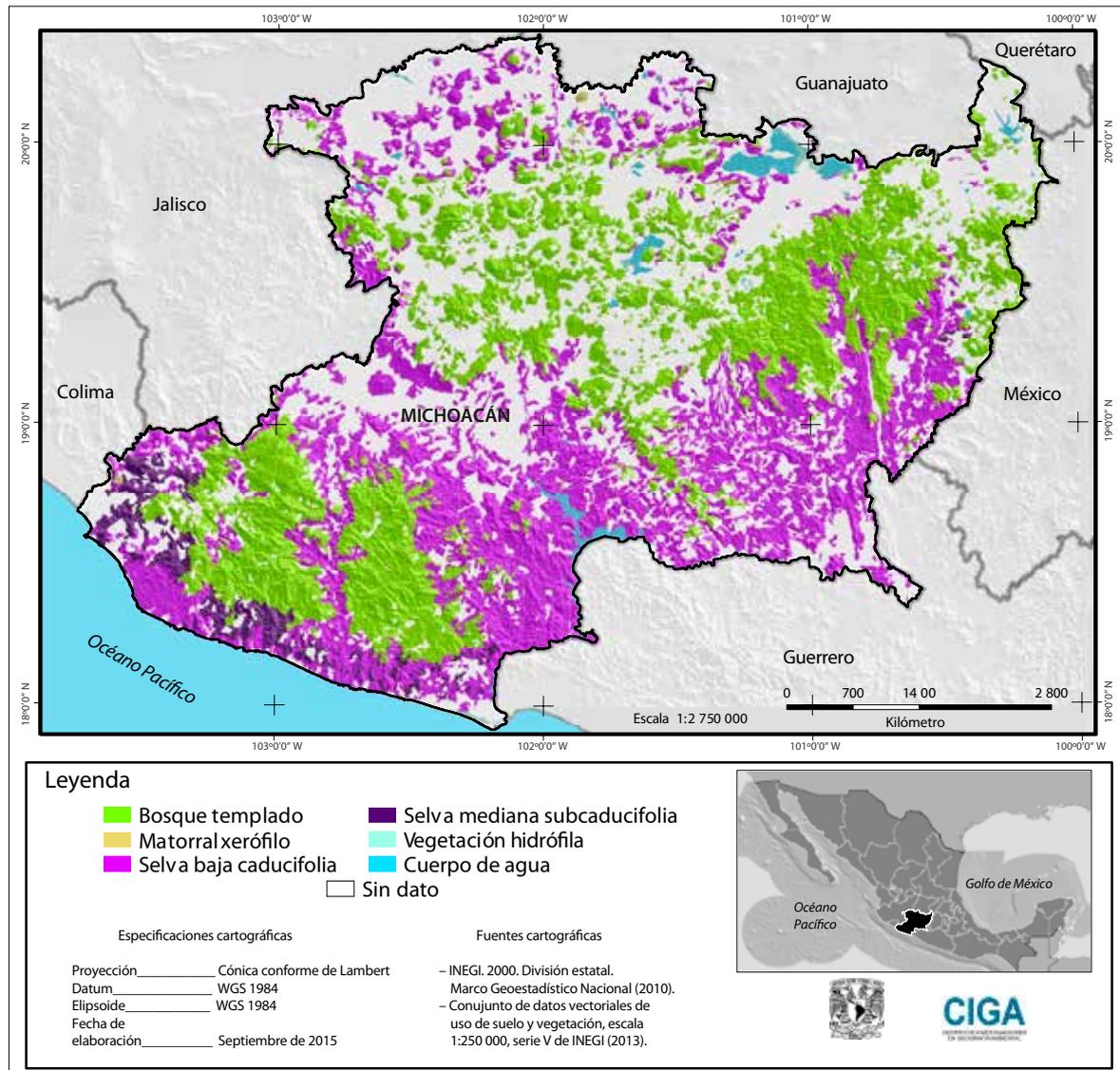


Figura 2. Cubiertas de vegetación actuales presentes en el estado de Michoacán, México. Los espacios en blanco (sin dato) representan áreas en las cuales no hay información de cubiertas de vegetación oriunda.

con elementos geomorfológicos de colinas, lomeríos altos y bajos, piedemontes y planicies, y unidades geológicas aluviales y basaltos, con el 7.3%. Las demás combinaciones presentaron valores bajos. Así, el tipo de cubierta de vegetación potencial preponderante asociado a estos polígonos “sin dato” fue el bosque templado, cubriendo el 37.80% de estas áreas. La vegetación hidrófila fue la cubierta menos representativa con el 6.33% (Figura 3).

