



## Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México

### Composition, structure and diversity of the cerro El Águila, Michoacán, Mexico

Luis Eduardo Zacarias-Eslava<sup>1</sup>, Guadalupe Cornejo-Tenorio<sup>2</sup>, Jorge Cortés-Flores<sup>2</sup>, Nahú González-Castañeda<sup>2</sup> y Guillermo Ibarra-Manríquez<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta 58190 Morelia, Michoacán, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta 58190 Morelia, Michoacán, México.

\*Correspondencia: gibarra@cieco.unam.mx

**Resumen.** Se describe la composición, estructura y diversidad de la vegetación presente en el cerro El Águila, Michoacán. Se reconocieron fisonómicamente 5 tipos de vegetación y en cada uno se establecieron 16 parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup> (3.2 ha) para censar los individuos leñosos  $\geq 10$  cm d.a.p., con una parcela anidada de 100 m<sup>2</sup> (0.8 ha) para los individuos entre 2.5 y 9.9 cm d.a.p. El muestreo incluyó 46 especies agrupadas en 33 géneros y 21 familias. Los bosques tropical caducifolio y de *Quercus deserticola* tuvieron los valores más bajos de altura promedio ( $< 5$  m) y área basal (17.8 y 26 m<sup>2</sup>/ha, respectivamente), pero una mayor densidad de individuos. En contraste, los bosques de *Q. rugosa* y de *Quercus-Pinus* presentaron la menor densidad, pero los valores mayores de altura promedio ( $> 11$  m) y área basal ( $> 40$  m<sup>2</sup>/ha). La diversidad fue mayor en el bosque tropical caducifolio ( $S=23$  y  $\alpha=5.4$ ) y menor en el de *Quercus-Pinus* ( $S=13$  y  $\alpha=2.71$ ). En general, los tipos de vegetación mostraron diferentes especies dominantes y una alta diversidad beta. La composición y estructura de estas comunidades puede asociarse a cambios en altitud y a la perturbación por actividades humanas. No obstante, la zona de estudio aún presenta áreas en buen estado de conservación, particularmente los bosques templados hacia las zonas con mayor altitud, por lo que se sugiere que en un futuro cercano sea incluida dentro de alguna categoría de protección estatal.

Palabras clave: alfa-Fisher, árboles, área basal, densidad, diversidad beta, índice de Simpson, *Quercus*.

**Abstract.** This study describes composition, structure and diversity of vegetation in the Cerro El Águila, Michoacán. Five plant communities were recognized and for each one all woody individuals  $\geq 10$  cm DBH were tallied in sixteen 400 m<sup>2</sup> circular plots, whereas individuals between 2.5 and 9.9 cm DBH were measured in a 100 m<sup>2</sup> circular subplot centered within each larger plot. A total of 46 species, 33 genera and 21 families were recorded. The tropical deciduous forest and *Quercus deserticola* forest had low values of mean plant height ( $< 5$  m) and basal area (17.8 and 26 m<sup>2</sup>/ha, respectively), but these communities showed the higher density. Forests dominated by *Q. rugosa* and *Quercus-Pinus* had the lowest density but the highest mean height ( $> 11$  m) and basal area ( $> 40$  m<sup>2</sup>/ha). Diversity was greater in the tropical deciduous forest ( $S=23$  and  $\alpha=5.4$ , respectively) and lower in the oak-pine forest ( $S=13$  and  $\alpha=2.71$ ). All communities displayed different dominant species and high beta diversity. Our results suggest that composition and structure could be affected by altitude and human activities. Nevertheless, the Cerro El Águila still has well conservation areas, mainly temperate forests located toward summit zone and we recommend their inclusion in a near future within the state reserve system.

Key words: alfa-Fisher index, trees, basal area, density, beta diversity, Simpson index, *Quercus*.

### Introducción

Los ecosistemas templados en México están catalogados entre los más importantes, tanto por su extensión que comprende 16.9% del territorio nacional (Palacio-Prieto et al., 2000) como por su alta riqueza y elevados porcentajes de endemismo de las especies que componen su flora

y fauna (Rzedowski, 1991; Villaseñor, 2004). En este país también se encuentra la mayor riqueza de especies de *Pinus* (Pinaceae) y *Quercus* (Fagaceae), las cuales se distribuyen preferencialmente en estos ecosistemas (Nixon, 1993; Styles, 1993; Valencia, 2004). Sin embargo, existe una grave amenaza sobre su conservación e integridad funcional debido a que son comunidades muy vulnerables a las actividades antrópicas, entre ellas la extracción de madera, la ganadería y los incendios forestales (Challenger, 1998, 2003). Cabe destacar que la mayoría de los estudios que des-

criben la estructura cuantitativa de la vegetación en México se han centrado en los bosques tropicales y en los mesófilos de montaña, por lo que la información disponible sobre los de zonas templadas es comparativamente escasa.

En el estado de Michoacán se presenta una condición similar, ya que los estudios sobre la vegetación templada se han enfocado principalmente en describir su composición y fisonomía (Labat, 1988; González-Elizondo et al., 1993; Soto-Núñez y Vázquez-García, 1993; Madrigal, 1994; Bello y Madrigal, 1996; Pérez-Calix, 1996; Cornejo-Tenorio et al., 2003; Giménez de Azcárate et al., 2003). Entre los pocos estudios que describen de manera cuantitativa la estructura y diversidad de la vegetación se encuentra el de Espejo-Serna et al. (1992), que presenta datos florísticos, de diversidad y del valor de importancia de las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de la vegetación en la sierra Chincua, en el municipio de Angangueo. Un estudio más extenso es el de Labat (1995), donde se caracterizan las afinidades florísticas y atributos estructurales de la vegetación del noroeste de Michoacán, que incluye bosques de encino, de *Pinus-Quercus*, de *Abies*, mesófilo de montaña y tropical caducifolio.

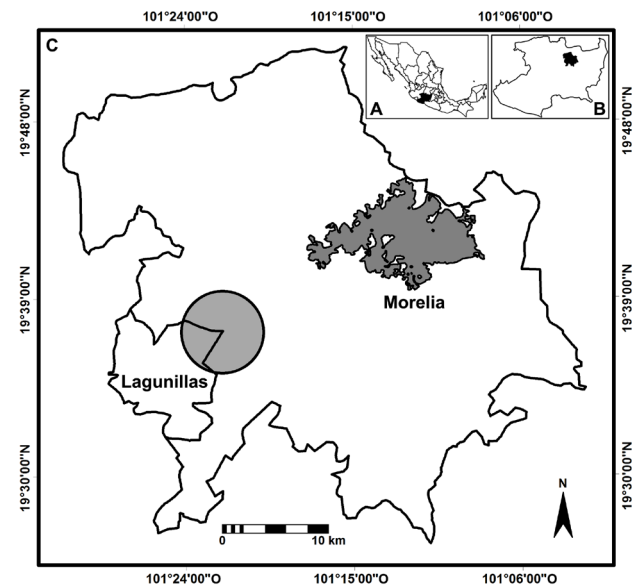
La vegetación que rodea la capital de Michoacán (Morelia) no se ha descrito con detalle, a pesar de que aún cuenta con importantes áreas forestales. Este es el caso del cerro El Águila, ya que alrededor del 70% de su área se encuentra cubierta por vegetación arbórea y/o arbustiva (Bocco et al., 2001). Sin embargo, la cubierta forestal de este cerro está en riesgo debido a la presión negativa ejercida por las actividades económicas de los asentamientos humanos que lo rodean. López-Granados (2006) indica que los “bosques cerrados” en la cuenca del Lago de Cuitzeo, donde se localiza el cerro El Águila, han disminuido su extensión en un 50% durante los últimos 30 años. Por ello, se requiere establecer estrategias para el manejo sustentable de los recursos bióticos que alberga este cerro y los servicios ambientales que proporciona. Una contribución importante hacia este objetivo puede ser aportada por estudios sobre la composición, estructura y diversidad de la vegetación. Esta información podría contribuir, además, a la planeación de actividades de reforestación y de conservación en el área. Por tal motivo, en el presente estudio se describen los tipos de vegetación del cerro El Águila, enfocándose en la composición de especies leñosas, los atributos de estructura cuantitativa (área basal, densidad y valor de importancia de las especies), así como estimaciones sobre su diversidad (alfa y beta).

**Materiales y métodos**

*Área de estudio.* El cerro El Águila se ubica en los municipios de Morelia y Lagunillas, entre los 19°32'30"-19°40'30" N y los 101°16'39"- 101°26'16" O, con una extensión aproximada de 163.2 km<sup>2</sup> y un intervalo altitudi-

nal de 1 900 a 3 080 m snm. (Fig. 1); está dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, subprovincia Meseta Tarasca (INEGI, 2007) y presenta un paisaje geomorfológico compuesto por planicies, piedemonte bajo, medio y superior, y laderas con pendientes suaves, inclinadas y escarpadas. Geológicamente, el área presenta rocas ígneas con suelos de tipo andosol, acrisol, luvisol, litosol, feozem y vertisol (Bocco et al., 1999). De acuerdo con los datos de la estación meteorológica Cointzio y con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (2004), la zona de estudio presenta un clima templado con verano fresco largo, subhúmedo (Cb(w<sub>1</sub>)(w)) con una estación húmeda de junio a septiembre. La temperatura media anual es de 17.6°C y la precipitación de 791.6 mm anuales.

