
Regionalización biogeográfica de Zacatecas, México, con base en los patrones de distribución de la familia Asteraceae

The biogeographical regions of the state of Zacatecas, Mexico, based on distribution patterns of the family Asteraceae

José de Jesús Balleza¹, José Luis Villaseñor^{2*} y Guillermo Ibarra-Manríquez³

¹Unidad Académica de Agronomía, Universidad Autónoma de Zacatecas, Km 15.5, carretera Zacatecas-Guadalajara, 98171 Zacatecas, Zacatecas.

²Departamento de Botánica, Instituto de Biología, UNAM, Apartado postal 70-367, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F. *Correspondencia vrios@ibiologia.unam.mx

³Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, Col. San José de la Huerta, 58190 Morelia, Michoacán.

Resumen. Se analizaron los patrones de distribución de 456 especies de Asteraceae (Magnoliophyta) nativas de Zacatecas, con el fin de proponer una regionalización biogeográfica estatal. Para ello su territorio se dividió en 28 unidades geográficas operativas (UGOs) y se determinó el número de especies y el número de ejemplares recolectados en cada UGO, así como los tipos de vegetación y el intervalo altitudinal. Utilizando el coeficiente de Jaccard, se determinaron las similitudes florísticas entre las UGOs. La distribución del total de especies de Asteraceae varió desde 190 en la UGO más diversa (UGO 28) hasta 32 en la menos diversa (UGO 5); por su parte, la distribución de las especies endémicas de México también varió, desde 98 (UGO 28) hasta ocho (UGOs 5 y 6). Las UGOs con más tipos de vegetación y con intervalo altitudinal más amplio son también las que registran el número mayor de especies. El 34% de las especies se consideraron como raras, pues se registran en sólo una UGO. Los resultados indican que las Asteraceae se pueden dividir en dos grupos de especies: i) aquellas que prosperan preferentemente en las condiciones de aridez que se presentan en la Altiplanicie y ii) aquellas que se distribuyen básicamente en hábitats con climas templados y cálidos de la Sierra Madre Occidental. El análisis permite identificar dos «distritos» biogeográficos, subordinados a las provincias florísticas propuestas por Rzedowski (1978).

Palabras clave: Asteraceae, México, patrones de distribución, regiones florísticas, Zacatecas.

Abstract. The geographic distribution patterns of 456 species of Asteraceae (Magnoliophyta) native to Zacatecas were analysed. The aim was to propose a state's biogeographic zonation. The state was divided in 28 operational geographic units (OGUs) and for each one the number of species, the number of specimens collected, the vegetation types and the altitudinal range were determined. Floristic similarities among OGUs were obtained by using a classificatory procedure and the Jaccard's similarity coefficient. The richest OGU recorded 190 species of Asteraceae (OGU 28), the poorest 32 species (OGU 5); likewise, the distribution of the species endemic to Mexico varied from 98(OGU 28) to eight (OGU 5 and 6). The OGUs with the larger number of vegetation types and with a larger altitudinal range were also those with the larger number of species. About 34% of the species were considered as rare, because they were recorded in a single OGU. The results suggest that the species of Asteraceae can be divided in two main groups: (i) those thriving mostly in the dry environments characteristic of the Mexican Highland and (ii) those thriving mostly in the temperate and warm habitats found especially along the Sierra Madre Occidental. The analysis identified two biogeographic «districts», forming part of the floristic provinces already defined by Rzedowski (1978).

Key words: Asteraceae, México, distributional patterns, floristic regions, Zacatecas.

Introducción

La localización de México entre los reinos Holártico y Neotropical o Sudamericano (Rzedowski, 1978, 1991a; Cox, 2001) lo convierte en un área excepcional para el desarrollo de trabajos biogeográficos utilizando diversos grupos de la biota, así como diferentes enfoques y escalas de estudio (p. ej. Smith, 1941; Goldman y Moore, 1945; Rzedowski, 1978; Escalante et al., 1993; Luna et al., 1999; Espinosa et al., 2000; Morrone y Márquez, 2001). Lo anterior, en conjunto con la diversidad de climas, suelos y una compleja historia geomorfológica, ha incrementado la dificultad para definir

áreas biogeográficas para México (Rzedowski, 1978; Espinosa et al., 2000). Rzedowski (1978), basándose principalmente en los patrones de distribución y endemismo de la flora, propuso un esquema de cuatro regiones (Pacífica Norteamericana, Mesoamericana de Montaña, Xerofítica Mexicana y Caribe) y 17 provincias florísticas. Este autor subraya la dificultad de delimitar los límites precisos entre las regiones y provincias; por lo tanto, una estrategia que ayude a definir más claramente los límites de las unidades biogeográficas, es el estudio de regiones más pequeñas, usando información sobre la distribución de determinados grupos de su biota. El estado de Zacatecas, localizado hacia la parte

central de México, es un interesante candidato para lo anterior, ya que en su territorio convergen de manera no claramente definida las provincias florísticas Altiplanicie, Costa Pacífica, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental (Rzedowski, 1978).