Así, la suma de los tipos de cubiertas de vegetación actual y potencial reflejó que a principios del siglo XX el estado de Michoacán presentaba dos tipos de cubiertas de formaciones de vegetación preponderantes en su territorio: la selva baja caducifolia y el bosque templado (abarcando el 47.20 y el 42.69% del territorio michoacano, respectivamente) (Tabla 2, Figura 4).

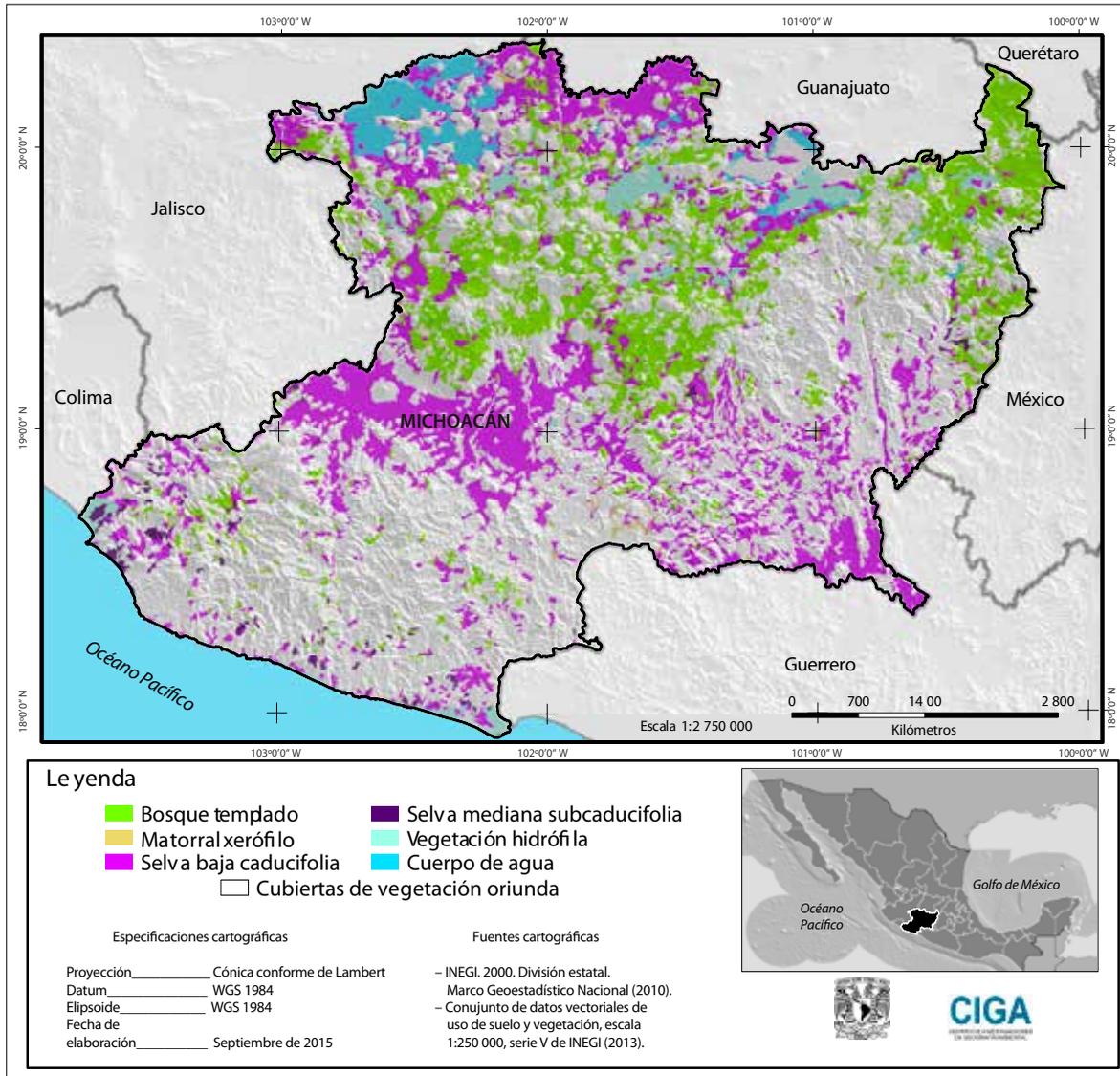


Figura 3. Cubiertas de vegetación predichas para el estado de Michoacán, México. Los espacios en blanco representan áreas en las cuales al día de hoy hay cubiertas de vegetación oriunda (Figura 2).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este estudio permitió predecir, con base en isobioclimas, geomorfología y geología que el estado de Michoacán, hacia principios del siglo XX, estaba cubierto en su mayoría por selvas bajas caducifolias y bosques templados. De acuerdo con Bocco *et al.* (2001a) estas dos últimas categorías de cubiertas de tipos de vegetación se ubican en relieves con un

grado importante de pendiente (colinas, lomeríos y montañas) dentro del estado de Michoacán, y que a su vez, son las de mayor impacto sufrido por actividades antrópicas. Los resultados mostrados por este último autor se ven reflejados en este estudio, que si bien no analizó de manera directa cambios de cubiertas y usos del suelo, las áreas potenciales de tipos de cubiertas de vegetación coinciden con lo expuesto por Bocco y colaboradores (2001a).

Tabla 2. Superficie presente en los tipos de cubiertas de vegetación actual; las superficies adicionales de vegetación potencial son los sitios con cubiertas preponderantemente antrópicas actuales en el estado de Michoacán, México (INEGI, 2013).

Tipo	Actual		Potencial		Total	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Selva baja caducifolia	1 671 156	28.52	1 094 437	18.68	2 765 593	47.2
Bosque templado	1 624 006	27.71	877 751	14.98	2 501 757	42.69
Selva mediana subcaducifolia	147 385	2.52	41 562	0.71	188 947	3.23
Cuerpo de agua	77 786	1.33	142 487	2.43	220 273	3.76
Vegetación hidrófila	12 970	0.22	146 925	2.51	159 895	2.73
Matorral xerófilo	4 644	0.08	18 791	0.32	23 435	0.4
Total	3 537 947	60.38	2 321 953	39.62	5 859 900	100