Por medio de recorridos en campo se delimitaron 5 tipos de vegetación que difirieron en su fisonomía, altura y composición de especies. En cada uno de éstos se establecieron 16 parcelas circulares (400 m<sup>2</sup> cada una), dentro de las cuales se estableció una parcela similar, pero únicamente de 100 m<sup>2</sup>. En las parcelas de mayor superficie se identificaron y se midieron los individuos leñosos ≥10 cm de diámetro a 1.3 m de altura con respecto al suelo (d.a.p), mientras que en las parcelas más pequeñas se censaron todos los individuos leñosos con un d.a.p. ≥ 2.5 y <10 cm. La altura de los individuos fue estimada con un Laser Rangefinder (Opti-logic modelo 400LH). La apertura del dosel fue medida con un



**Figura 1.** A), ubicación del estado de Michoacán en México; B), localización de los municipios Lagunillas y Morelia, donde se encuentra la zona de estudio; C), ubicación del cerro El Águila (círculo en color gris) y límites aproximados de la ciudad de Morelia (área irregular en color gris oscuro).

densiómetro esférico modelo A. Es importante señalar que el muestreo se realizó a principios de la temporada seca del año, por lo que la mayoría de los individuos caducifolios presentes en los distintos tipos de vegetación aún conservaban su follaje. La inclinación del terreno se determinó con un clinómetro incluido en una brújula Brunton y el porcentaje de suelo cubierto por rocas se estimó en un transecto de  $22.3 \times 2$  metros.

Se calculó la densidad (ind./ha), el área basal ( $m^2/ha$ ), la frecuencia (número de parcelas en las cuales se presentaba cada especie), la altura promedio de todos los individuos (m) y la altura máxima (m). Esta última se estimó tomando al individuo más alto de cada parcela. También se calculó el índice del valor de importancia relativo (VIR) de las especies por cada tipo de vegetación, el cual se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$VIR = (FR + DR + ABR) / 3$$

donde, *FR* es la frecuencia relativa, *DR* la densidad relativa y *ABR* el área basal relativa, (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Krebs, 1978; Kent y Coker, 1994).

Además, por medio de un transecto de  $5 \times 100$  m se elaboraron perfiles de vegetación de cada una de las comunidades reconocidas fisonómicamente. De todas las especies leñosas  $\geq 2.5$  cm de d.a.p. que enraizaban dentro de éstos, se tomó nota de lo siguiente: posición, altura total, altura a la primera ramificación, d.a.p., así como el diámetro mayor de la copa y el perpendicular a éste.

La diversidad alfa de cada tipo de bosque se determinó con el índice  $\alpha$ -Fisher y con el de Simpson. El primero representa aproximadamente el número de especies con un individuo y tiene la ventaja de que su valor no se afecta por el tamaño de la muestra cuando el número de individuos muestreados es mayor de 1 000; además, permite hacer comparaciones de diversidad con otros estudios donde se usaron áreas de muestreo que difieren en tamaño (Magurran, 2004). El índice de diversidad de Fisher ( $\alpha$ ) considera el número total, tanto de especies (S) como de individuos (N), y su fórmula es:

$$S = \alpha \ln \frac{1 + N}{\alpha}$$

El índice de dominancia de Simpson (D) indica la probabilidad de que 2 individuos seleccionados al azar de una comunidad sean de la misma especie, de manera que su valor se afecta por el número de individuos de las que son más abundantes; ésta se considera una de las medidas de diversidad más robustas (Magurran, 2004). Para poblaciones finitas se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = \sum \frac{n_i [n_i - 1]}{N [N - 1]}$$

donde  $n_i$  es el número de individuos de la *i*-ésima especie y *N* es el número total de individuos.

La diversidad beta entre los tipos de vegetación se determinó con el índice de Jaccard, el cual utiliza datos de presencia y ausencia de las especies; este índice indica la proporción de las que son compartidas entre 2 tipos de vegetación. La fórmula para calcularlo es:

$$C_j = \frac{j}{a + b + j}$$

donde *j* se refiere al número de especies presentes en ambos bosques, *a* es el número de especies que se presentan únicamente en la muestra 1 y *b* son las exclusivas de la muestra 2. La diversidad beta también se calculó con el índice de Bray y Curtis, donde la similitud entre 2 comunidades se mide a partir de la abundancia de las especies y cuyo cálculo se obtiene a partir de la siguiente fórmula (Magurran, 2004):

$$C_N = \frac{2jN}{(N_a + N_b)}$$

donde  $N_a$  y  $N_b$  indican el número de individuos en el tipo de vegetación *a* y *b*, respectivamente, mientras que  $2jN$  se refiere a la suma de las abundancias de las especies con menor número de individuos en ambos bosques. De acuerdo con Magurran (2004), el intervalo de valores de ambos índices varía de 0 (no hay especies compartidas) a 1 (ambos sitios tienen la misma composición de especies). Todos los índices de diversidad se obtuvieron con el programa Estimate versión 7.5.2 (Colwell, 2005).

Finalmente, se obtuvieron curvas de dominancia con base en la densidad de las especies y para determinar a cuál de los 4 modelos de abundancia se ajustaban (vara quebrada, log normal, log serie y serie geométrica), se utilizó el software PAST versión 1.97 (Hammer et al., 2001). Este programa calcula la probabilidad de ajuste a cada modelo por medio de una prueba de  $X^2$ .

## Resultados

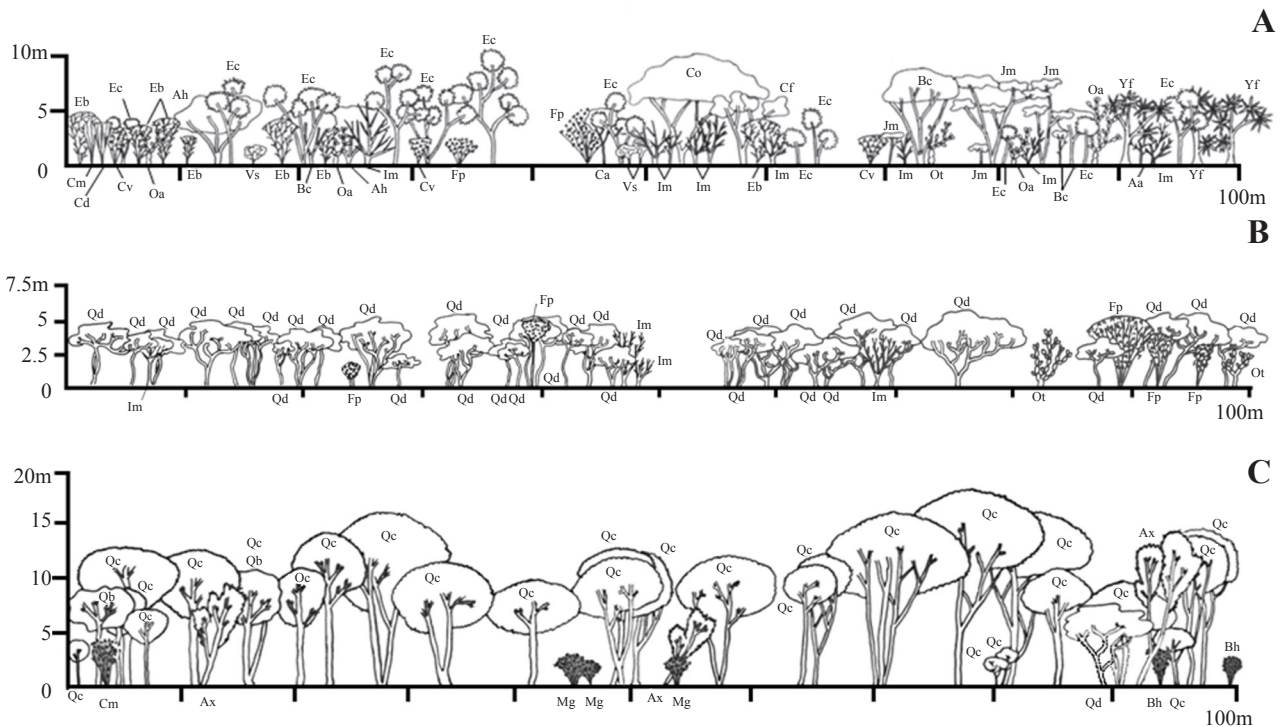
La vegetación del cerro El Águila presenta distintas especies dominantes y debido a esto se reconocieron fisonómicamente 5 tipos de vegetación (Apéndice 1): bosque tropical caducifolio, bosque de *Quercus deserticola*, bosque de *Q. castanea-Q. obtusata*, bosque de *Q. rugosa* y bosque

de *Quercus-Pinus*. En el censo de estas comunidades se registraron 46 especies de árboles y arbustos, incluidas en 33 géneros y 21 familias (Apéndice 1), entre las que destacan Fagaceae y Asteraceae como las familias con mayor número de especies (7 cada una), seguidas por Pinaceae y Fabaceae (4 cada una), mientras que los géneros más relevantes al respecto son *Pinus* y *Quercus*. Ninguna de las especies censadas se localizó en los 5 tipos de vegetación, pero sí en nivel de género en el caso de *Quercus* (Fagaceae) y en el de familia, Asteraceae y Fagaceae (Apéndice 1). El bosque tropical caducifolio comparte con el de *Q. deserticola* 15 de sus 23 especies y 12 de ellas son exclusivas de ambos tipos de vegetación. Los otros 3 tipos de bosque de encino comparten 21 especies (Apéndice 1).

