



Aspectos biogeográficos y ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae) en Michoacán, México

Advances in the biogeographical and ecological knowledge of the genus *Quercus* (Fagaceae) in Michoacán, Mexico

Dolores Uribe-Salas¹ , María Luisa España-Boquera¹ , Andrés Torres-Miranda^{2,3} 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Michoacán es un estado de alta biodiversidad. Estudios taxonómicos estiman que existen de 30 a 37 especies de encinos en el estado; sin embargo, es incipiente la información sobre sus patrones de distribución. En este estudio, se analizaron los patrones de distribución geográfica y ecológica del género, y de sus dos secciones, compuesto por 33 especies (1734 registros), a nivel municipal; se incluye información topográfica, climática, edáfica y ecológica.

Métodos: Se calcularon índices de riqueza, rareza e irremplazabilidad para obtener los patrones de distribución municipal del género y de ambas secciones. Se realizaron análisis de agrupamiento para identificar patrones de distribución geográfica, ecológica y altitudinal. Se probó si algún gradiente ambiental explica los patrones de distribución.

Resultados clave: En la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) y en la Sierra Madre del Sur (SMS) se localiza la mayor riqueza específica del género *Quercus*, donde predominan climas templados húmedos a subhúmedos; el centro de mayor rareza estatal se encuentra en el este-noreste de la FVTM. En relación con la altitud, las especies de la sección *Quercus* tienen amplios intervalos de distribución en comparación con las de la sección *Lobatae*. La composición de encinos difiere en áreas de baja (600-1900 m s.n.m.) y alta montaña (2000-3100 m s.n.m.) con un recambio importante de especies entre 1900-2000 m s.n.m. Se identifican cinco grupos de especies, con base en su similitud ambiental, que coinciden con regiones fisiográficas.

Conclusiones: La riqueza municipal de encinos está correlacionada de manera positiva con la heterogeneidad topográfica y de aridez, principalmente en la sección *Lobatae*. Considerando que a mayor heterogeneidad ambiental corresponde mayor riqueza de especies, se recomienda aumentar el esfuerzo de muestreo en municipios que tienen una amplia heterogeneidad ambiental. Se sugiere, además, un intenso trabajo de campo en la SMS. Aún hay problemas taxonómicos que deberían ser estudiados detalladamente.

Palabras clave: biogeografía ecológica, distribución altitudinal, patrones de distribución, rareza, riqueza.

Abstract:

Background and Aims: Michoacan is a state with high biodiversity. Taxonomic studies estimate that there are 30 to 37 species of oak in the state; however, there is scarce information about their distribution patterns. In this study, the geographic and ecological distribution patterns of the genus, and its two sections, composed of 33 species (1734 records), were analyzed at municipality level; topographic, climatic, edaphic, and ecological data are included.

Methods: Indices of richness, rarity and irreplaceability were calculated to obtain the distribution patterns at the municipal level of genus and both sections. Cluster analyses were performed to identify patterns of geographic, ecologic and elevational distribution of the species. It was tested whether any environmental gradient explains the distributional patterns.

Key results: The highest specific richness of the *Quercus* genus is located in the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) and Sierra Madre del Sur (SMS), where humid and subhumid temperate environments are prevalent; the highest rareness occurred in the east-northeast of the TMVB. With respect to elevation, section *Quercus* shows larger distribution ranges than section *Lobatae*. Based on elevation, the oaks can be classified into low (600-1900 m a.s.l.) and high mountains (2000-3100 m a.s.l.) with a strong turnover of species between 1900-2000 m a.s.l. Five groups of species are identified, based on their environmental similarity, which coincide with physiographic regions.

Conclusions: The municipal richness of oaks is correlated with topographic and aridity heterogeneity at the generic level, mainly in the *Lobatae* section. Considering that greater environmental heterogeneity corresponds to a greater diversity of species, it is recommended to increase the sampling effort in municipalities that have greater environmental heterogeneity. Intensive fieldwork in the SMS is suggested. There are still unresolved taxonomic problems that should be studied in detail.

Key words: distribution patterns, ecological biogeography, elevational distribution, rareness, richness.

1 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, km 9.5 carretera Morelia-Zinapécuaro, 58880 Tarímbaro, Michoacán, México.

2 Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores-Unidad Morelia, antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta, 58190 Morelia, Michoacán, México.

3 Autor para la correspondencia: catomi@gmail.com

Recibido: 26 de enero de 2018.

Revisado: 19 de febrero de 2018.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 20 de junio de 2018.

Publicado Primero en línea: octubre de 2018.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 126 (2019).



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Citar como:

Uribe-Salas, D., M. L. España-Boquera y A. Torres-Miranda. 2018(2019). Aspectos biogeográficos y ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae) en Michoacán, México. Acta Botanica Mexicana 126: e1342. DOI: 10.21829/abm126.2019.1342

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

La distribución geográfica de las especies es el resultado de la acción conjunta de los factores abióticos actuales (variables climáticas y edafológicas) e históricos (Graham, 1999; Kremer, 2010; Woodburne, 2010). El análisis de la composición espacial de plantas a diferentes escalas provee información para identificar las variables climáticas, topográficas o edáficas a las que están adaptadas y cuáles las limitan (Morales-Saldaña, 2017). Las restricciones ambientales permiten discernir cuáles son las entidades taxonómicas que son de importancia para la conservación, y en qué áreas de su ámbito de presencia natural, por lo que su reconocimiento tiene además repercusiones en programas de restauración ecológica y conservación (Zavala, 1998; Torres-Meza et al., 2009).

Quercus L. es un género que se distribuye en el hemisferio norte. En México, es un grupo de plantas que constituye un elemento fundamental en los ambientes templados húmedos y subhúmedos, presentes en las cadenas montañosas y en serranías aisladas del altiplano (Rzedowski, 1978; Nixon, 1993), en los que ha ocurrido su diversificación. La estimación más reciente reconoce 161 especies en el país, de las cuales 81 pertenecen a la sección *Quercus* L. (encinos blancos), 76 a *Lobatae* Loudon (encinos rojos) y cuatro a *Protobalanus* (Trel.) A. Camus (encinos intermedios); del total de especies, 109 son endémicas (Valencia-A., 2004). La elevada riqueza de especies de *Quercus* presentes en México lo ubica como el segundo centro de diversificación del género en el mundo (Rzedowski, 1978; Nixon, 1993). Tanto su distribución actual en el país como su abundancia han sido el resultado de complejos procesos históricos de migración, diversificación y adaptación relacionados a la historia climática global y a la gran heterogeneidad topográfica y ambiental (Nixon, 1998; Graham, 1999). No existe información concluyente sobre los patrones de distribución geográfica de las especies de encinos a nivel nacional (Zavala, 1998; Valencia-A., 2004), lo que es un reflejo de lo lejos que se está de concluir su inventario geoespacial. En este sentido, sobresalen algunos estudios como el realizado para la sección *Lobatae* (Torres-Miranda et al., 2011), así como el de los patrones de distribución de los encinos en la Sierra Madre del Sur (Morales-Saldaña, 2017), San Luis Potosí (Sabás-Rosales et al., 2015) y Oaxaca

(Ramírez-Toro et al., 2017), este último con un enfoque adicional de conservación.

Michoacán es un estado con una complejidad geológica, fisiográfica y climática que resulta en amplios gradientes ambientales y una variedad de tipos de vegetación, lo que permite explicar su alta biodiversidad (Cué-Bär et al., 2006). *Quercus* constituye un grupo de especies arbóreas y arbustivas bien representado en las zonas templadas húmedas y subhúmedas del estado, principalmente en la Faja Volcánica Transmexicana y en la Sierra Madre del Sur; su presencia disminuye hacia el Altiplano michoacano y hacia la Depresión del Balsas-Tepalcatepec (Rzedowski, 1978; Bello y Labat, 1987; Fernández-Nava et al., 1998). El conocimiento de los encinos a nivel estatal y regional se ha incrementado con estudios monográficos, en los que se pueden apreciar problemas taxonómicos importantes. Para Michoacán, diferentes autores estiman entre 30 y 37 especies de *Quercus*, con un número similar en las secciones *Lobatae* y *Quercus* (Bello y Labat, 1987; González-Rivera, 1993; Espinosa-Garduño y Rodríguez-Jiménez, 1996; Valencia-A., 2004; Cué-Bär et al., 2006; Arizaga et al., 2009; Medina-García et al., 2013). Valencia-A. (2004) realizó una revisión taxonómica del género en México, en la que señala que las especies presentes en el estado de Michoacán, *Quercus sororia* Liebm. (Bello y Labat, 1987), *Q. centralis* Trel. y *Q. fournieri* Trel. (Espinosa-Garduño y Rodríguez-Jiménez, 1996), son sinónimos de *Q. splendens* Née, *Q. laeta* Liebm. y *Q. × dysophylla* Benth. respectivamente. Romero-Rangel et al. (2014) reportan 27 especies para la región del Bajío (que incluye el noreste michoacano), considerando criterios taxonómicos para el reconocimiento de especies de la serie *Acutifoliae* Trel. diferentes de los propuestos por Valencia-A. et al. (2015, 2016). Por otra parte, la riqueza y distribución geográfica del género únicamente han sido estudiadas brevemente por Medina-García (2013). Por lo anterior, es claro que se requiere de un trabajo constante de estudio y actualización de la información taxonómica y distribución espacial de este grupo de plantas.