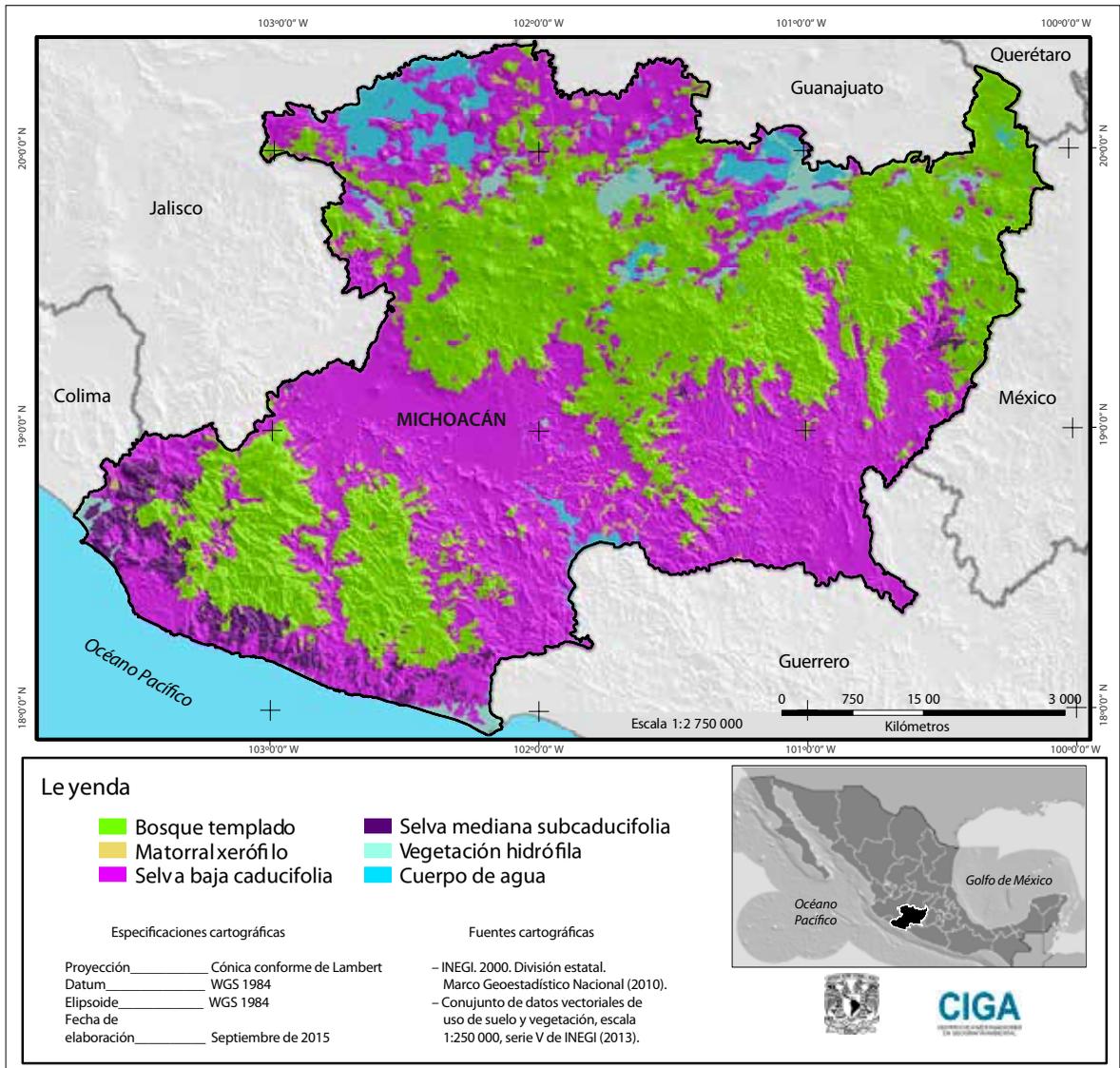


Figura 4. Tipos de cubiertas de vegetación actual y potencial presentes en el estado de Michoacán, México.

Michoacán es considerado un estado que alberga un alto grado de diversidad biológica, no obstante, a niveles más específicos, son pocos los estudios que comprenden la complejidad ecogeográfica de la zona (Blancas *et al.*, 2010). Por lo tanto, los resultados de esta investigación reflejan que la gran riqueza biológica presente en la región es producto de, en gran medida, de su variedad geológica, de su compleja geomorfología, de su privilegiada ubicación geográfica y, consecuencia de los anteriores puntos, de la presencia de una gran diversidad de climas. Es así que, por ejemplo, los bosques templados albergan subformaciones complejas como son los bosques mesófilos y los bosques de encino, ambos con una riqueza excepcional de componentes de filiación templado y tropical. Esto último respalda y es un ejemplo de lo expuesto por lo estudiado por Morrone (2010), en el cual se hace evidente que la zona es un área biogeográfica compleja, donde las zonas de transición de biota Neártica y Neotropical se sobreponen. Adicionalmente, los matorrales xerófilos, integrados por bosques espinosos, zonas dominadas por cactáceas y matorrales arbóreos, y las selvas bajas caducifolias (*sensu* Rzedowski, 2006), son una fuente de germoplasma únicas. La selva mediana subcaducifolia, los manglares, las zonas lacustres y otras de misma proporción a esta riqueza siguen aún sin ser debidamente documentadas. Esta complejidad de gradientes (que van de lo templado a lo tropical y de lo seco a lo húmedo) contiene una riqueza de la topo diversidad que es particularmente valiosa para su predicción.