El bosque tropical caducifolio es una comunidad con dosel cerrado en un 17%; se establece sobre suelos con alto porcentaje de rocas superficiales (42%) y pendientes ligeras (<10°), entre 1 900 y 2 300 m snm. A partir de esta última altitud es posible encontrar bosque de *Q. deserticola* y de *Q. castanea-Q. obtusata*. El primero de éstos se ubica hasta los 2 400 m en la ladera E y hasta los 2 500 m en la de exposición sur, sobre suelos pedregosos (31%), pendientes moderadas

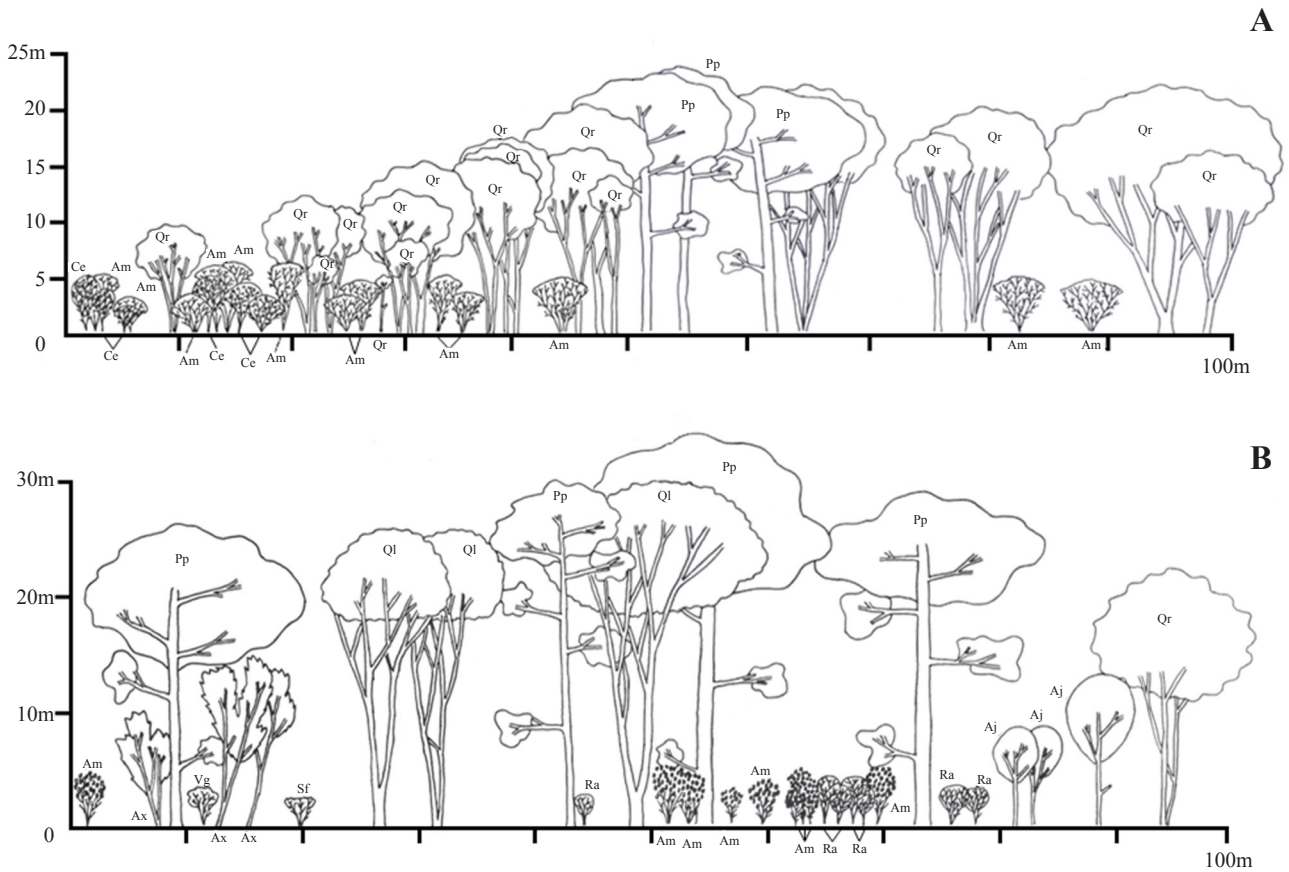
(19°) y con el dosel cerrado en un 50%. Por su parte, el bosque de *Q. castanea-Q. obtusata* alcanza la cota de los 2 600 metros. La dominancia de las especies de este tipo de vegetación parece diferir con respecto a la exposición, ya que *Q. obtusata* predomina en las localidades orientadas hacia el norte, mientras que *Q. castanea* en las expuestas al sur. Este bosque tiene una inclinación del terreno de 18° y una cobertura del dosel del 51%. Estos valores son semejantes a los del bosque de *Q. deserticola*, pero a diferencia de éste, el porcentaje de rocas superficiales es bajo (7%).

En seguida de la comunidad de *Q. castanea-Q. obtusata* se establece el bosque de *Q. rugosa*, el cual alcanza la cota altitudinal de 2 700 m en las laderas N y O, mientras que en los sitios de exposición S y E se extiende hasta los 2 800 m, en terrenos moderadamente inclinados (24°), con suelos que en la superficie son poco pedregosos (7%), y con un dosel cerrado en un 50%. En las partes más altas y con pendientes mayores a 24° se establece el bosque de *Quercus-Pinus*, sobre terrenos poco pedregosos (5%) y que, a diferencia de las otras coberturas, posee un dosel muy cerrado (71%). Los perfiles de vegetación de las 5 comunidades se muestran en las figuras 2 y 3.



**Figura 2.** Perfil esquemático del bosque tropical caducifolio (A), bosque de *Q. deserticola* (B) y bosque de *Q. castanea-Q. obtusata* (C) en el cerro El Águila. Abreviaturas de las especies: Aa, *Acnistus arborescens*; Ah, *Aralia humilis*; Ax, *Arbutus xalapensis*; Bc, *Bursera cuneata*; Bh, *Baccharis heterophylla*; Ca, *Croton adspersus*; Cd, *Celtis caudata*; Cf, *Cestrum fulvescens*; Cm, *Crataegus mexicana*; Co, *Cedrela dugesii*; Cv, *Condalia velutina*; Eb, *Erythrina breviflora*; Ec, *Euphorbia calyculata*; Fp, *Forestiera phillyreoides*; Im, *Ipomoea murucoides*; Jm, *Jacaranda mimosifolia*; Mg, *Montanoa grandiflora*; Oa, *Opuntia atropes* Ot, *Opuntia tomentosa*; Qb, *Quercus obtusata*; Qc, *Q. castanea*; Qd, *Q. deserticola*; Yf, *Yucca filifera*; Vs, *Verbesina sphaerocephala*.





**Figura 3.** Perfil esquemático del bosque de *Q. rugosa* (A) y bosque de *Quercus-Pinus* (B) en el área de estudio. Abreviaturas de las especies: Aj, *Alnus jorullensis*; Am, *Ageratina mairietiana*; Ax, *Arbutus xalapensis*; Ce, *Ceanothus caeruleus*; Pp, *Pinus pseudostrobus*; Ql, *Quercus laurina*; Qr, *Q. rugosa*; Ra, *Roldana albonervia*; Vg, *Verbesina grayii*.

La riqueza de especies difiere entre los distintos tipos de bosques; es mayor en el bosque tropical caducifolio (23 especies) y disminuye gradualmente hasta llegar a 13 especies en el de *Quercus-Pinus* (Cuadro 1). El índice  $\alpha$ -Fisher revela un patrón semejante al de la riqueza de especies: su valor es mayor en el bosque tropical caducifolio (5.42) y menor en el de *Quercus-Pinus* (2.71). Por su parte, el índice de dominancia de Simpson muestra que el bosque de *Q. deserticola* es una comunidad fuertemente dominada (0.45) por esta especie y que la más equitativa es la del bosque tropical caducifolio (0.12).

Los índices usados para estimar la diversidad beta entre los tipos de vegetación en la zona de estudio indican un alto recambio de especies (Cuadro 2), puesto que en ambos predominan los valores bajos de similitud, e incluso hay pares de bosques que presentan una composición florística completamente distinta (valor de cero). El índice de Jaccard muestra que el bosque tropical caducifolio y el de *Q. deserticola* (0.60) son los más similares entre sí. El índice de Bray-Curtis confirma este resultado,

ya que la complementariedad entre ambas comunidades es la segunda más baja (0.39) y únicamente los bosques de *Q. rugosa* y *Quercus-Pinus* poseen una mayor similitud (0.48).

Las curvas de dominancia de los distintos tipos de vegetación muestran una clara diferencia entre la densidad de la primera especie y la que presenta el resto de especies con las que cohabitan, lo que es particularmente evidente en los bosques de *Q. deserticola* y *Q. rugosa* (Cuadro 3). La prueba de  $\chi^2$  reveló que todas las curvas se ajustan a una distribución tipo log normal (Fig. 4). Las especies con mayor VIR son distintas entre los tipos de vegetación (Cuadro 3). Sin embargo, algunas son importantes en bosques adyacentes; por ejemplo, en el bosque tropical caducifolio *Ipomoea murucoides* (VIR= 22.1) y *Forestiera phillyreoides* (VIR= 14) son las más importantes, mientras que en el bosque de *Q. deserticola* ocupan la segunda y tercera posición (VIR= 13.6 y 10.6, respectivamente). Otro ejemplo es el de *Q. deserticola*, que en el bosque de *Q. castanea-Q. obtusata*, es la tercera más importante (VIR= 8.3).

**Cuadro 1.** Atributos de diversidad y estructura de los tipos de vegetación del cerro El Águila, Michoacán, México\*

<i>Atributos</i>	<i>BTC</i>	<i>BQD</i>	<i>BCO</i>	<i>BQR</i>	<i>BQP</i>
Estructura					
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	<u>17.83</u> (1.51)	25.97 (3.11)	24.15 (1.61)	40.39 (6.68)	<b>60.17</b> (4.28)
Densidad (ind./ha)	<b>1 269</b> (98)	1 106 (111)	<u>738</u> (98)	941 (128)	797 (134)
Altura máxima (m)	7.04 (0.47)	<u>6.84</u> (0.38)	14.01 (0.94)	18.86 (0.91)	<b>29.56</b> (1.57)
Altura promedio (m)	<u>4.11</u> (0.13)	4.76 (0.24)	9.07 (0.55)	11.37 (0.7)	<b>16.89</b> (1.56)
Diversidad					
Número de especies	<b>23</b>	17	18	15	<u>13</u>
Índice $\alpha$ -Fisher	<b>5.42</b>	3.43	4	3.12	<u>2.71</u>
Índice de Simpson	<u>0.12</u>	<b>0.45</b>	0.24	0.29	0.18

\*BTC, bosque tropical caducifolio; BQD, bosque de *Quercus deserticola*; BCO, bosque de *Q. castanea-Q. obtusata*; BQR, bosque de *Q. rugosa*; BQP, bosque de *Quercus-Pinus*. Cifras entre paréntesis: error estándar de la media; en negritas: los valores más altos; subrayadas: los más bajos.