El presente estudio tiene como propósito identificar aspectos básicos que influyen en la distribución geográfica de las especies del género *Quercus* en Michoacán, incluyendo variables topográficas (altitud, orientación y pendiente), climáticas (temperatura y precipitación), edáficas y

ecológicas (vegetación, flora asociada). Se busca, además, evaluar los patrones básicos de diversidad (riqueza, rareza, irremplazabilidad y recambio) de especies considerando los límites políticos en que se divide la entidad, con el fin de identificar los municipios que son de mayor importancia para la conservación de encinos a nivel estatal.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estado de Michoacán de Ocampo está ubicado en la región centro-occidente de la República Mexicana, entre las coordenadas 17°55', 20°24' de latitud norte y 100°05', 103°44' de longitud oeste. La entidad se divide en 113 municipios. Su extensión territorial es de 58,836.95 km² y su altitud varía desde cero hasta 3840 m (Durán y Sevilla, 2003). Ferrusquía-Villafranca (1998) menciona que en la entidad convergen dos provincias morfotectónicas: la Sierra Madre del Sur (SMS), con la mayor complejidad topográfica, y la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), que cubre la mayor parte del territorio del estado. Ambas coinciden con dos de las cinco provincias fisiográficas que Durán y Sevilla (2003) mencionan para Michoacán y que, de norte a sur, son: i) Altiplano (AM), al norte, con tierras altas y clima variado, que comprende las tierras de la Depresión del Río Lerma-Santiago; ii) Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), que es una cadena montañosa de origen volcánico que atraviesa el centro de México de este a oeste; iii) Depresión del Balsas-Tepalcatepec (DBT), con tierras bajas y cálidas; iv) Sierra Madre del Sur (SMS) que abarca el oeste-suroeste de Michoacán y que se extiende hacia los estados de Jalisco y Colima en el oeste, y hacia Guerrero y Oaxaca hacia el sureste; y v) la Planicie Costera (PC) (Fig. 1). Dada su gran complejidad topográfica, presenta una gran variedad de climas y suelos, resultando en ambientes diversos que favorecen la presencia de la vegetación templada y tropical (Espinosa-Garduño y Rodríguez-Jiménez, 1996; Cué-Bär et al., 2006).

Obtención y análisis de los datos

Se elaboró una base de datos correspondiente a las especies del género *Quercus* presentes en Michoacán, a partir de la consulta de las colecciones botánicas depositadas en los herbarios EBUM, ENCB, IEB, INIF y MEXU. En algunos casos de especies con pocos registros, se agregaron los

datos de distribución reportados por Bello y Labat (1987) para Michoacán, así como la información generada por la revisión más reciente de *Quercus* para el noreste del estado, en la región Bajío, por Romero-Rangel et al. (2014). Se procuró revisar los ejemplares de herbario para confirmar su correcta determinación. En el Apéndice 1 se enlistan las características que sirven para la delimitación de las especies con presencia en Michoacán. La información fue capturada en una base de datos conformada por 1734 registros georreferenciados, no-duplicados, de 33 especies (Cuadro 1). Los epítetos específicos de los nombres científicos se escribieron con base en Valencia-A. y Flores-Franco (2006). Las autoridades de las especies están referidas siguiendo los criterios del International Plant Names Index (IPNI, 2012).

Se consideraron los siguientes cambios nomenclaturales: a) se cambió el nombre de *Q. candicans* Née por *Q. calophylla* Schldl. & Cham. como lo proponen Valencia-A. et al. (2018), puesto que la descripción original de *Q. candicans* se realizó con base en una asterácea; b) se consideró como válido que *Q. conspersa* Benth. es un sinónimo de *Q. acutifolia* Née, y que las formas que se asignaban originalmente a *Q. acutifolia* pertenecen a *Q. grahamii* Benth., cambio taxonómico propuesto por Valencia-A. et al. (2015) tras una revisión detallada de ejemplares en herbario y campo.

De cada ejemplar de herbario se registraron las coordenadas geográficas de los sitios de colecta referidos en sus etiquetas. En el caso de los ejemplares que no contaban con información geográfica precisa (en particular los colectados antes del año 2000), sino únicamente con indicaciones generales y el dato de la altitud, se estableció una ubicación aproximada, con ayuda de Google Earth (Google Inc., 2015). Con la información geográfica, se elaboraron los mapas de distribución de cada especie del género *Quercus* y de sus respectivas secciones. Para la delimitación de los intervalos de distribución altitudinal, se obtuvo un modelo digital de elevación para el estado, basado en las curvas de nivel elaboradas por la Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 1998), con una resolución de 100 m. Por razones de robustez estadística, los intervalos altitudinales de distribución se estimaron únicamente cuando se dispuso de 10 o más registros de

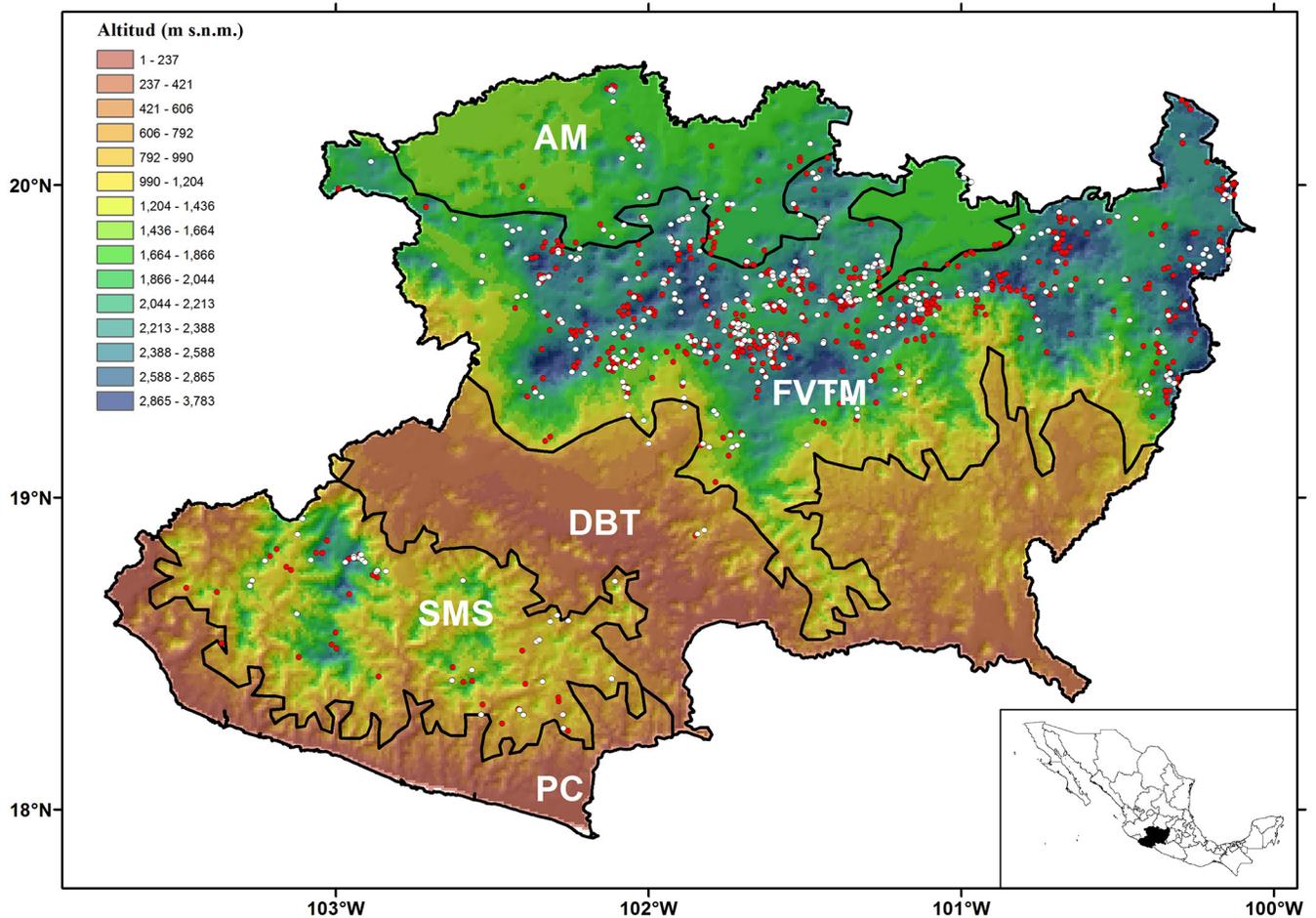


Figura 1: Regiones fisiográficas de Michoacán basado en la propuesta de Durán y Sevilla (2003): AM: Altiplano; DBT: Depresión del Balsas-Tepalcatepec; FVTM: Faja Volcánica Transmexicana; PC: Planicie Costera; SMS: Sierra Madre del Sur. Las especies de la sección *Lobatae* están representados en círculos rojos y las de la sección *Quercus* en círculos blancos.

colecta para las especies. A partir del modelo de elevación se calcularon la orientación y ángulo de la pendiente utilizando el programa ArcGIS ver. 9.2 (ESRI, 2006).