En síntesis, esta contribución se considera robusta a escala regional (1:250 000) y la predicción de cubiertas de vegetación puede perfeccionarse a escalas más finas si se toman en cuenta atributos como orientación de las laderas y pendientes. Nuestros resultados son respaldados por lo mostrado por Cué-Bär *et al.* (2006), en la que exponen una distribución de la vegetación similar a lo mostrado en esta investigación con los tipos de cubiertas de vegetación. Del mismo modo, los autores previamente referidos hacen notar la importancia de las selvas bajas caducifolias, seguidas de los bosques templados, como las principales categorías que guardan una gran diversidad biológica en la zona. Esto último provocado en gran medida, de acuerdo

con los mismos autores, por la compleja geología presente en el estado, además de su gran variedad de geofomas, su privilegiada ubicación biogeográfica y su amplia variedad de climas existentes en la zona. En contraste, nuestros resultados son opuestos a la cartografía distribuida actualmente por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2001), desprendida de lo reportado por Rzedowski (1990). Las causas de las diferencias son diversas, a saber: *a)* la escala cartográfica del mapa base utilizado en México hasta el momento es macro-regional (1:4 000 000), en tanto que el propuesto en el presente estudio es regional (1:250 000); *b)* La ruta metodológica del mapa realizado por Rzedowski (1990) es inductivo, lo que deja a la experiencia del autor la interpretación de las probables cubiertas en territorios donde ya no existen; *c)* El uso de herramientas e insumos actuales supera el potencial que existió en la propuesta anterior.