**Cuadro 2.** Diversidad beta de los 5 bosques del cerro El Águila, Michoacán, México\*

<i>Tipo de vegetación</i>	<i>BTC</i>	<i>BQD</i>	<i>BCO</i>	<i>BQR</i>	<i>BQP</i>
Bosque tropical caducifolio (BTC)	*	<b>0.60</b>	0.11	0.03	0
Bosque de <i>Quercus deserticola</i> (BQD)	0.39	*	0.17	0	0
Bosque de <i>Q. castanea-Q. obtusata</i> (BCO)	0.10	0.11	*	0.44	0.24
Bosque de <i>Q. rugosa</i> (BQR)	0.01	0	0.17	*	0.47
Bosque de <i>Quercus-Pinus</i> (BQP)	0	0	0.09	<b>0.48</b>	*

Los resultados del índice de Jaccard se localizan en la diagonal del extremo superior derecho y los del índice de Bray-Curtis, en la del extremo inferior izquierdo. En negritas se indican los valores más altos de similitud.

**Cuadro 3.** Valores de importancia de las especies leñosas de los tipos de vegetación reconocidos en el cerro El Águila, Michoacán, México\*

<i>Especie</i>	<i>AB</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>VIR</i>
Bosque tropical caducifolio				
<i>Ipomoea murucoides</i>	4.86 (9.1)	305 (8.0)	16 (5.0)	22.12
<i>Forestiera phillyreoides</i>	2.24 (4.2)	219 (5.8)	13 (4.1)	14.02
<i>Euphorbia calyculata</i>	2.40 (4.5)	122 (3.2)	6 (1.9)	9.57
<i>Condalia velutina</i>	1.08 (2.0)	130 (3.4)	10 (3.1)	8.57
<i>Opuntia atropes</i>	2.08 (3.9)	56 (1.5)	8 (2.5)	7.89
Otras especies (18)	5.17 (9.7)	438 (11.5)	53 (16.7)	37.83
<b>Total</b>	<b>17.83</b>	<b>1 269</b>	<b>106</b>	<b>100</b>
Bosque de <i>Q. deserticola</i>				
<i>Quercus deserticola</i>	18.24 (23.4)	570 (17.2)	16 (7.0)	47.61
<i>Ipomoea murucoides</i>	3.42 (4.4)	147 (4.4)	11 (4.8)	13.64
<i>Forestiera phillyreoides</i>	0.92 (1.2)	138 (4.1)	12 (5.3)	10.59
<i>Bursera cuneata</i>	0.84 (1.1)	47 (1.4)	6 (2.6)	5.12
<i>Opuntia tomentosa</i>	0.83 (1.1)	17 (0.5)	7 (3.1)	4.65
Otras especies (12)	1.72 (2.2)	188 (5.6)	24 (10.4)	18.38
<b>Total</b>	<b>25.97</b>	<b>1 106</b>	<b>76</b>	<b>100</b>

Cuadro 3. Continúa

Especie	AB	D	F	VIR
Bosque de <i>Q. castanea-Q. obtusata</i>				
<i>Quercus castanea</i>	9.89 (13.6)	264 (11.9)	13 (6.8)	32.35
<i>Quercus obtusata</i>	7.17 (9.9)	147 (6.6)	12 (6.3)	22.79
<i>Quercus deserticola</i>	1.14 (1.6)	103 (4.7)	4 (2.1)	8.32
<i>Arbutus xalapensis</i>	1.17 (1.6)	47 (2.1)	8 (4.2)	7.90
<i>Quercus candicans</i>	1.82 (2.5)	13 (0.6)	3 (1.6)	4.65
Otras especies (13)	2.96 (4.1)	164 (7.4)	24 (12.5)	24.00
<b>Total</b>	<b>24.15</b>	<b>738</b>	<b>64</b>	<b>100</b>
Bosque de <i>Q. rugosa</i>				
<i>Quercus rugosa</i>	14.62 (12.1)	366 (13.0)	15 (6.6)	31.60
<i>Quercus crassipes</i>	11.76 (9.7)	75 (2.7)	11 (4.8)	17.19
<i>Ageratina mairretiana</i>	0.30 (0.3)	138 (4.9)	8 (3.5)	8.63
<i>Ceanothus caeruleus</i>	0.20 (0.2)	138 (4.9)	4 (1.8)	6.79
<i>Quercus candicans</i>	4.33 (3.6)	27 (1.0)	5 (2.2)	6.71
Otras especies (10)	9.17 (7.6)	198 (7.0)	33 (14.5)	29.08
<b>Total</b>	<b>40.39</b>	<b>941</b>	<b>76</b>	<b>100</b>
Bosque de <i>Quercus-Pinus</i>				
<i>Quercus laurina</i>	17.31 (9.6)	141 (5.9)	13 (6.4)	21.84
<i>Quercus rugosa</i>	11.97 (6.6)	161 (6.7)	12 (5.9)	19.24
<i>Pinus pseudostrubus</i>	19.22 (10.7)	58 (2.4)	10 (4.9)	17.97
<i>Lippia mexicana</i>	0.22 (0.1)	163 (6.8)	7 (3.4)	10.35
<i>Clethra mexicana</i>	2.02 (1.1)	64 (2.7)	7 (3.4)	7.23
Otras especies (8)	9.44 (5.2)	211 (8.8)	19 (9.3)	23.36
<b>Total</b>	<b>60.17</b>	<b>797</b>	<b>68</b>	<b>100</b>

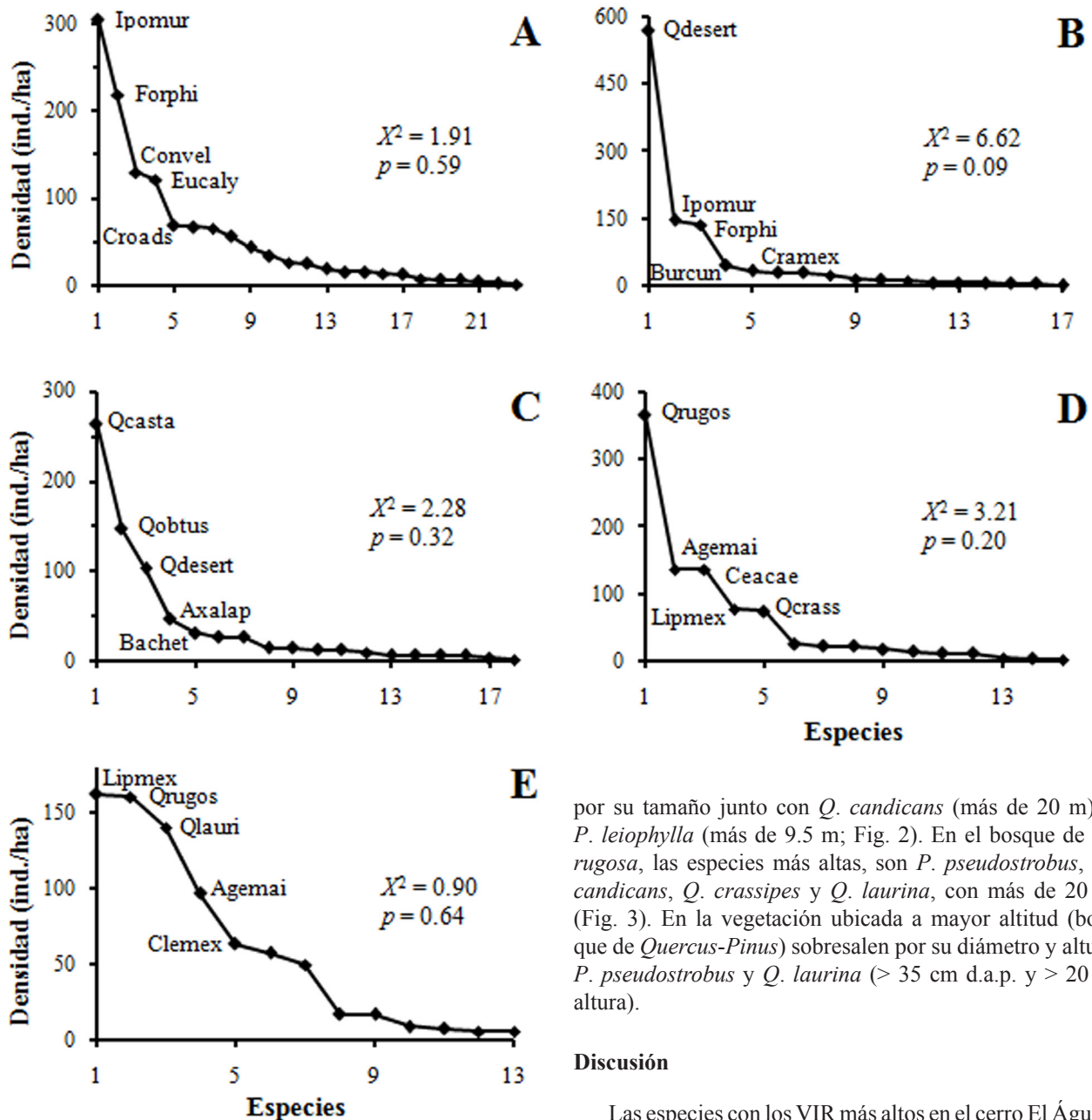
Entre paréntesis se indican los valores relativos de los atributos. Abreviaturas: AB (área basal, m<sup>2</sup>/ha), D (densidad, ind./ha), F (frecuencia) y VIR (valor de importancia relativo).