Las características del hábitat y las principales asociaciones de plantas se establecieron con base en la información obtenida de los registros de colecta de los ejemplares de herbario. Los tipos de vegetación obtenidos de INEGI (2015) son congruentes con la denominación de los tipos de vegetación realizada por Rzedowski (1978), clasificación que se utilizó en este trabajo. Los datos edáficos se obtuvieron de la clasificación de suelos propuesta por INEGI (2014) y los de precipitación y temperatura fueron obtenidos de la información climática disponible en la plataforma en línea de WorldClim (Hijmans et al., 2005). Se utilizó también el índice de aridez de Zomer et al. (2008), el cual considera

el potencial de evapo-transpiración y la radiación solar por unidad de área.

Patrones de distribución

Se analizaron, a nivel municipal, los patrones de riqueza de las especies del género y de las secciones que lo comprenden. Para cumplir con este objetivo, se obtuvo una matriz de presencia (1) y ausencia (0) de especies en cada uno de los 113 municipios del estado, con la que se calculó la riqueza *alfa*.

Para estimar la rareza de una especie (si es poco frecuente en Michoacán), se calculó el inverso del número total de municipios en que fue registrada. Para obtener los patrones de rareza de una especie por municipio, en la matriz de presencia/ausencia se sustituyeron las presencias

Cuadro 1: Lista de las 33 especies de encinos de Michoacán incluidos en este estudio, correspondientes a las secciones *Lobatae* y *Quercus*. Se anexa la matriz de presencia/ausencia en las entidades de la República Mexicana, que se utilizó para determinar el factor de ponderación (FP) empleado en la estimación de la irremplazabilidad de especies. (**estados no considerados para el FP debido a que su superficie es inferior al 5% nacional, tampoco se incluyen Belice y El Salvador).

SECCIÓN	ESPECIE	Fp	Total para fp	Total	Baja california	Arizona	Chiapas	Chihuahua	Coahuila	Durango	Guanejuato	Guatemala	Guerrero	Hidalgo	Honduras	Jalisco	México	Michoacán	Nayarit	Nuevo león	Oaxaca	Puebla	Querétaro	San Luis potosí	Sinaloa	Sonora	Tamaulipas	Veracruz	Zacatecas	Aguascalientes**	Ciudad de méxico**	Colima**	Morelos**	Tlaxcala**	Belice**	El salvador**			
					0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
<i>Lobatae</i> Loudon	<i>Q. acutifolia</i> Née	3	10	10	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	<i>Q. calophylla</i> Schtdl. & Cham.	1	16	18	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0		
	<i>Q. castanea</i> Née	1	17	21	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	
	<i>Q. crassifolia</i> Bonpl.	1	16	18	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
	<i>Q. crassipes</i> Bonpl.	5	8	12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
	<i>Q. × dysophylla</i> Benth.	7	6	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
	<i>Q. elliptica</i> Née	2	11	12	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Q. gentryi</i> C.H. Mull.	4	9	10	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Q. grahamii</i> Benth.	6	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	<i>Q. laurina</i> Bonpl.	1	12	15	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	
	<i>Q. mexicana</i> Bonpl.	1	11	13	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	<i>Q. planipocula</i> Trel.	8	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Q. salicifolia</i> Née	9	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Q. scytophylla</i> Liebm.	3	11	11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Q. sideroxylo</i> Bonpl.	1	13	14	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Q. uxoris</i> McVaugh	9	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
<i>Quercus</i> L.	<i>Q. deserticola</i> Trel.	4	9	10	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Q. frutex</i> Trel.	8	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	<i>Q. glabrescens</i> Benth.	6	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	<i>Q. glaucescens</i> Bonpl.	6	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Q. glaucoides</i> M. Martens & Galeotti	1	13	14	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	<i>Q. greggii</i> (A. DC.) Trel.	2	12	12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Q. laeta</i> Liebm.	1	13	15	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
	<i>Q. magnoliifolia</i> Née	2	11	13	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
	<i>Q. martinezii</i> C.H. Mull.	7	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Q. obtusata</i> Bonpl.	1	15	19	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	
	<i>Q. peduncularis</i> Née	1	11	13	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
	<i>Q. repanda</i> Bonpl.	10	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Q. resinosa</i> Liebm.	6	7	8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Q. rugosa</i> Née	1	22	27	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	<i>Q. splendens</i> Née	8	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Q. subspatulata</i> Trel.	7	6	6	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Q. tuberculata</i> Liebm.	6	7	7	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

de cada especie por su respectivo inverso de distribución, siguiendo el procedimiento propuesto por Linder (2001), para obtener un índice de endemismo ponderado.

Para cuantificar el criterio de irremplazabilidad de cada especie, se realizó una ponderación a cada especie considerada en este estudio, siguiendo el siguiente procedimiento: 1) se construyó una matriz de presencia/ausencia de cada especie presente en Michoacán y que se comparte en otros estados de México y en algunos países de América Central (Cuadro 1), 2) siguiendo el criterio de Ramírez-Toro et al. (2017), se asignó un peso alto a aquellas especies con distribuciones restringidas (presentes en pocas entidades políticas); en este paso, con el fin de no sobreestimar la amplitud geográfica de una especie, no se consideraron aquellas demarcaciones cuya superficie representa menos de 5% del territorio nacional; así, Colima, Morelos, Tlaxcala y la Ciudad de México no fueron considerados para la ponderación, 3) se pesaron con un factor 1 ($\times 1$) aquellos encinos que se distribuyen en más de 13 entidades políticas, ya que tienen mayor probabilidad de ser conservados, aun cuando en el estado no sean prioritarios; el mayor factor de pesaje ($\times 10$) se asignó a las especies con presencia en no más de tres entidades políticas, ya que si no se conservan en Michoacán, su probabilidad de ser conservadas a nivel nacional será baja.

Análisis biogeográfico y ecológico

Se realizaron dos análisis de agrupamiento considerando unidades administrativas: en el primero se utilizó la matriz de presencia de especies registradas por municipios de Michoacán; en el segundo se utilizó la matriz de ocurrencias registradas para cada entidad política de México y América Central.

Por otra parte, se integró una matriz ambiental donde las filas representan los encinos de Michoacán, mientras que en las columnas se definen los intervalos ambientales (altitud, temperatura, precipitación, suelo, vegetación) en las que éstos se desarrollan, asignando 1 a los intervalos donde se registran y 0 a los rangos donde no se han registrado (Apéndice 2). Dicha matriz se examinó mediante análisis de coordenadas principales y de agrupamientos de medias no ponderadas (UPGMA), con el fin de clasificar las especies por su similitud ambiental e identificar las variables que mejor explican su divergencia ambiental.

Se realizó además un análisis de la distribución altitudinal de los encinos. Para ello se registró una matriz de presencia/ausencia de especies cada 100 metros, a partir de los 500 y hasta los 3100 m s.n.m., considerados como los límites de distribución altitudinal del género *Quercus* en Michoacán (Bello y Labat, 1987). Con base en esta matriz se realizó un análisis de UPGMA, para definir los pisos altitudinales en los que se distribuye el género en el estado, e identificar en qué altitudes existe mayor recambio de especies.

Por último, se probó si la heterogeneidad ambiental está relacionada con los patrones de diversidad encontrados en este estudio. Para ello, se calcularon los promedios y la desviación estándar de altitud, temperatura promedio anual, precipitación anual y aridez, en cada municipio donde se registran especies de encinos. Se realizaron análisis de correlación para determinar si alguna variable ambiental puede explicar alguno de los patrones de diversidad encontrados.

Resultados

Patrones de distribución

Michoacán cuenta con 33 especies del género *Quercus*, 16 pertenecen a la sección *Lobatae* y 17 a la sección *Quercus*, en conjunto representan alrededor de 20.5% de las especies presentes en México, del total para la entidad 24 son endémicas al país; no existen endemismos en el estado. En el Apéndice 3 se muestran aspectos de la distribución geográfica, topográfica, climática, edáfica y ecológica de cada especie de encino en Michoacán. En la Figura 2 se sintetiza la distribución de cada especie de ambas secciones por altitud, temperatura y precipitación anual promedio, y tipo de suelo y vegetación. Michoacán comparte un número variable de encinos con 26 estados, siendo Jalisco, Oaxaca, Guerrero y Estado de México las entidades con las que comparte un mayor número (26, 23, 20 y 20 respectivamente).

Considerando la riqueza por regiones fisiográficas, las dos secciones del género están bien representadas en la Faja Volcánica Transmexicana con 30 especies. La sección *Lobatae* registra 14 en la FVTM; *Q. salicifolia* Née y *Q. uxoris* McVaugh no se distribuyen en dicha región fisiográfica, mientras que *Q. mexicana* Bonpl. tiene una población marginal en el extremo noreste de la Faja. Por su parte, 16 especies de la sección *Quercus* se encuentran en la FVTM.

dos en la SMS (Aguililla y Coalcomán) (Cuadro 2). La mayor riqueza florística del género se ubica en la FVTM y en la SMS (Figura 3). Morelia, Coalcomán y Uruapan son los de mayor riqueza de especies (Cuadro 2). Las especies que se han registrado en más de 25 municipios son: *Q. castanea* Née (45), *Q. obtusata* Bonpl. (43), *Q. rugosa* Née (36), *Q. laurina* Bonpl. (35), *Q. crassipes* Bonpl. (31) y *Q. calophylla* (28) (Cuadro 2); de éstas, cuatro corresponden a encinos rojos y dos a blancos. Por el contrario, veinticuatro especies se han registrado en cinco o menos municipios; de éstas, doce corresponden a encinos rojos y doce a blancos.