Los resultados aquí expuestos resumen patrones climáticos, que afinados con la presencia de elementos geofísicos (geofomas y geología), ayudan a elucidar su relación con las cubiertas de vegetación actual y potencial. No obstante, el clima es el principal factor que define los patrones de distribución de las cubiertas de vegetación a mesoescala y por ende existe una relación estrecha entre patrones climáticos y patrones de vegetación. El análisis bioclimático, expresado en isobioclimas, es robusto por permitir identificar nichos geocológicos donde la relación clima-vegetación es estrecha y por ende funge como reglas de decisión en un marco de predicción bajo la lógica booleana. Otros insumos de clasificación climática como el que prevalece en México (García, 1973), aluden a criterios donde en lugares el clima define patrones de vegetación y lugares donde la vegetación define patrones climáticos aun a la misma escala (Sánchez y Garduño, 2008); en consecuencia, la expresión cartográfica es resultado de un efecto tautológico que para el rigor académico es inaceptable.

A manera de conclusión, este artículo presenta una ruta replicable que permite reproducir este enfoque de predicción a otras regiones. El resultado final representa una línea base a partir de la cual se puede predecir el impacto

de acciones antrópicas sobre el capital natural. Por ejemplo, poder responder a preguntas como ¿cuál será el impacto del cambio climático sobre el capital natural? ¿Cuáles son los patrones de deforestación predecibles? ¿Cómo identificar las áreas de vulnerabilidad en áreas de oportunidad a través de acciones de buen manejo de los recursos naturales?

AGRADECIMIENTOS

El primer autor recibió apoyo del CONACYT como parte de sus estudios de doctorado. La DGAPA-UNAM (proyecto IN202214) aportó apoyo financiero y una beca complementaria para el primer autor para llevar a buen término este estudio. Los comentarios de dos árbitros anónimos y del comité editorial de la revista fueron fundamentales para enriquecer la primera versión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Adams, J. (2010), *Vegetation-Climatic Interactions. How Plants Make the Global Environmental*, Praxis Publishing Ltd., West Sussex, Londres.
- Aguirre de Cárcer, I. y P. Carral (2009), *Apuntes de meteorología y climatología para el medio ambiente*, Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Antaramián Harutunian, E. (2005), "Clima", en Villaseñor G., L. E. (coord.), *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Antaramián Harutunian, A. y G. Correa Pérez (2003), "Fisiografía", en Correa Pérez, G. (coord.), *Atlas geográfico de Michoacán*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/Secretaría de Educación de Michoacán/El Colegio de Michoacán, Michoacán, México.
- Barco G., C. (2005), *Álgebra booleana. Aplicaciones tecnológicas*, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Blancas Calva, E., A. Navarro Sigüenza y J. Morrone (2010), "Patrones biogeográficos de la avifauna de la Sierra Madre del Sur", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, núm. 81, pp. 561-568.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera (2001a), "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-38.
- Bocco, G., M. Mendoza y A. Velázquez (2001b), "Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping—a tool for land use planning in developing countries", *Geomorphology*, no. 3-4, pp. 211-219.
- Box, E. (1996), "Plant functional types and climate at the global scale", *Journal of Vegetation Science*, no. 3, pp. 309-320.
- Braun-Blanquet, J. (1979), *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*, Blume, Madrid, España.
- Cabrera, A., J. C. González y J. M. Ayala (2005), "Los suelos", en Villaseñor, L. E. (coord.), *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Carranza, E. (2005), "Vegetación", en Villaseñor G., L. E. (coord.), *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Chuvieco, E. (2008), *Teledetección ambiental*, Ariel, Barcelona, España.
- Claussen, M. (2004), "Introduction", en Kabat, P., M. Claussen, P. Dirmeyer, J. Gash, L. Bravo, M. Meybeck, R. Pielke, C. Vorosmarty, R. Hutjes and S. Lutkemeier (coords.), *Vegetation, water, humans and the climate*, Springer, Berlín, Alemania.
- CNA (2009), *Programa hídrico visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, México.
- CONABIO (2001), "Vegetación potencial; Catálogo de metadatos geográficos", 7 de enero de 2015, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México [www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/vpr4mgw.xml?_httpcache=yesy_xsl=db/metadata/xsl/fgdc_html.xsly_indent=no].
- Correa Pérez, G. (coord.; 2003), *Atlas geográfico de Michoacán*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/Secretaría de Educación de Michoacán/El Colegio de Michoacán, Michoacán, México.
- Cué-Bär, E., J. L. Villaseñor, L. Arredondo, G. Cornejo y G. Ibarra-Manríquez (2006), "La flora arbórea de Michoacán, México", *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, núm. 78, pp. 47-81.