En general, la especie con mayor VIR en cada comunidad es la que tiene mayor densidad de individuos y mayor área basal (*I. muruoides*, *Q. castanea*, *Q. deserticola* y *Q. rugosa*), excepto en el bosque de *Quercus-Pinus*, donde *Q. laurina* únicamente tiene el mayor valor de área basal, ya que es superada en densidad por *Lippia mexicana* y *Q. rugosa* (Fig. 5, Cuadro 3). No obstante, el aporte de cada componente (área basal, densidad y frecuencia) al total del VIR difiere entre las 5 especies con mayor VIR (Fig. 5). Como tendencia general, la frecuencia es la que presenta los valores más bajos, salvo algunas excepciones (e. g. *Arbutus xalapensis*, *Bursera cuneata*, *F. phillyreoides* y *Opuntia tomentosa*). En algunas otras especies, el área basal tiene mayor contribución al VIR; por ejemplo, *Pinus pseudostrubus*, *Q. candicans*, *crassipes*, *Q. laurina* y *Q. obtusata*. Por otra parte, *Ageratina mairretiana*, *Ceanothus caeruleus* y *L. mexicana* destacan por su abundancia.

Al comparar las estructuras diamétricas entre los tipos de vegetación en la zona de estudio se separan claramente 2 grupos, tomando como base la clase diamétrica que

posee más individuos (Fig. 6): i) los bosques tropical caducifolio, de *Q. rugosa* y de *Quercus-Pinus*, con diámetros menores de 5 cm, y ii) el bosque de *Q. deserticola* y el de *Q. castanea-Q. obtusata*, con valores de entre 10.1 y 15 cm. La figura 6 también permite observar que el bosque de *Quercus-Pinus* es el que presenta la mayor abundancia de individuos que sobrepasan los 50 cm de d.a.p.

La densidad de individuos tiende a disminuir conforme se incrementa la altitud, ya que oscila de 1 269 ind./ha ( $\pm 98$  E. E.) en el bosque tropical caducifolio a 797 ind./ha ( $\pm 134$  E. E.) en el de *Quercus-Pinus* (Cuadro 1). Con respecto a los valores de área basal, altura promedio y máxima, la tendencia es contraria. Por ejemplo, el área basal del bosque tropical caducifolio es de 17.83 ( $\pm 1.51$  E. E.) m<sup>2</sup>/ha y aumenta a 60.17 ( $\pm 4.28$  E. E.) m<sup>2</sup>/ha en el de *Quercus-Pinus*. Las especies más altas y con los troncos más gruesos en los 2 tipos de vegetación ubicados a menor altitud son *Bursera cuneata*, *Euphorbia calyculata*, *I. muruoides* y *Q. deserticola* (Fig. 2). En el bosque de *Q. castanea-Q. obtusata*, estas especies destacan también



**Figura 4.** Curvas de dominancia de los tipos de vegetación del cerro El Águila utilizando datos de densidad de las especies. A), bosque tropical caducifolio; B), bosque de *Q. deserticola*; C), bosque de *Q. castanea-Q. obtusata*; D), bosque de *Q. rugosa* y E), bosque de *Quercus-Pinus*. Abreviaturas de las especies: Agemai, *Ageratina mairetiana*; Axalap, *Arbutus xalapensis*; Bachet, *Baccharis heterophylla*; Burcun, *Bursera cuneata*; Ceacae, *Ceanothus caeruleus*; Clemex, *Clethra mexicana*; Convel, *Condalia velutina*; Cramex, *Crataegus mexicana*; Croads, *Croton adspersus*; Eucaly, *Euphorbia calyculata*; Forphi, *Forestiera phillyreoides*; Ipomur, *Ipomoea murucoides*; Lipmex, *Lippia mexicana*; Qcasta, *Quercus castanea*; Qcrass, *Q. crassipes*; Qdeser, *Q. deserticola*; Qlauri, *Q. laurina*; Qobtus, *Q. obtusata* y Qrugos, *Q. rugosa*.

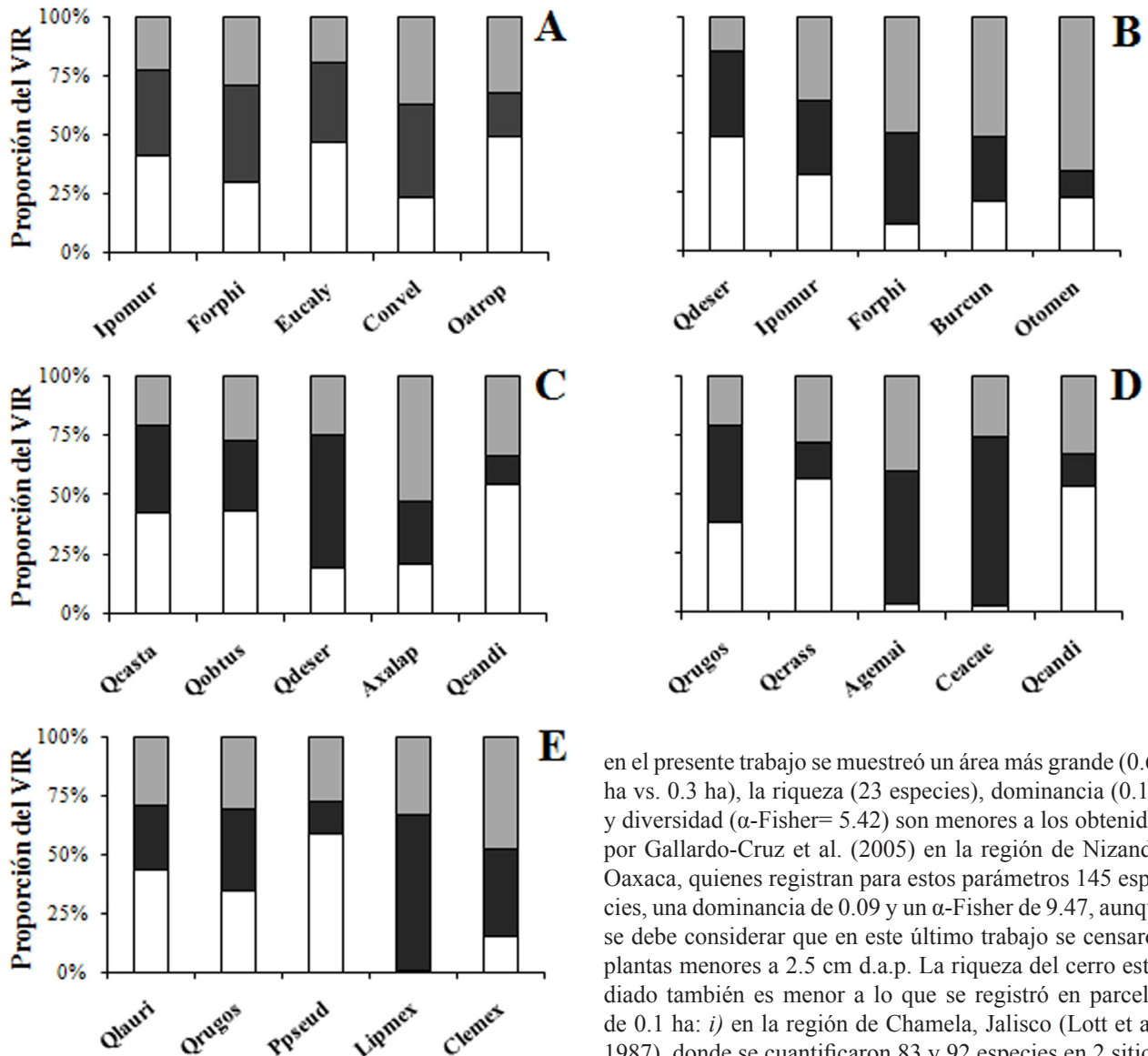
por su tamaño junto con *Q. candicans* (más de 20 m) y *P. leiophylla* (más de 9.5 m; Fig. 2). En el bosque de *Q. rugosa*, las especies más altas, son *P. pseudostrobus*, *Q. candicans*, *Q. crassipes* y *Q. laurina*, con más de 20 m (Fig. 3). En la vegetación ubicada a mayor altitud (bosque de *Quercus-Pinus*) sobresalen por su diámetro y altura *P. pseudostrobus* y *Q. laurina* (> 35 cm d.a.p. y > 20 m altura).

**Discusión**

Las especies con los VIR más altos en el cerro El Águila también se mencionan como elementos sobresalientes en otros bosques del estado de Michoacán. Entre éstas se encuentran *Alnus jorullensis*, *Arbutus xalapensis*, *Clethra mexicana*, *Forestiera phillyreoides*, *I. murucoides*, *P. pseudostrobus*, *Q. candicans*, *Q. castanea*, *Q. deserticola*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* y *Q. rugosa* (Labat, 1988, 1995; Espejo-Serna et al., 1992; Soto-Núñez y Vázquez-García, 1993; Madrigal, 1994; Bello y Madrigal, 1996; Pérez-Calix, 1996; Giménez de Azcárate et al., 2003).