Los patrones de rareza identifican que los municipios de mayor importancia para el género y ambas secciones en orden de importancia son: Coalcomán, Madero, Morelia, Hidalgo, Tumbiscatío, Arteaga y Contepec; para el caso de

la sección *Lobatae* también resultan importantes los municipios de Chinicuila y Tlalpujahua (Fig. 3).

Los municipios de mayor importancia por la irremplazabilidad de sus especies en Michoacán, a nivel de género y en ambas secciones, son: Madero, Coalcomán, Tumbiscatío, Chinicuila, Quiroga e Hidalgo; el municipio de Coeneo es relevante también para los encinos blancos (Fig. 3).

Análisis biogeográfico y ecológico

De acuerdo con los datos analizados, las especies del género *Quercus* se distribuyen en un amplio gradiente ambiental, geográfico y altitudinal. Los bosques de encino, de encino-pino y de pino-encino, tipos de vegetación presentes en climas templados subhúmedos, albergan a la mayoría de las especies. Pocas especies se encuentran en bosques

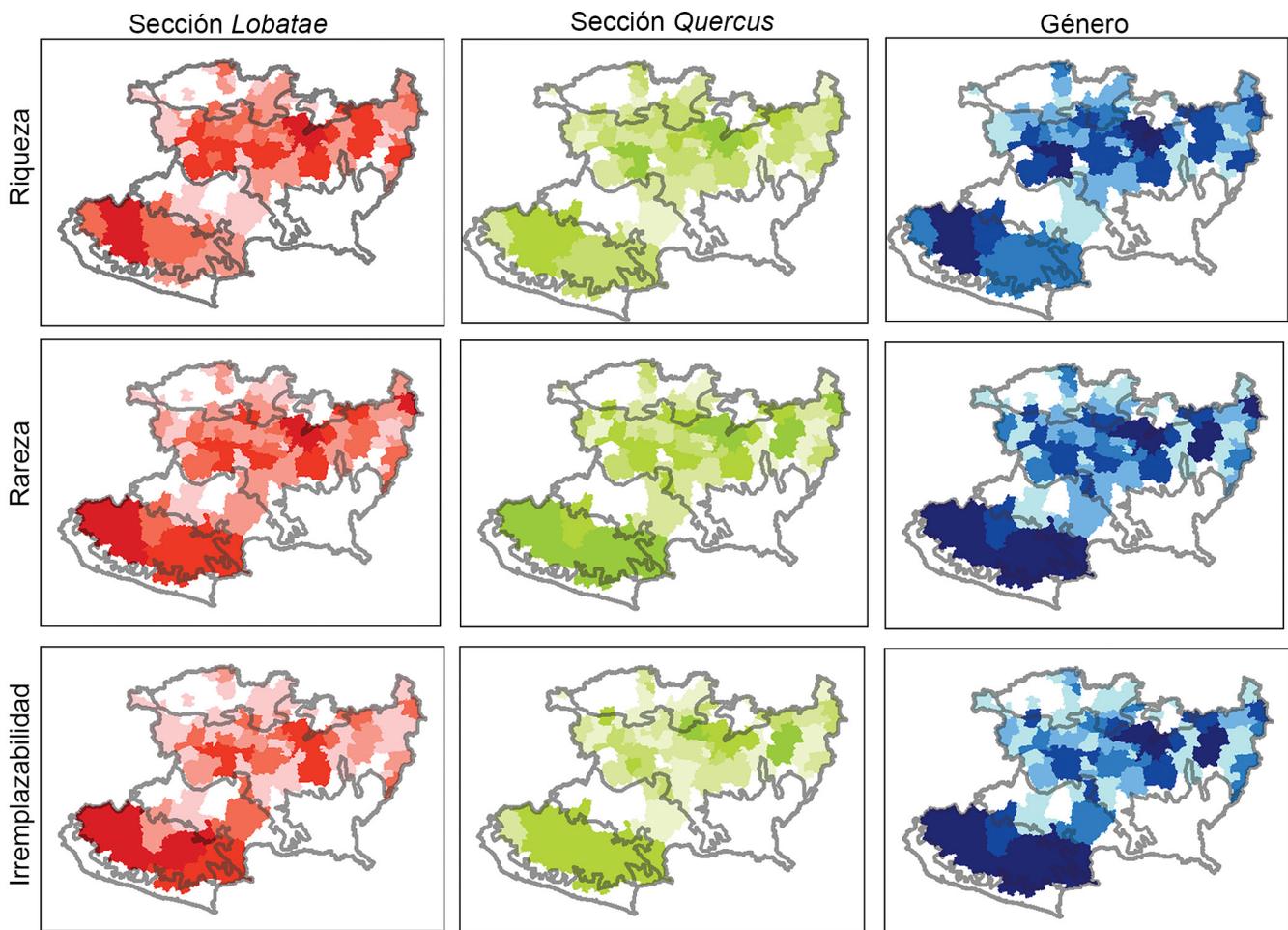


Figura 3: Patrones de diversidad a nivel municipal identificados para cada una de las secciones presentes en el estado de Michoacán, así como para el género. Los colores de tonos más oscuros representan áreas de mayor importancia por su riqueza, rareza o irreemplazabilidad, tonos más claros tienen menor importancia.

Cuadro 2: Continuación.

MUNICIPIO	Fisiografía	Especies de <i>Quercus</i>																	Sección <i>Quercus</i> L.																										
		<i>Q. acutifolia</i> Née	<i>Q. calophylla</i> Schltld. & Cham.	<i>Q. castanea</i> Née	<i>Q. crassifolia</i> Bonpl.	<i>Q. crassipes</i> Bonpl.	<i>Q. x dysophylla</i> Benth.	<i>Q. elliptica</i> Née	<i>Q. gentryi</i> C.H. Mull.	<i>Q. grahamii</i> Benth.	<i>Q. laurina</i> Bonpl.	<i>Q. mexicana</i> Bonpl.	<i>Q. planipocula</i> Trel.	<i>Q. salicifolia</i> Née	<i>Q. scytophylla</i> Liebm.	<i>Q. sideroxylo</i> Bonpl.	<i>Q. uxoris</i> McVaugh	<i>Q. deserticola</i> Trel.	<i>Q. frutex</i> Trel.	<i>Q. glabrescens</i> Benth.	<i>Q. glaucescens</i> Bonpl.	<i>Q. glaucooides</i> M. Martens & Galeotti	<i>Q. greggii</i> (A. DC.) Trel.	<i>Q. laeta</i> Liebm.	<i>Q. magnoliifolia</i> Née	<i>Q. martinii</i> C.H. Mull.	<i>Q. obtusata</i> Bonpl.	<i>Q. peduncularis</i> Née	<i>Q. repanda</i> Bonpl.	<i>Q. resinosa</i> Liebm.	<i>Q. rugosa</i> Née	<i>Q. splendens</i> Née	<i>Q. subspatulata</i> Trel.	<i>Q. tuberculata</i> Liebm.	Sección <i>Lobatae</i> Loudon	Sección <i>Quercus</i> L.	Género								
Coeneo	AM	1	1							1								1						1													3	4	7						
Jiménez	AM			1		1				1															1		1	1										3	4	7					
Tlalpujahua	FVTM				1	1				1								1	1																			3	4	7					
Tacámbaro	FVTM	1	1							1																	1	1	1										3	3	6				
Ocampo	FVTM		1	1	1	1				1																												5	1	6					
Panindícuaro	AM			1											1		1								1													2	4	6					
Paracho	FVTM				1	1	1			1																			1										4	2	6				
Tangancícuaro	AM			1	1	1				1																													4	2	6				
Tzintzuntzan	FVTM		1	1					1										1																				3	3	6				
Ario	FVTM	1	1	1																							1												3	2	5				
Chilchota	FVTM			1											1											1													2	3	5				
Churintzio	AM			1					1																1														2	3	5				
Indaparapeo	FVTM			1	1																																		3	2	5				
Maravatío	FVTM			1						1																														2	3	5			
Nahuatzen	FVTM					1				1	1																												3	2	5				
Senguio	FVTM					1					1																													2	3	5			
Zináparo	AM								1																															1	4	5			
Epitacio Huerta	FVTM				1	1					1																													3	1	4			
Nuevo Urecho	DBT														1																									1	3	4			
Puruándiro	AM			1							1																													2	2	4			
Tangamandapio	AM																																							1	1	1	0	4	4
Tingüindín	FVTM			1		1																																			2	2	4		
Tuxpán	FVTM			1																																					1	3	4		
Taretan	FVTM	1																																							1	2	3		
Tzitzio	FVTM	1	1																																						2	1	3		
Cotija	FVTM														1																										1	2	3		
Huiramba	FVTM			1		1																																				2	1	3	
Irimbo	FVTM			1																																						1	2	3	
Morelos	FVTM			1																																						1	2	3	
Purépero	FVTM			1																																						1	2	3	
Queréndaro	FVTM			1	1						1																															3	0	3	