- Del Río, S. (2005). “El cambio climático y su influencia en la vegetación de Castilla y León (España)”, *Itinera Geobotanica*, núm. 16, pp. 5-534.
- Driese, K., W. Reiners, E. Merrill and K. Gerow (1997), “A digital land cover map of Wyoming, USA: a tool for vegetation analysis”, *Journal of Vegetation Science*, no. 1, pp. 133-146.
- FAO (2000), “Land cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual”, 7 de enero de 2015, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.htm].
- Fernández González, F. (2004), “Bioclimatología”, en Izco, J., E. Barreno, M. Brugués, M. Costa, J. A. Devesa, F. Fernández González, T. Gallardo, X. Llimona, C. Prada, S. Talavera y B. Valdés (coords.), *Botánica*, McGrawHill-Interamericana de España, Madrid, España.
- Foody, G. (2008), “GIS: biodiversity applications”, *Progress in Physical Geography*, núm. 2, pp. 223-235.
- García, E. (1973), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Giffard, B., H. Jactel, E. Corcket and L. Barbaro (2012), “Influence of surrounding vegetation on insect herbivory: A matter of spatial scale and herbivore specialization”, *Basic and Applied Ecology*, no. 5, pp. 458-465.
- Gopar Merino, L. F., A. Velázquez and J. Giménez (2015), “Bioclimatic mapping as a new method to assess effects of climatic change”, *Ecosphere*, no. 1, p. 13 [http://dx.doi.org/10.1890/ES14-00138.1: 26 de enero de 2015].
- Hearn, S., J. Healey, M. McDonald, A. Turner, J. Wong y G. Stewart (2011), “The repeatability of vegetation classification and mapping”, *Journal of Environmental Management*, núm. 4, pp. 1174-1184.
- Holdridge, L. (1967), *Life zone ecology*, Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- INAFED (2010), “Michoacán de Ocampo”, 7 de enero de 2015, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM16michoacan/mediofisico.html].
- INEGI (1984), “Mapa geológico de México a escala 1:250 000”, 7 de enero de 2015, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México [www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/].
- INEGI (2011), *Panorama sociodemográfico de Michoacán de Ocampo*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes. México.
- INEGI (2013), “Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión)”, 7 de enero de 2015, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México [www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/Default.aspx].
- Israde A., I. (2005), “Los cuerpos de agua”, en Villaseñor G., L. E. (coord.), *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Kabat, P., M. Claussen, P. Dirmeyer, J. Gash, L. Bravo, M. Meybeck, R. Pielke, C. Vorosmarty, R. Hutjes and S. Lutkemeier (coords.; 2004), *Vegetation, Water, Humans and the Climate*, Springer, Berlin, Alemania.
- Kent, M. y P. Coker (2012), *Vegetation description and data analysis: a practical approach*, Wiley-Black Well, Oxford, London.
- Larcher, W. (2003), *Physiological plant ecology*, Springer, Berlin, Alemania.
- Magle, S. y K. Crooks (2008), “Interactions between black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) and vegetation in habitat fragmented by urbanization”, *Journal of Arid Environments*, no. 3, pp. 238-246.
- Mendoza, M., A. Toledo, A. Velázquez, H. Plascencia y V. Garduño (2010), “La cuenca del río Tepalcatepec”, *Atlas fisicogeográfico de la cuenca del Tepalcatepec*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, México.
- McGuffie, K. y A. Henderson-Sellers (2005), *A climate modelling primer*, John Wiley y Sons, Ltd. West Sussex, Londres.
- Miranda, F. y E. Hernández-X (1963), “Los tipos de vegetación de México y su clasificación”, *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, núm. 28, pp. 29-176.
- Morrone, J. (2010), “Fundamental biogeographic patterns across the Mexican Transition Zone: an evolutionary approach”, *Ecography*, no. 3, pp. 355-361.
- Odum, E. (2006), *Fundamentos de ecología*, Thomson, México.
- Pedrotti, F. (2013), *Plant and Vegetation Mapping*, Springer Berlin, Baden-Wurtemberg, Alemania.
- Palacio Prieto, J. L., G. Bocco, A. Velázquez, J. Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna González, G. Gómez Rodríguez, J. López García, M. Palma Muñoz, I. Trejo Vázquez, A. Peralta Higuera, J. Prado Molina, A. Rodríguez Aguilar, R. Mayorga Saucedo y F. González (2000), “La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000”, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 43, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 183-203.
- Peinado, M., L. Monje y J. M. Martínez (2008), *El paisaje vegetal de Castilla-La Mancha*, Cuarto Centenario, Castilla-La Mancha, España.