El bosque tropical caducifolio en el sitio de estudio tiene valores más bajos de riqueza y diversidad cuando se comparan a los mencionados en estudios previos. Aún cuando

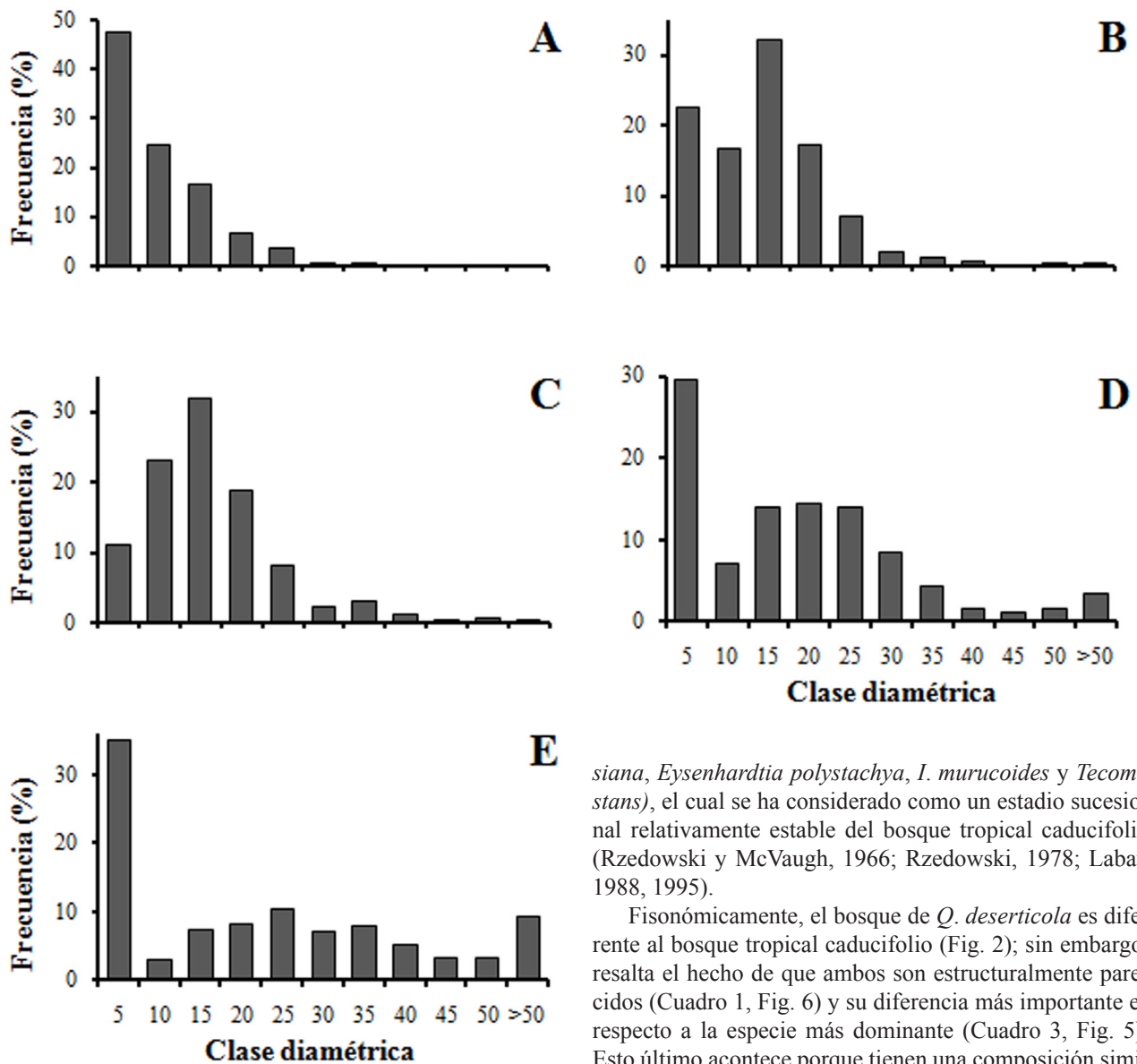




**Figura 5.** Valor de importancia (VIR, en una escala de 0 a 100) y sus 3 componentes (área basal, color blanco; densidad, color negro; frecuencia; color gris) de las 5 especies más importantes en: A, bosque tropical caducifolio; B, bosque de *Q. deserticola*; C, bosque de *Q. castanea-Q. obtusata*; D, bosque de *Q. rugosa* y E, bosque de *Quercus-Pinus*. Abreviaturas de las especies: Agemai, *Ageratina mairetiana*; Axalap, *Arbutus xalapensis*; Burcun, *Bursera cuneata*; Ceacae, *Ceanothus caeruleus*; Clemex, *Clethra mexicana*; Convel, *Condalia velutina*; Eucaly, *Euphorbia calyculata*; Forphi, *Forestiera phillyreoides*; Ipomur, *Ipomoea murucoides*; Lipmex, *Lippia mexicana*; Oatrop, *Opuntia atropes*; Otomen, *O. tomentosa*; Ppseud, *Pinus pseudostrobus*; Qcandi, *Quercus candicans*; Qcasta, *Q. castanea*; Qcrass, *Q. crassipes*; Qdeser, *Q. deserticola*; Qlauri, *Q. laurina*; Qobtus, *Q. obtusata* y Qrugos, *Q. rugosa*.

en el presente trabajo se muestreó un área más grande (0.64 ha vs. 0.3 ha), la riqueza (23 especies), dominancia (0.12) y diversidad ( $\alpha$ -Fisher= 5.42) son menores a los obtenidos por Gallardo-Cruz et al. (2005) en la región de Nizanda, Oaxaca, quienes registran para estos parámetros 145 especies, una dominancia de 0.09 y un  $\alpha$ -Fisher de 9.47, aunque se debe considerar que en este último trabajo se censaron plantas menores a 2.5 cm d.a.p. La riqueza del cerro estudiado también es menor a lo que se registró en parcelas de 0.1 ha: *i*) en la región de Chamela, Jalisco (Lott et al., 1987), donde se cuantificaron 83 y 92 especies en 2 sitios; *ii*) a lo largo de México (Trejo y Dirzo, 2002) se detectaron entre 37 y 97 especies en 20 sitios, y 22 especies leñosas en un solo sitio de Calipan, Puebla, y *iii*) en el municipio de Zirándaro, Guerrero (Pineda-García et al., 2007), donde se encontraron entre 36 y 50 especies en 4 sitios.

No obstante, habría que considerar que en estudios de vegetación a lo largo de gradientes altitudinales se ha observado que la altitud tiene un efecto negativo sobre la riqueza (Lieberman et al., 1996; Vázquez y Givnish, 1998; Gould et al., 2006). En México, el bosque tropical caducifolio alcanza los 2000 m (Rzedowski, 1978; Trejo y Dirzo, 2002). En consecuencia, esta comunidad se encuentra en el área de estudio dentro de esta cota límite (1 900 a 2 300 m snm) y es probable que ahí se presente, en alguna medida, la relación inversa entre la altitud y la riqueza de especies.



**Figura 6.** Estructura diamétrica de las plantas leñosas del cerro El Águila. A), bosque tropical caducifolio; B), bosque de *Q. deserticola*; C), bosque de *Q. castanea-Q. obtusata*; D), bosque de *Q. rugosa* y E), bosque de *Quercus-Pinus*.

Estos resultados también podrían atribuirse a que entre los 5 tipos de vegetación estudiados, éste es el más cercano a los poblados, por lo que es más frecuente observar al ser humano en actividades de aprovechamiento, especialmente recolección de leña y pastoreo de ganado (caballar, caprino y vacuno) o en zonas contiguas usadas para cultivo (e.g. maíz o haba). La composición de especies también apunta en esta última dirección, ya que incluye las típicas del matorral subtropical (*Acacia pennatula*, *A. farne-*

*siana*, *Eysenhardtia polystachya*, *I. murucoides* y *Tecoma stans*), el cual se ha considerado como un estadio sucesional relativamente estable del bosque tropical caducifolio (Rzedowski y McVaugh, 1966; Rzedowski, 1978; Labat, 1988, 1995).

Fisonómicamente, el bosque de *Q. deserticola* es diferente al bosque tropical caducifolio (Fig. 2); sin embargo, resalta el hecho de que ambos son estructuralmente parecidos (Cuadro 1, Fig. 6) y su diferencia más importante es respecto a la especie más dominante (Cuadro 3, Fig. 5). Esto último acontece porque tienen una composición similar, lo cual permite sugerir que el bosque de *Q. deserticola* es un estado transicional entre la vegetación tropical (bosque tropical caducifolio) y los otros bosques templados delimitados en este estudio. También Labat (1995) registró este tipo de transición en la depresión del río Lerma; señala que *Q. deserticola* y *Q. laeta* son escasas en bosques que consideró sucesionalmente más avanzados y que de manera particular la primera especie se adapta bien en zonas abiertas, con evidencias de intenso aprovechamiento por recolecta de leña, gracias a su gran capacidad de regeneración por rebrotes. Como evidencia de lo anterior, este autor menciona que en los sitios de su estudio la mayoría de los individuos se ramificaban a baja altura o a nivel del suelo, situación similar a la que se observa en varias zonas del bosque de *Q. deserticola* del cerro El Águila.

Los bosques de *Quercus* y *Quercus-Pinus* tienen valores de altura, densidad, área basal y riqueza semejantes a los de otros bosques templados de México. Los valores de área basal obtenidos en el presente estudio varían de 24.15 a 60.17 m<sup>2</sup>/ha, en tanto que los citados en el Apéndice 2 están entre 17.3 y 67 m<sup>2</sup>/ha. La densidad de individuos del cerro El Águila (738 a 1 106 ind./ha), se encuentra dentro de la amplitud de valores (614 a 1 246 ind./ha) obtenida por Labat (1995), González-Tagle et al. (2008) y Martínez-Cruz et al. (2009). Por el contrario, Ramírez-Marcial et al. (2001) y Encina-Domínguez et al. (2009) estiman, en conjunto, un intervalo mayor (1 582-2 717 ind./ha). Por otra parte, aunque es muy variable, se propone una altura superior a los 20 m para los árboles del dosel (Sánchez-Córdova y Chacón-Sotelo, 1986; Madrigal, 1994), con un valor promedio de 8.1 m (González-Tagle et al., 2008). El bosque de *Q. deserticola* es el único que presenta alturas inferiores (4.7 en promedio y 6.8 m máxima) a las de los estudios mencionados. La riqueza de especies también es similar, ya que en el cerro El Águila varía de 13 a 18 (en 0.64 ha) y agrupando los 4 tipos de bosque es de 28 especies (en 2.56 ha); en los trabajos consultados en el Apéndice 2 las cifras al respecto tienen entre 7 y 27 especies. En este sentido, los únicos estudios que difieren son los de Encina-Domínguez et al. (2007, 2009), quienes registraron 68 especies en 3.3 ha. Esta diferencia debe interpretarse con cautela, ya que en esos estudios el método de muestreo es diverso (parcelas de 500 m<sup>2</sup>), así como la inclusión de individuos más pequeños ( $\leq 1.3$  m de altura) y es muy probable que un alto porcentaje de éstos tuvieran diámetros menores a los 2.5 cm d.a.p. considerados en el presente trabajo.