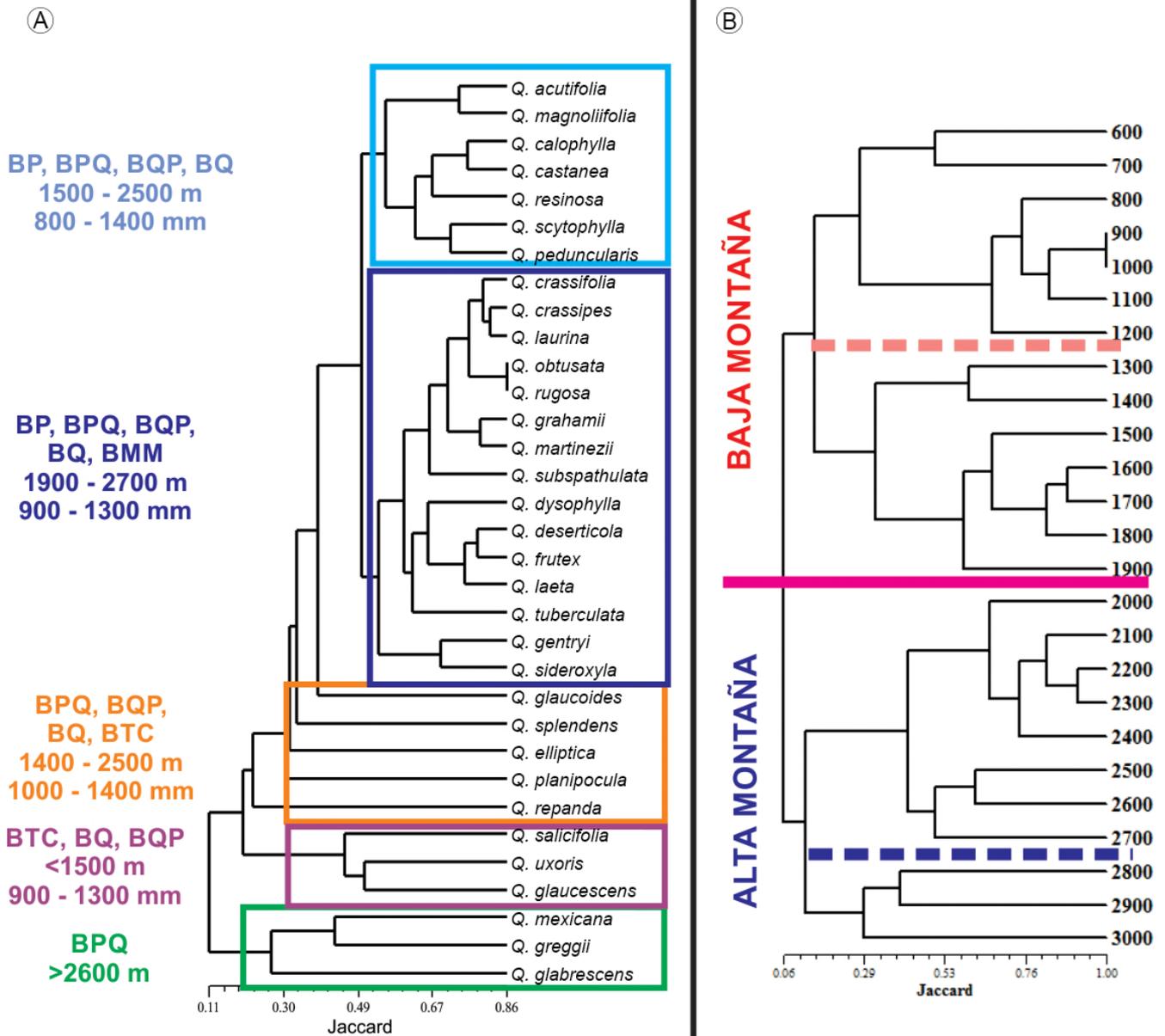


Figura 4: A. Identificación de cinco grupos definidos con base en la similitud ambiental en la que se registra cada especie de *Quercus* en Michoacán. B. Identificación de los principales intervalos altitudinales en que se distribuyen los encinos con base en las especies compartidas entre cada cota altitudinal. Las siglas de los tipos de vegetación corresponden a BA: bosque de *Abies*, BP: bosque de *Pinus*, BPQ: bosque de *Pinus-Quercus*, BQP: bosque de *Quercus-Pinus*, BQ: bosque de *Quercus*, BMM: bosque mesófilo de montaña, BTC: bosque tropical caducifolio, BTSC: bosque tropical subcaducifolio.

presentes en áreas con diferentes niveles de precipitación; los encinos rojos crecen en áreas con más lluvia (mayor a 1000 mm anuales), así como en áreas donde la aridez es menos intensa (Fig. 2). No muestran preferencias por lugares con pendientes pronunciadas o suaves.

Con base en las condiciones ambientales que caracterizan a sus poblaciones, las especies de encinos forman cinco grupos principales (Fig. 4A). El primer grupo está for-

mado por siete especies que viven en ambientes templados húmedos a subhúmedos ubicados en su mayoría entre 1500-2500 m s.n.m.; el segundo grupo, compuesto por 15 especies presentes entre los 1900-2700 m s.n.m.; el tercer grupo, de zonas de baja montaña compuesto por tres especies; otro grupo de especies se encuentra en posición intermedia entre el segundo y tercer grupo, y es donde se identifican cinco especies de amplio intervalo de distribu-

ción altitudinal; por último, en un quinto grupo se identifica a tres especies de alta montaña que tienen distribución marginal en el estado.

A nivel altitudinal, los encinos se distribuyen desde 750 (*Q. salicifolia*, *Q. glaucescens*, *Q. magnoliifolia* Née en la SMS) hasta 3050 m s.n.m. (*Q. laurina* en el municipio Contepec en la FVTM) (Fig. 2). Los encinos rojos presentan menor amplitud altitudinal que los encinos blancos. En general, las especies que se distribuyen en altitudes bajas presentan los intervalos de distribución altitudinal más amplios, alcanzando una amplitud altitudinal de más de 1000 m; dos especies de encinos rojos (*Q. acutifolia* Née (1100-2100 m s.n.m.) y *Q. elliptica* (1150-2450 m s.n.m.)) y cinco de encinos blancos (*Q. glaucooides* M. Martens & Galeotti (800-2450 m s.n.m.), *Q. magnoliifolia* (750-2400 m s.n.m.), *Q. obtusata* (1700 a 2850 m s.n.m.), *Q. resinosa* (1450-2750 m s.n.m.), y *Q. rugosa* (1800-3000 m s.n.m.)). Los encinos habitan dos zonas altitudinales de manera preferente: la zona de baja montaña que abarca de 600 a 1900 m, y una zona de alta montaña que comprende de 2000 a 3100 m (Fig. 4B). Entre 1900 y 2000 m s.n.m. se identifica el mayor recambio de especies, seguidos de dos zonas secundarias: la primera entre 1200 y 1300 m y la segunda entre 2700 y 2800 m (Fig. 4B).

Los análisis de correlación entre el promedio de las variables ambientales calculadas por municipio y la riqueza de especies, muestran valores significativos para el género y la sección *Lobatae*; la sección *Quercus* solo tiene correlación significativa con la aridez (Cuadro 3). En el caso del

Cuadro 3: Tabla de los coeficientes de correlación obtenidos entre las medidas de diversidad: riqueza y rareza de especies, en función de la altitud y aridez, también se consideró la variación de estas variables a nivel municipal mediante la desviación estándar de los datos (S). En el caso de * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$.

		Altitud	Aridez	S Altitud	S Aridez
Riqueza	<i>Lobatae</i>	0.25*	0.53**	0.40*	0.45**
	<i>Quercus</i>	0.17	0.31**	0.21	0.33**
	Género	0.23*	0.46**	0.34*	0.43**
Rareza	<i>Lobatae</i>				0.33**
	<i>Quercus</i>				0.29*
	Género				0.34**

índice de rareza de las especies, la única correlación significativa se da entre la desviación de la aridez para el género y en ambas secciones (Cuadro 3).

Por último, los municipios forman cuatro grupos claramente definidos por la similitud en su composición de especies (Fig. 5). Un grupo pequeño ubicado al noroeste de Michoacán, que tiene una relación con el Altiplano y que incluye nueve municipios; un grupo grande formado por 34 municipios donde se alcanza elevaciones superiores a 2500 m s.n.m. en climas templados húmedos a subhúmedos, la mayoría presentes en la FVTM y donde destaca la presencia de Coalcomán, municipio de la SMS que presenta las cotas altitudinales más altas de esta provincia fisiográfica; ocho municipios que conforman una región transicional entre las comunidades altas de la FVTM y las zonas bajas de la DBT; y nueve municipios que conforman un área representativa de la SMS con las especies de mayor afinidad tropical donde no se supera una altitud de 2500 m s.n.m.

Discusión

Las 33 especies de encinos (16 de la sección *Lobatae* y 17 de la sección *Quercus*) reportadas para Michoacán representan 20.5% del total de las registradas para México (Valencia-A., 2004), (21.1% de los encinos rojos y 21% de los blancos) (Valencia-A., 2004), esto contando a *Q. mexicana* y *Q. repanda*, no reconocidas para Michoacán en Bello y Labat (1987), pero sí en Medina-García et al. (2013) y Romero-Rangel et al. (2014), así como *Q. greggii* (A. DC.) Trel., incluidas para la entidad por Cué-Bär et al. (2006) y Romero-Rangel et al. (2014). De esta manera, la diversidad alfa de Michoacán se encuentra por debajo de las 50 documentadas para Oaxaca (Valencia-A. y Nixon, 2004), de las 45 para San Luis Potosí (Sabás-Rosales et al., 2015), Jalisco (González Villarreal, 1986, 2003) y la región del Bajío, que incluye el noreste del estado de Michoacán (Romero-Rangel et al., 2014), de las 43 registradas para Hidalgo (Valencia-A. et al., 2017) y de las 37 para Tamaulipas (Pérez-Mojica y Valencia-A., 2017), pero con mayor riqueza específica que estados vecinos como Guerrero, con 28 (Valencia-A. et al., 2002), o el Estado de México con 23 (Romero-Rangel et al., 2002).