- Rivas Martínez, S., S. Rivas Sáenz y A. Penas (2011), "Worldwide bioclimatic classification system", *Global Geobotany*, no. 1, pp. 1-634.
- Rzedowski, J. (1990), "Vegetación potencial. Catálogo de metadatos geográficos", 7 de junio de 2015 [www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/vpr4mgw.xml?_httplibcache=yesy_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsly_indent=no].
- Rzedowski, J. (2004), "Flora y vegetación silvestres", en Correa Pérez, G. (coord.), *Atlas geográfico de Michoacán*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/Secretaría de Educación de Michoacán/El Colegio de Michoacán, Michoacán, México.
- Rzedowski, J. (2006), "Vegetación de México", 7 de enero de 2015 [www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf].
- Sánchez S., N. y R. Garduño L. (2008), "Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática", *ContactoS*, núm. 68, pp. 5-10.
- SEMARNAP-UNAM (2000), *Inventario Nacional Forestal del año 2000*, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca-Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Steffen, W., W. Cramer, P. Matthias and H. Bugmann (1996), "Global vegetation models: incorporating transient changes to structure and composition", *Journal of Vegetation Science*, no. 3, pp. 321-328.
- Sulaiman, S., N. Mohamad and S. Idilfitri (2013), "Contribution of Vegetation in Urban Parks as Habitat for Selective Bird Community", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, no. 85, pp. 267-281.
- Thornthwaite, C. (1948), "An Approach toward a Rational Classification of Climate", *Geographical Review*, no.1, p. 55.
- van der Maarel, E. (2005), "Vegetation ecology – an overview", en van der Maarel, E. (coord.), *Vegetation Ecology*, Blackwell Science Ltd, Cornwall, London.
- Velázquez, A., E. Cué-Bär, A. Larrazábal, N. Sosa, J. L. Villaseñor, M. Mccall y G. Ibarra Manríquez (2009), "Building participatory landscape-based conservation alternatives: A case study of Michoacán, Mexico", *Applied Geography*, núm. 4, pp. 513-526.
- Velázquez, A., J. Mas, J. Díaz, R. Mayorga, P. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio (2002), "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México", *Gaceta Ecológica*, núm. 62, pp. 21-37.
- Velázquez, A., C. Medina y D. Reygadas (2010), "Síntesis geobotánica de las sierras Ajusco-Chichinautzin", *Investigación Ambiental*, núm. 1, pp. 5-24.
- Velázquez, A., N. Sosa, A. Navarrete y A. Torres (2005), *Bases para la conformación del sistema de áreas de conservación del estado de Michoacán*, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/UNAM, Michoacán, México.
- Victoria Hernández, A., M. Niño Alcocer, J. Rodríguez Ávalos y J. Argumedo Espinoza (2011), "Generación de Información de Uso del Suelo y Vegetación Proyectos y Convenios escala 1:50 000", en INEGI, *XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- Villaseñor, L. E. (2005), *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Villaseñor, J. L. y G. Ibarra Manríquez (1998), "La riqueza arbórea de México", *Boletín del Instituto de Botánica de La Universidad de Guadalajara*, núm. 5, pp. 95-105.
- Walter, H. (1994), *Vegetation of the Earth and ecological systems of the geobiosphere*, Springer, Berlín, Alemania.