Con base en los valores de diversidad beta se pueden distinguir 2 conjuntos de bosques (Cuadro 2). Uno está conformado por el bosque tropical caducifolio y el de *Q. deserticola*, los cuales tienen un valor alto del índice de Jaccard (0.6) y especies primordialmente de afinidad tropical (Rzedowski, 1978; Labat, 1988). El segundo conjunto de bosques, que son dominados principalmente por encinos, son similares de acuerdo a este último índice en una proporción menor al 50%. Este resultado coincide con los valores de los índices de diversidad obtenidos para los encinares de la sierra de Santa Rosa (Martínez-Cruz et al., 2009) y de Zapalinamé (Encina-Domínguez et al., 2007), donde se señalan valores de 0.03-0.31 (Bray-Curtis) y de 0.49 (Jaccard), respectivamente. El hecho de que las comunidades vegetales del cerro El Águila tenga una alta diversidad beta subraya la relevancia de considerar áreas representativas de las mismas en futuros ejercicios de conservación.

Los 5 tipos de vegetación mostraron una curva de abundancia de tipo log normal (Fig. 4). Magurran (2004) menciona que este modelo es indicativo de comunidades

complejas, en las cuales las abundancias son reguladas por procesos estocásticos. Debido a que muchos ensambles naturales presentan típicamente este tipo de curvas, cualquier desviación de este patrón es considerado indicativo de perturbación. Esta autora también indica que el modelo no es sensible a los cambios en la riqueza de especies y que puede ser muy similar al modelo de la serie logarítmica. Dada la gran controversia generada en torno a estos modelos, su significado biológico aún se encuentra en debate.

En el Apéndice 2 se aprecia que existe poca información sobre la estructura cuantitativa de los bosques de *Quercus* y *Pinus* en México. Algunos de esos estudios no aportan datos completos y emplean métodos de muestreo y análisis diferentes, lo cual impide hacer comparaciones directas. Si se considera la importancia ecológica y económica de estos bosques, aunada a su amplia distribución nacional, es posible afirmar que la información disponible no es suficiente y por lo tanto debería dirigirse más atención hacia estos ecosistemas. Lo anterior, adquiere una mayor relevancia si se toma en cuenta que estas comunidades están entre las menos conservadas en el país, especialmente en su parte central (Challenger, 2003), donde se ubica la zona estudiada. Este contexto negativo lo confirma López-Granados (2006), quien estima que el crecimiento desordenado de la ciudad de Morelia pone en riesgo de desaparecer la vegetación natural que la rodea. Considerando que el cerro El Águila aún contiene áreas extensas de vegetación con un buen estado de conservación, particularmente los bosques templados localizados hacia sus partes altas, se sugiere la elaboración de un plan de manejo sustentable que promueva su conservación futura y a la brevedad posible su inclusión al Sistema de Áreas de Protección del estado de Michoacán. Para esta tarea fundamental sería altamente deseable consensuar acuerdos entre los sectores involucrados (e. g. comunidades aledañas al cerro, sectores académicos y gubernamentales) que le den viabilidad práctica a corto y largo plazo a este importante proceso.

### Agradecimientos

El primer autor agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México y al CONACYT por la beca otorgada para la realización de sus estudios de maestría. Se reconoce a Ramón Cuevas Guzmán, Rosa Irma Trejo Vázquez y dos revisores anónimos por los comentarios que enriquecieron una versión preliminar de este manuscrito; al M. en C. Xavier Madrigal Sánchez que colaboró en la determinación de las especies de Pinaceae; a José de Jesús Alfonso Fuentes Junco, por su asistencia en la elaboración de la figura 1; a Alberto Valencia García, por su colaboración en el manejo de la base de datos usada en el estudio. Un agradecimiento especial

a los habitantes de las comunidades aledañas al cerro El Águila, por permitirnos el acceso a los sitios de estudio. Finalmente, se reconoce la labor editorial del Dr. Lauro López-Mata, por sus atinadas sugerencias para mejorar este trabajo.

### Literatura citada

- Bello, M. A. y X. Madrigal. 1996. Estudio florístico del campo experimental “Barranca del Cupatitzio”, Uruapan, Michoacán. Folleto Científico 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México, D. F. 47 p.
- Bocco, G., M. E. Mendoza, A. Velázquez y A. Torres. 1999. La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas* 40:7-22.
- Bocco, G., M. Mendoza y E. López. 2001. Regionalización ecológica, conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Universidad Nacional Autónoma de México/ Instituto de Ecología, Morelia, Michoacán. 263 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Instituto de Biología/ Sierra Madre, México, D. F. 847 p.
- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. *In* Conservación de ecosistemas templados de montaña en México, O. Sánchez, E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (eds.). Instituto Nacional de Ecología (INE, SEMARNAT)/ SyG, México, D. F. p. 17-44.
- Colwell, R. K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Persistent URL <[purl.oclc.org/estimates](http://purl.oclc.org/estimates)>; última consulta: 10.I.2009.
- Cornejo-Tenorio, G., A. Casas, B. Farfán, J. L. Villaseñor y G. Ibarra-Manríquez. 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 73:43-62.
- Encina-Domínguez, J. A., A. Zárate-Lupercio, J. Valdés-Reyna y J. A. Villareal-Quintanilla. 2007. Caracterización ecológica y diversidad de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81:51-63.
- Encina-Domínguez, J. A., A. Zárate-Lupercio, E. Estrada-Castillón, J. Valdés-Reyna y J. A. Villareal-Quintanilla. 2009. Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botanica Mexicana* 86:71-108.
- Espejo-Serna, A., J. L. Brunhuber, G. Segura y J. Ibarra. 1992. La vegetación de la zona de hibernación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.) en la sierra Chincua. *Tulane Studies in Zoology and Botany*, Supplementary publication 1:79-99.
- Gallardo-Cruz, J. A., J. A. Meave y E. A. Pérez-García. 2005. Estructura composición y diversidad de la selva baja caducifolia del cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 76:19-35.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F. 252 p.
- Giménez de Azcárate, J., M. I. Ramírez y M. Pinto. 2003. Las comunidades vegetales de Anganguero (estados de Michoacán y México, México): clasificación, composición y distribución. *Lazaroa* 24:87-111.
- González-Elizondo, S., M. González-Elizondo y A. Cortes-Ortiz. 1993. Vegetación de la Reserva de la Biosfera “La Michilia”, Durango, México. *Acta Botanica Mexicana* 22:1-104.
- González-Tagle, M. A., L. Schwendenmann, J. Jiménez-Pérez y R. Schulz. 2008. Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico. *Forest Ecology and Management* 256:161-167.
- Gould, W. A., G. González y G. Carrero Rivera. 2006. Structure and composition of vegetation along an elevational gradient in Puerto Rico. *Journal of Vegetation Science* 17:653-664.
- Hammer, Ø., D. A. T. Harper y P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4:9 p. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm); última consulta: 03.VII.2009.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2007. Carta fisiográfica del estado de Michoacán. Escala 1:1000000. Aguascalientes, Aguascalientes.
- Kent, M. y P. Coker. 1994. *Vegetation description and analysis. A practical approach.* Wiley. New York. 363 p.
- Krebs, C. J. 1978. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance.* 2a. edición. Harper & Row, New York. 678 p.
- Labat, J. N. 1988. Análisis fitogeográfico del matorral subtropical del occidente de México, basado en un estudio regional del noroeste de Michoacán. *Biotica* 13:41-57.
- Labat, J. N. 1995. *Végétation du nord-ouest du Michoacán Mexique. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, fascículo complementario VIII.* Instituto de Ecología, Pátzcuaro, Michoacán. 401 p.
- Lieberman, D., M. Lieberman, R. Peralta y G. S. Hartshorn. 1996. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology* 84:137-152.