En la entidad, este género está presente en cuatro regiones fisiográficas, donde los componentes montanos FVTM y SMS (heterogéneos topográficamente) promueven

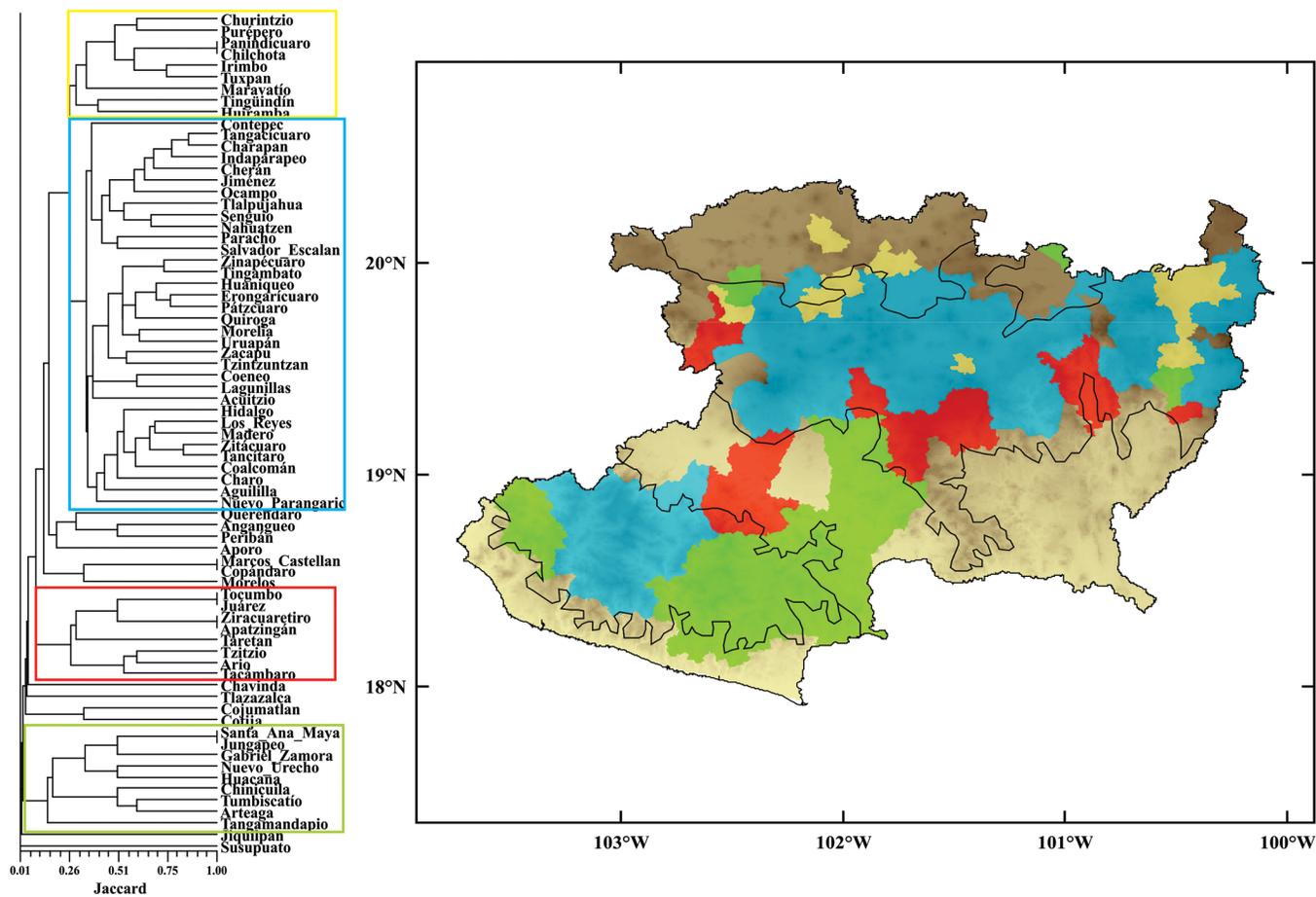


Figura 5: Identificación de cuatro grupos principales en que se clasifican los municipios con base en la similitud de las especies de encinos compartidas entre unidades políticas del estado de Michoacán. Los resultados en el mapa se muestran sobre un modelo digital de elevación. El color ocre representa ausencia de especies de encino, en color amarillo se identifican las zonas más áridas relacionadas con el Altiplano (AM), en color azul se reconocen las zonas templadas húmedas a subhúmedas, principalmente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM); en color verde el área relacionada con la Sierra Madre del Sur (SMS) con elevaciones inferiores a 2500 m s.n.m.; en color rojo se representan áreas de baja montaña localizadas entre la FVTM y la Depresión del Balsas-Tepalcatepec (DBT).

una amplia variación climática conformando diferentes gradientes de riqueza, a diferencia de los estados de México y Guerrero donde corre de manera preferente uno de los dos sistemas montañosos, por lo que el número de especies es menor. Estos sistemas montañosos se caracterizan por un clima templado a semicálido húmedo y subhúmedo que es donde se concentra la mayor riqueza del género (Fig. 4A).

El esfuerzo de colecta en la entidad está sesgado hacia la región que cuenta con los asentamientos humanos más grandes y que tienen la mayor infraestructura carretera, que corresponde al FVTM y en particular al municipio Morelia, que es donde se tiene registrado el mayor número de especies. De acuerdo con Bello (2005), la porción norte de Michoacán a partir de la FVTM es considerada la más conocida florísticamente, seguida por la PC, mientras

que la DBT y la SMS están aún poco exploradas. El reducido número de ejemplares disponibles de la SMS se puede explicar porque esta región presenta complejos problemas políticos, sociales y económicos desde hace varias décadas (Sánchez, 1979; 1988), lo que ha entorpecido el estudio de la biodiversidad en esta región.

Aun cuando es evidente que se requiere de un mayor trabajo de campo, los datos existentes muestran una amplia distribución del género *Quercus* en las zonas templadas y frías del estado, principalmente en la FVTM y en la SMS; su presencia disminuye hacia las depresiones del Lerma-Santiago y del Balsas-Tepalcatepec, lo que es consistente con Bello (2005), quien menciona que de las especies registradas hasta ese momento (2005), “siendo *Quercus candicans* (encino de asta), *Q. castanea* (encino blanco), *Q.*

crassipes (encino pepitillo), *Q. laurina* (encino laurelillo), *Q. obtusata* (encino chino) y *Q. rugosa* (encino roble) las mejor representadas y las de mayor distribución sobre todo en el Cinturón Volcánico y en la Sierra Madre del Sur; en cambio, en las cuencas de los ríos Lerma y Balsas la distribución de especies de *Quercus* se reduce en forma significativa (*Q. frutex*, *Q. glabrescens*, *Q. tuberculata* y *Q. uxoris*) quizás por la falta de colectas, por su condición de especies termófilas o por el alto grado de alteración del ambiente que prevalece en gran parte de las regiones cálidas”.

El amplio intervalo altitudinal en el que se distribuyen *Q. acutifolia*, *Q. castanea*, *Q. elliptica*, *Q. glaucoides*, *Q. grahamii*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata*, *Q. peduncularis* y *Q. resinosa* propicia la asociación con elementos templados en su estrato superior de distribución altitudinal, así como con elementos de bosque tropical caducifolio y de bosque espinoso en los terrenos más bajos de su distribución. Las especies que marcan el límite menor y mayor en la distribución altitudinal pertenecen a la sección *Lobatae*: *Q. laurina*, *Q. crassipes*, *Q. crassifolia* y *Q. × dysophylla* marcan los límites superiores (>3000 m s.n.m.), mientras que *Q. uxoris* y *Q. salicifolia* los límites inferiores (alrededor de los 700 m s.n.m.).

En cuanto a la distribución de las especies de las dos secciones con relación a las condiciones ambientales, se encontró que las especies de la sección *Lobatae* prosperan en regiones con mayor precipitación anual, que coinciden con áreas con menor aridez (Fig. 2); estos resultados son congruentes con lo reportado por Zavala (1998) y Nixon (2006). Además, los encinos rojos se desarrollan en suelos acrisoles (suelos de zonas lluviosas pero pobres), feozem (en regiones subhúmedas con alta cantidad de nutrientes) y luvisoles (suelos rojizos en áreas con pendiente suave con marcada estacionalidad en la precipitación) y es notable su preferencia por las laderas con orientación oeste (noroeste y suroeste); presentan intervalos pequeños de distribución altitudinal, siendo posible identificar especies de alta y baja montaña. A mayor heterogeneidad ambiental, mayor riqueza de especies, ya que ésta aparece correlacionada significativamente con la desviación estándar de la altitud y con la aridez de cada municipio. Por otro lado, con las especies de la sección *Quercus* se puede identificar que los encinos se localizan en áreas con menor precipitación anual y donde la aridez puede ser más marcada, lo que

es congruente con lo propuesto por Zavala (1998) y Nixon (2006). Se encuentran en suelos tipo andosol (de origen volcánico con alta retención de humedad, pero pocos nutrientes y propensos a erosión) y luvisoles (suelos arcillosos pardos con alta concentración de nutrientes, pero fáciles de erosionar); crecen en laderas con exposición oeste, pero también son abundantes en orientaciones norte y noreste; presentan amplios intervalos de distribución altitudinal. A diferencia de lo que ocurre con los encinos rojos, no hay evidencia de que la riqueza de especies de encinos blancos a nivel municipal esté correlacionada con la heterogeneidad altitudinal o de aridez, debido a que los límites de tolerancia ambiental que presentan son amplios.