- López-Granados, E. M. 2006. Patrones de cambio de uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo. Tesis, Doctorado Posgrado de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 101 p.
- Lott, E. J., S. H. Bullock y J. A. Solís-Magallanes. 1987. Floristic diversity and structure of upland and Arroyo forests of coastal Jalisco. *Biotropica* 19:228-235.
- Madrigal, X. 1994. Características ecológicas generales de la región forestal oriental del estado de Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. 114 p.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell, Cambridge, Massachusetts. 256 p.
- Márquez-Linares, M. A., S. González-Elizondo y R. Álvarez-Zagoya. 1999. Componentes de la diversidad arbórea de pino-encino de Durango, México. *Madera y Bosques* 5:67-78.
- Martínez-Cruz, J., O. T. Valdés y G. Ibarra-Manríquez. 2009. Estructura de los encinares de la sierra de Santa Rosa, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:145-156.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley, New York. 547 p.
- Nieves-Hernández, G., J. A. Vázquez-García, Y. L. Vargas-Rodríguez, M. Vázquez-García y J. González-Gallegos. 2009. Small-scale environmental gradients in a pine-oak forest community in Nueva Colonia, Mezquítico, Jalisco, Mexico. *Polibotánica* 27:31-52.
- Nixon, K. C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In *Biological diversity of Mexico. Origins and distribution*, T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Oxford University Press, New York. p. 447-458.
- Palacio-Prieto, J. L., G. Bocco, A. Velázquez, J. F. Mas, F. Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma, I. Trejo-Vázquez, A. Peralta, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo y F. González-Medrano. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas* 43:183-203.
- Pérez-Calix, E. 1996. Flora y vegetación de la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México, Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Fascículo complementario XIII. Instituto de Ecología A. C. Pátzcuaro, Michoacán. 76 p.
- Pineda-García F., L. Arredondo-Amezcuca y G. Ibarra-Manríquez. 2007. Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio de El Tarimo, Cuenca del Balsas, Guerrero. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78:129-139.
- Ramírez-Marcial, N., M. González-Espinosa y G. Williams-Linera. 2001. Anthropogenic disturbance and tree diversity in montane rain forests in Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management* 154:311-326.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D. F. 432 p.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana* 14:3-21.
- Rzedowski, J. y R. McVaugh. 1966. La vegetación de Nueva Galicia. *Contributions of the University of Michigan Herbarium* 9:1-123.
- Sánchez-Córdova, J. y J. M. Chacón-Sotelo. 1986. Relación suelo-vegetación del área experimental "Madera". *Revista Ciencia Forestal* 11:43-63.
- Shelton, M. G. y M. D. Cain. 1999. Structure and short-term dynamics of the tree component of mature pine-oak forest in southeastern Arkansas. *Journal of the Torrey Botanical Society* 126:32-48.
- Soto-Núñez, J. C. y L. Vázquez-García. 1993. Vegetation types of monarch butterfly overwintering habitat in Mexico. In *Biology and conservation of the monarch butterfly*, S. B. Malcolm and M. P. Zalucki (eds.). Sciences series. Natural History Museum of Los Angeles County No. 38. p. 287-293.
- Styles, B. 1993. Genus *Pinus*: a Mexican purview. In *Biological diversity of Mexico. Origins and distribution*, T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Oxford University Press, New York. p. 397-420.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11:2063-2084.
- Valencia, S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 70:33-53.
- Vázquez, J. A. y T. J. Givnish. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology* 86:999-1020.
- Villaseñor, J. L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:105-135.

**Apéndice 1.** Presencia (\*) de las especies de árboles y arbustos de las 5 comunidades del cerro El Águila, Michoacán, México. Abreviaturas de los bosques: BTC, tropical caducifolio; BQD, *Quercus deserticola*; BCO, *Q. castanea-Q. obtusata*; BQR, *Q. rugosa* y BQP, *Quercus-Pinus*.

Taxa	BTC	BQD	BCO	BQR	BQP
ARALIACEAE					
<i>Aralia humilis</i> Cav.	*	*			
ASTERACEAE					
<i>Ageratina mairretiana</i> (DC.) R.M. King et H. Rob.			*	*	*
<i>Archibaccharis hirtella</i> (DC.) Heering				*	
<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth			*		
<i>Montanoa grandiflora</i> (DC.) Sch. Bip. ex K. Koch	*	*			
<i>Roldana albonervia</i> (Greenm.) H. Rob. et Brettell					*
<i>Rumfordia floribunda</i> DC.					*
<i>Verbesina sphaerocephala</i> A. Gray	*	*			
BETULACEAE					
<i>Alnus jorullensis</i> Kunth			*	*	*
BIGNONIACEAE					
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	*				
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	*	*			
BURSERACEAE					
<i>Bursera cuneata</i> (Schltdl.) Engl.	*	*			
<i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl.	*	*			
CACTACEAE					
<i>Opuntia atropes</i> Rose	*	*			
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	*	*			
CLETHRACEAE					
<i>Clethra mexicana</i> DC.				*	*
CONVOLVULACEAE					
<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. et Schult.	*	*	*		
CUPRESSACEAE					
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.			*		
ERICACEAE					
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth			*	*	
EUPHORBIACEAE					
<i>Croton adspersus</i> Benth.	*	*			
<i>Euphorbia calyculata</i> Kunth	*	*			
FABACEAE					
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	*				
<i>Acacia pennatula</i> (Schltdl. et Cham.) Benth.	*				
<i>Erythrina breviflora</i> Sessé et Moc. ex DC.	*				
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg.	*	*			
FAGACEAE					
<i>Quercus candicans</i> Née			*	*	
<i>Quercus castanea</i> Née	*	*	*		
<i>Quercus crassipes</i> Humb. et Bonpl.			*	*	*
<i>Quercus deserticola</i> Trel.	*	*	*		
<i>Quercus laurina</i> Bonpl.				*	*
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	*		*	*	
<i>Quercus rugosa</i> Née			*	*	*
LOGANIACEAE					
<i>Buddleja parviflora</i> Kunth				*	
MELIACEAE					
<i>Cedrela dugesii</i> S. Watson	*				

## Apéndice 1. Continúa.

Taxa	BTC	BQD	BCO	BQR	BQP
OLEACEAE					
<i>Forestiera phillyreoides</i> (Benth.) Torr.	*	*			
PINACEAE					
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.			*	*	
<i>Pinus michoacana</i> Martínez					*
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.					*
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.			*	*	*
RHAMNACEAE					
<i>Ceanothus caeruleus</i> Lag.			*	*	*
<i>Condalia velutina</i> I.M. Johnst.	*				
ROSACEAE					
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. et Sessé ex DC.		*	*		
<i>Prunus serotina</i> Ehrh. subsp. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh			*		
ULMACEAE					
<i>Celtis caudata</i> Hance	*				
VERBENACEAE					
<i>Lippia mexicana</i> G.L. Nesom				*	*
<i>Lippia myriocephala</i> Schltdl. et Cham.		*	*		

**Apéndice 2.** Datos de estructura de los bosques de *Pinus* (BP), *Pinus-Quercus* (BPQ), *Quercus* (BQ) y *Quercus-Pinus* (BQP) en México y Arkansas (Estados Unidos de América). Se muestran los valores de número de especies (S) e índices  $\alpha$ -Fisher ( $\alpha$ ), Simpson (D), Shannon (H), y Equidad (E) basada en Shannon. La diversidad beta se midió con Jaccard (J), 1-Sorensen ( $\beta_s$ ) y Bray-Curtis ( $C_N$ ). La altura promedio se indica con \* y la del dosel superior con \*\*. El área total de muestreo se muestra en paréntesis.

Sitio	Densidad (ind./ha)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha) (d.a.p., cm)	Altura (m)	Diversidad
Cerro El Águila, Michoacán <sup>1</sup> . BQ/BQP. (0.64 ha)	738-1 106	24.2-60.2 ( $\geq 2.5$ )	4.7-16.9* 6.8-29.6**	S= 13-18 $\alpha=2.71-4$ D=0.18-0.45 J=0.3-0.36 $C_N=0.33-0.57$
Región Madera-El Lago, Chihuahua <sup>2</sup> . BP.	330-1 572	( $\geq 7.6$ )	8-20.2**	---
Oriente de Michoacán <sup>3</sup> . BQ. (0.3 ha)	---	---	15**	S= 12
NO de Michoacán <sup>4</sup> . BP (0.32 ha)/BQ (0.41 ha)	614-793/2 159	26.9-29/24 ( $\geq 5$ )	---	S= 13-19/20 H=1.81- 3.03/2.56
Manantlán, Jalisco <sup>5</sup> . BQ. (0.5 ha)	$\approx 750-4 300$	$\approx 45-55$ ( $\geq 2.5$ )	---	S= >20 $\beta_s \approx 0.25-0.62$
Río Piaxtla, Durango <sup>6</sup> . BPQ (11.75 ha)	---	24.8-26.9 ( $\geq 5$ )	---	S= 27
Pueblo Nuevo Solistahuacán, Chiapas <sup>7</sup> . BQP. (0.1 ha)	1 582-2 717	56-67 ( $\geq 5$ )	---	S= 31-38
Sierra de Zapalinamé, Coahuila <sup>8a,b</sup> . BQ (3.3 ha) (Plantas > 1.3 m de altura)	2 277-2 349	17.35-28.83	---	S= 68 H = 4.9-4.5 <sup>a</sup> E = 0.89-0.91 <sup>a</sup> J = 0.49 <sup>a</sup>
Monterrey, Nuevo León <sup>9</sup> . BPQ. (0.1 ha)	1 066	28.3 ( $\geq 5$ )	8.1*	S= 11 E = 0.6

**Apéndice 2.** Continúa.

<i>Sitio</i>	<i>Densidad (ind./ha)</i>	<i>Área basal (m<sup>2</sup>/ha) (d.a.p., cm)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Diversidad</i>
Sierra Santa Rosa, Guanajuato <sup>10</sup> . BQ. (Sin área)	650-1 246	---	10-25**	S= 12-29 α=2.72-5.28 D=0.15-0.4 C <sub>N</sub> =0.03-0.31
Nueva Colonia, Mezquitic, Jalisco <sup>11</sup> . BPQ (1 ha)	326	23.61 (≥ 2.5)		S= 7 H=1.48
Arkansas, E. U. <sup>12</sup> BPQ. (2 ha)	453	37(≥ 9)	20.2**	S= 20

*Fuentes:* <sup>1</sup>este estudio; <sup>2</sup>Sánchez-Córdova y Chacón-Sotelo (1986); <sup>3</sup>Madrigal (1994); <sup>4</sup>Labat (1995); <sup>5</sup>Vázquez y Givnish (1998); <sup>6</sup>Márquez-Linares et al. (1999); <sup>7</sup>Ramírez-Marcial et al. (2001); <sup>8a,b</sup>Encina-Domínguez et al. (2007<sup>a</sup>, 2009<sup>b</sup>); <sup>9</sup>González-Tagle et al. (2008); <sup>10</sup>Martínez-Cruz et al. (2009); <sup>11</sup>Nieves-Hernández et al. (2009); <sup>12</sup>Shelton y Cain (1999).