Seis especies de encinos blancos y tres de encinos rojos presentan los límites de su distribución en Michoacán (Medina-García et al., 2013; Romero-Rangel et al., 2014), por lo que se consideran raras para el estado; representan 27% de la riqueza específica para la entidad, la mayoría crecen en regiones de alta montaña. Las especies con el menor número de poblaciones registradas en el estado se localizan en las regiones noreste y este del estado, en los municipios Contepec, Madero e Hidalgo, superficies donde algunas de ellas presentan su límite de su distribución. Por su parte, Coalcomán, Chinicuila, Tumbiscatío y Arteaga, en la SMS, son también importantes no solo por la rareza de especies, debido al escaso conocimiento de esta zona, sino además porque las especies ahí registradas se encuentran en pocos estados del país. Esto sugiere que, de intensificarse las colectas en esa región, podría esperarse un mayor número de especies, debido a que en esta sierra se alcanzan las mayores altitudes del sur de Michoacán (hasta 3200 m). Torres-Miranda et al. (2011) y Morales-Saldaña (2017) señalan a la SMS y de manera particular a la sierra de Coalcomán y las sierras de Guerrero y Oaxaca, como los lugares con la mayor riqueza de *Quercus*. Con base en lo anterior, si se considera el criterio de irremplazabilidad, la SMS es de alta prioridad.

Considerando la tendencia de que a mayor heterogeneidad ambiental dentro de un municipio corresponde una mayor riqueza de especies, se podría esperar que municipios como Tancítaro, Tacámbaro, Los Reyes, Susupuato, Aguililla, Chinicuila y Zitácuaro tuvieran más especies que las registradas en este trabajo. Por esta razón, se puede su-

gerir que aún falta desarrollar trabajo de campo para estimar con mayor precisión la distribución y el número de especies de encinos de la entidad. En el contexto geográfico, la información de estas especies aún es fragmentaria, principalmente en la SMS y la DBT.

En resumen, se pueden distinguir cuatro áreas geográficas principales en la distribución de los encinos en Michoacán (Fig. 5): la primera, en los ambientes templados semiáridos de la región norte del estado, correspondiente al AM, donde con frecuencia se encuentran poblaciones fragmentadas, poco densas (Herrera-Arroyo et al., 2013), formando bosques mixtos de riqueza variable de especies, con algunas de las siguientes: *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. deserticola* Trel., *Q. gentryi*, *Q. glaucoides*, *Q. laeta*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata*, *Q. scytophylla* y *Q. subspathulata*. En la segunda área, ubicada en la zona templada subhúmeda de la FVTM, prosperan las comunidades más densas, en las altitudes medias y altas, en donde dominan las especies *Q. calophylla*, *Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. crassipes*, *Q. deserticola*, *Q. x dysophylla*, *Q. frutex*, *Q. gentryi*, *Q. glabrescens*, *Q. glaucoides*, *Q. laeta*, *Q. laurina*, *Q. martinezii*, *Q. obtusata* y *Q. rugosa*, formando bosques de encino, así como asociaciones con bosque mesófilo de montaña y con bosque de coníferas (*Pinus* y *Abies*), estos últimos en la cota altitudinal mayor. La tercera, en la SMS, corresponde a ambientes semicálidos a templados húmedos y subhúmedos donde las especies registradas son: *Q. calophylla*, *Q. crassifolia*, *Q. crassipes*, *Q. elliptica*, *Q. gentryi*, *Q. laurina*, *Q. obtusata*, *Q. peduncularis* y *Q. scytophylla*; mientras que en climas cálidos subhúmedos están presentes especies como *Q. acutifolia*, *Q. glaucescens*, *Q. glaucoides*, *Q. magnoliifolia*, *Q. salicifolia* y *Q. uxoris*. Por último, una cuarta región, situada entre la FVTM y la DBT, correspondiente a la cota altitudinal menor, representa una zona de transición entre los ambientes templados y cálidos (Rzedowski, 1978), donde se encuentran especies como *Q. elliptica*, *Q. gentryi*, *Q. glaucescens*, *Q. glaucoides*, *Q. salicifolia* y *Q. scytophylla*, a las que se asocian elementos de bosque tropical caducifolio y bosque espinoso.

Consideraciones taxonómicas

En este trabajo se aplicó el cambio nomenclatural propuesto por Valencia-A. et al. (2015) para las especies *Q. acutifolia* y *Q. grahamii*, considerando a *Q. conspersa* como

sinónimo de la primera. Esto se aparta del criterio propuesto por Romero-Rangel et al. (2014) de considerar a *Q. acutifolia* y *Q. conspersa* como especies diferentes, ya que esta última presenta márgenes enteros. Así mismo diferimos del criterio de Romero-Rangel et al. (2014) sobre la presencia de *Q. xalapensis* Bonpl. en el noreste de Michoacán, ya que los ejemplares revisados presentaban hojas lanceoladas y cúpulas con escamas erectas que corresponden a la descripción propuesta por Valencia-A. et al. (2015) para *Q. grahamii*. Además, Martínez-Cabrera et al. (2011) y Valencia-A. et al. (2016) mencionan que *Q. xalapensis* es una especie exclusiva de la vertiente del Golfo de la Sierra Madre Oriental. Por otro lado, después de la revisión de ejemplares reportados por Romero-Rangel et al. (2014) de *Q. greggii*, identificamos que un ejemplar presentaba frutos en un pedúnculo de aproximadamente 4 cm de largo, lo cual es congruente con la descripción de la especie hecha por Valencia-A. et al. (2017).

En la revisión de ejemplares se pudo identificar que hay problemas en determinaciones de *Q. resinosa* y *Q. magnoliifolia*, y se tiene evidencia de ejemplares que pudieran pertenecer a *Q. liebmanii* Oerst. ex Trel., una especie presente en Guerrero y, recientemente reportada en Jalisco. Un caso similar se dio con ejemplares de *Q. salicifolia*, en los que se observaron en algunos ejemplares mechones de tricomas en las axilas de las venas secundarias del envés de la hoja, además de frutos parecidos a *Q. iltisii* L.M. González en registros de baja montaña en la SMS, descripción que coincide con lo reportado por González-Villarreal (2003) para Jalisco. Por último, se debe mencionar que los ejemplares de *Q. elliptica* en la FVTM presentan diferencias con los ejemplares de la SMS, ya que las hojas por el envés no presentan los tricomas en la base de la hoja y peciolos puberulentos. En el Apéndice 1 se detallan algunos otros de los problemas encontrados en el reconocimiento de especies a nivel estatal. Adicionalmente hay especies como *Q. obtusata* y *Q. laeta* que deben revisarse a detalle.

Las razones antes expuestas dan pie a considerar que el conocimiento del género *Quercus* en Michoacán aún dista de ser completo. Revisiones posteriores podrían incrementar el número de especies para el estado; sin embargo, parece que no habrá cambios en el endemismo de la entidad. Además, es importante ampliar el trabajo de campo

en la SMS, ya que el número de ejemplares en el herbario resulta insuficiente para hacer una revisión taxonómica detallada del género en esa región del estado.

En los municipios Tancítaro, Tacámbaro, Los Reyes, Susupuato, Aguililla, Chinicuila y Zitácuaro se esperaría un mayor número de especies a las encontradas aquí considerando la heterogeneidad ambiental que presentan. Se sugiere desarrollar mayor trabajo de campo para tener una estimación más precisa, principalmente en la SMS y DBT.

Contribución de autores

DUS concibió y diseñó el estudio, MLEB y ATM desarrollaron los mapas. ATM realizó los análisis. DUS y ATM contribuyeron con la adquisición e interpretación de los datos. DUS escribió el manuscrito con la ayuda de MLEB y ATM. Todos los autores contribuyeron con la discusión, revisión y aprobación del manuscrito final.

Financiamiento

Este estudio fue apoyado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública, así como por el financiamiento de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), mediante los proyectos PAPIIT IA201015 y PAPIIME PE283517 y PE211118.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los curadores de los herbarios EBUM, ENCB, IEB, INIF y MEXU por brindar las facilidades necesarias para la revisión de los ejemplares de herbario del género *Quercus*. Agradecemos los comentarios y sugerencias realizadas por dos revisores anónimos.

Literatura citada

Arizaga, S., J. Martínez-Cruz, M. Salcedo-Cabrales y M. A. Bello-González. 2009. Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. Instituto Nacional de Ecología - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México. 147 pp.

Bello, M. Á. 2005. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de Michoacán. In: Villaseñor-Gómez, L. E. y O. A. Leal-Nares (eds.). La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Morelia, México. 80 pp.

Bello, G. M. A. y J. N. Labat. 1987. Los encinos (*Quercus*) del Estado de Michoacán, México. Cuadernos de estudios Michoacanos 1. Centre d'études mexicaines et centroamericaines - Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D.F., México. 147 pp.

CONABIO. 1998. Curvas de nivel para la República Mexicana. 1: 250,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. <<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>>

Cué-Bär, E. M., J. L. Villaseñor, L. Arredondo-Amezcuca, G. Cornejo-Tenorio y G. Ibarra-Manríquez. 2006. La flora arbórea de Michoacán, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 78: 47-81.

Durán, C. V. y P. F. Sevilla. 2003. Atlas Geográfico del Estado de Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, El Colegio de Michoacán, Secretaria de Educación en el Estado de Michoacán, Editora y Distribuidora EDDISSA, S.A. de C.V. Morelia, México. 308 pp.

Espinosa-Garduño, J. y S. Rodríguez-Jiménez. 1996. Listado florístico del estado de Michoacán. Sección IV (Angiospermae: Fagaceae, Gramineae, Krameriaceae, Leguminosae). In: Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski (eds.). Flora del Bajío y de regiones adyacentes XII. Instituto de Ecología, A.C. Pátzcuaro, México. 271 pp.

ESRI. 2006. ArcGIS 9.2. Environmental Systems Research Institute. Redlands, CA, USA.

Fernández-Nava, R., C. Rodríguez-Jiménez, M. L. Arreguín-Sánchez y A. Rodríguez-Jiménez. 1998. Listado florístico de la cuenca del Río Balsas, México. Polibotánica 9: 1-151.

Ferrusquía-Villafranca, I. 1998. Geología de México: una sinopsis. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. Pp. 3-108.

González-Rivera, R. 1993. La diversidad de los encinos mexicanos. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural XLIV: 125-142.

González-Villarreal, L. M. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Jalisco. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 240 pp.

González-Villarreal, L. M. 2003. Two new species of oak (Fagaceae, *Quercus* sect. *Lobatae*) from the Sierra Madre del Sur, Mexico.

- Brittonia 55(1): 49-60. DOI: [https://doi.org/10.1663/0007-196x\(2003\)055%5B0049:tnsoof%5D2.0.co;2](https://doi.org/10.1663/0007-196x(2003)055%5B0049:tnsoof%5D2.0.co;2)
- Google Inc., 2015. https://www.google.com.mx/?gws_rd=ss/#q=google+earth+online (consultado junio de 2017).
- Graham, A. 1999. The Tertiary history of the northern temperate element in the northern Latin American biota. *American Journal of Botany* 86(1): 32-38. DOI: <https://doi.org/10.2307/2656952>
- Herrera-Arroyo, M. L., V. L. Sork, A. González-Rodríguez, V. Rocha-Ramírez, E. Vega y K. Oyama. 2013. Seed-mediated connectivity among fragmented populations of *Quercus castanea* (Fagaceae) in a Mexican landscape. *American Journal of Botany* 100(8): 1663-1671. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1200396>
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- INEGI. 2014. Conjunto de datos vectoriales edafológicos. 1: 250,000, serie II (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI. 2015. Uso de suelo y vegetación. 1: 250,000, serie V (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- IPNI. 2012. International Plant Names Index. <http://www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do> (consultado mayo de 2018).
- Kremer, A. 2010. Evolutionary responses of European oaks to climate change. *Irish Forestry* 67: 53-65.
- Linder, H. P. 2001. Plant diversity and endemism in sub-Saharan tropical Africa. *Journal of Biogeography* 28: 169-182. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00527.x>
- Martínez-Cabrera, D., F. Zavala-Chávez y T. Terrazas. 2011. Estudio morfométrico de *Quercus sartorii* y *Q. xalapensis* (Fagaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 551-568. DOI: <https://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.2.459>
- Medina-García, C., G. Cuevas-García, L. F. Gopar-Merino, F. López-Barrera y A. Velázquez-Montes. 2013. Distribución espacial del género *Quercus* en el estado de Michoacán. *Memorias de la XX Reunión Nacional SELPER-MEXICO*, San Luis Potosí, México. http://langif.uaslp.mx/selper/documentos/CD_SELPER_2013/MEMORIAS_SELPER_PDF/Estudios_Tematicos/ID_073.pdf (consultado abril de 2015).
- Morales-Saldaña, S. 2017. Riqueza y distribución del género *Quercus* en la Sierra Madre del Sur, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 88 pp.
- Nixon, K. C. 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annals of Science Forest* 50: 25-34.
- Nixon, K. C. 1998. El género *Quercus* en México. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. Pp. 435-447.
- Nixon, K. C. 2006. Global and Neotropical distribution and diversity of oak (genus *Quercus*) and oak forests. In: Kappelle, M. (ed.). *Ecology and conservation of Neotropical montane oak forests*. Springer. Berlin, Germany. Pp. 3-13.
- Pérez-Mojica, E. y S. Valencia-A. 2017. Estudio preliminar del género *Quercus* (Fagaceae) en Tamaulipas, México. *Acta Botanica Mexicana* 120: 59-111. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm120.2017.1264>
- Ramírez-Toro, W., A. Torres-Miranda, A. González-Rodríguez, E. Ruiz-Sánchez, I. Luna-Vega y K. Oyama. 2017. A multi-criteria analysis for prioritizing areas for conservation of oaks (Fagaceae: *Quercus*) in Oaxaca, southern Mexico. *Tropical Conservation Science* 10: 1-29. DOI: <https://doi.org/10.1177/1940082917714227>
- Romero-Rangel, S., E. C. Rojas-Zenteno y M. L. Aguilar-Enríquez. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89(4): 551-593. DOI: <https://doi.org/10.2307/3298595>
- Romero-Rangel S., E. C. Rojas-Zenteno y L. L. E. Rubio. 2014. Familia Fagaceae. In: Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski (eds.). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes* 181. Instituto de Ecología, A.C. Pátzcuaro, México. 167 pp.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F., México. 492 pp.
- Sabás-Rosales, J. L., J. Sosa-Ramírez y J. J. Luna-Ruiz. 2015. Diversidad, distribución y caracterización básica del hábitat de los encinos (*Quercus*: Fagaceae) del estado de San Luis Potosí, México. *Botanical Sciences* 93: 881-897. DOI: <https://dx.doi.org/10.17129/botsci.205>
- Sánchez, D. G. 1979. El Suroeste de Michoacán. Estructura económica y social, 1821-1851. Colección Historia Nuestra.

- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 143 pp.
- Sánchez, D. G. 1988. El Suroeste de Michoacán: Economía y Sociedad 1852-1910. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 366 pp.
- Torres-Meza, M. de J., A. D. Báez-González, L. H. Maciel-Pérez, E. Quezada-Guzmán y J. S. Sierra-Tristán. 2009. GIS-based modeling of the geographic distribution of *Quercus emoryi* Torr. (Fagaceae) in Mexico and identification of significant environmental factors influencing the species' distribution. *Ecological Modelling* 220: 3599-3611. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.01.018>
- Torres-Miranda, A., I. Luna-Vega y K. Oyama. 2011. Conservation biogeography of red oaks (*Quercus*, section *Lobatae*) in Mexico and Central America. *American Journal of Botany* 98(2): 290-305. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1000218>
- Tovar-Sánchez, E. y K. Oyama. 2004. Natural hybridization and hybrid zones between *Quercus crassifolia* and *Quercus crassipes* (Fagaceae) in Mexico: morphological and molecular evidence. *American Journal of Botany* 91(9): 1352-63. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.91.9.1352>
- Valencia-A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 33-53. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1692>
- Valencia-A., S. y G. Flores-Franco. 2006. Catálogo de autoridades taxonómicas de las fagáceas (Fagaceae: Magnoliopsida) de México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Base de datos Sistema Nacional de Informática de la Biodiversidad - Comisión Nacional para el uso y conocimiento de la Biodiversidad proyecto CS008. México, D.F., México.
- Valencia-A., S., G. Flores-Franco y J. Jiménez-Ramírez. 2015. A nomenclatural revision of *Quercus acutifolia*, *Q. conspersa* and *Q. grahamii* (*Lobatae*, Fagaceae). *Phytotaxa* 218: 289-294. DOI: <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.218.3.7>
- Valencia-A., S., G. Flores-Franco, J. Jiménez-Ramírez y M. Mora-Jarvio. 2017. Distribution and diversity of Fagaceae in Hidalgo, Mexico. *Botanical Sciences* 95: 660-721. DOI: <https://dx.doi.org/10.17129/botsci.1020>
- Valencia-A., S., M. Gómez-Cárdenas y F. Becerra-Luna. 2002. Catálogo de encinos del estado de Guerrero, México. Libro Técnico No.1, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D.F., México. 179 pp.
- Valencia-A., S. y C. K. Nixon. 2004. Encinos. In: García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund. México, D.F., México. Pp. 219-226.
- Valencia-A., S., J. L. Sabas-Rosales y O. J. Soto Arellano. 2016. A new species of *Quercus*, section *Lobatae* (Fagaceae) from the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Phytotaxa* 269: 120-126. DOI: <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.269.2.5>
- Valencia-A., S., A. Coombes y J. L. Villaseñor. 2018. *Quercus candicans* (Fagaceae) is not a *Quercus* but a *Roldana* (Asteraceae). *Phytotaxa* 333: 251-258. DOI: <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.333.2.9>
- Woodburne, M. O. 2010. The great American biotic interchange: dispersals, tectonics, climate, sea level, holding pens. *Journal Mammal Evolution* 17: 245-264. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10914-010-9144-8>
- Zavala, F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica* 8: 47-64.
- Zomer, R. J., D. A. Bossio, A. Trabucco, O. van Straaten y L.V. Verchot. 2008. Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation. *Agriculture Ecosystems and Environment* 126(1-2): 67-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.014>