Sin embargo, obtener y analizar información biogeográfica de regiones con un elevado número de especies, como es el caso de Zacatecas, cuya flora vascular se estima en 136 familias, 708 géneros y 2251 especies (Villaseñor, 2003), produce dificultades prácticas para el desarrollo favorable de estos estudios. Una posible estrategia para solventar estos problemas es trabajar con un grupo representativo de los patrones regionales de riqueza de los componentes bióticos del área. Algunos de los criterios importantes para la selección de este grupo son (Halfter y Favila, 1993; Stork, 1994): (i) importancia dentro de la estructura y función del ecosistema, (ii) facilidad para labores de colecta y muestreo, (iii) contar con un adecuado conocimiento taxonómico o con taxónomos disponibles, de manera que sea relativamente sencilla su delimitación específica, (iv) poseer una amplia distribución geográfica y (v) proveer información relevante sobre el estado de la biodiversidad regional, tanto de comunidades inalteradas como aquellas con algún tipo de perturbación por actividad humana. La familia Asteraceae en México cumple con estos criterios.

En tiempos recientes, Villaseñor et al. (1998) usaron la familia Asteraceae (Magnoliophyta) como un grupo indicador de biodiversidad para seleccionar áreas prioritarias para la conservación de la flora mexicana. Previamente, Rzedowski (1991a) utilizó también esta familia como un grupo representativo de la riqueza florística de México y halló una buena correspondencia entre el número de sus especies y el total de especies de fanerógamas encontradas en ciertas regiones de México. Para el caso particular de Zacatecas, Asteraceae es el grupo vegetal con más especies en el estado (141 géneros y 456 especies, Balleza y Villaseñor, 2002), representando casi el 20% del total de géneros y de especies de plantas con flores registrados en el estado (Villaseñor, 2003). Con base en lo anterior, en este trabajo se sigue el supuesto de que los patrones de distribución de las especies de Asteraceae son representativos del resto de la flora de Zacatecas. Debido a la carencia de información detallada sobre la distribución local de la totalidad de la flora zacatecana y considerando que la distribución geográfica de las especies de Asteraceae en este estado está relativamente bien documentada, el objetivo de este trabajo es analizar los patrones de distribución geográfica de la familia en Zacatecas, con el fin de proponer una división de las provincias florísticas registradas en el estado (Rzedowski, 1978).

Materiales y Método

Área de estudio. Zacatecas está situado en la porción centro-norte de la República Mexicana (21°04'-25°09' N y 100°40'-104°19' O), con una superficie de 74668 km², que

corresponde al 3.7% del territorio nacional; limita al N con los estados de Durango y Coahuila, al S con Aguascalientes y Jalisco, al E con San Luis Potosí y al O con Durango (SPP, 1981). Con base en su fisiografía, Zacatecas se divide en las provincias Eje Neovolcánico, Mesa del Centro, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental (SPP, 1981). El evento geológico más antiguo registrado en el estado se remonta al Paleozoico superior y fue el que originó los esquistos que afloran en su porción norteña (Consejo de Recursos Minerales, 1991). Durante el Mesozoico se formaron las rocas metamórficas, sedimentarias marinas, clásticas continentales y volcano-sedimentarias que se encuentran expuestas principalmente en el centro, N y SE del estado. En el Cenozoico inició la revolución laramídica, que transformó de forma drástica toda la parte norte del país, dando origen a la Sierra Madre Oriental, por el plegamiento de los sedimentos mesozoicos, a la Sierra Madre Occidental por la efusión de enormes volúmenes de rocas volcánicas, a la definición de la Mesa del Centro y al emplazamiento de numerosos cuerpos de rocas ígneas intrusivas (Consejo de Recursos Minerales, 1991).

De acuerdo con García (1987) y la *Síntesis Geográfica de Zacatecas* (SSP, 1981), en el 80% de la superficie de Zacatecas predominan los climas del grupo B (secos), en el 19% los del grupo C (templados) y sólo en el 1% los del grupo A (cálidos húmedos). Del clima B, el más extendido es el subtipo BS₁ (el menos seco de los BS), localizado hacia el centro, N, NE, SE y en una pequeña región del O del estado; en orden de extensión prosigue el subtipo BS₀ (el más seco de los BS), que se extiende hacia el noreste de la entidad; finalmente, el tipo BW (muy seco o desértico) se encuentra principalmente en el extremo norte del estado. Del grupo C, el tipo C(w) (templado subhúmedo con lluvias en verano) es el más ampliamente distribuido, con el subtipo C(w₀) (el más seco) ubicado en la parte O y el subtipo C(w₁) (semiseco), principalmente en la parte S. Del mismo grupo, el subtipo (A)C(w₀) (el más seco de los semicálidos) se localiza en las tierras bajas del S. Los climas del grupo A se restringen a pequeñas regiones del S de la entidad, en los límites con el estado de Jalisco.

En Zacatecas convergen las provincias florísticas Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Altiplanicie y Costa Pacífica (Rzedowski, 1978). En su territorio se distinguen seis diferentes tipos de vegetación (*sensu* Rzedowski, 1978): bosque espinoso, bosque tropical caducifolio, bosque de *Quercus*, bosque de coníferas, matorral xerófilo y pastizal. Los tipos de vegetación con mayor riqueza de Asteraceae por unidad de área son, en orden decreciente, bosque de *Quercus*, bosque de coníferas, bosque tropical caducifolio, pastizal y matorral xerófilo (Balleza y Villaseñor, 2002).

Procedimiento. El estado de Zacatecas se dividió en 49 cuadros de 0.5° de latitud por 0.5° de longitud, con base en los paralelos y meridianos que cruzan su territorio, de acuerdo con la carta topográfica escala 1:1000000 (SPP, 1981). Este tamaño de cuadro es el que mejor resuelve el

compromiso entre la información disponible y el número de unidades geográficas operativas (UGOs) (OGUs, por sus siglas en inglés *sensu* Crovello, 1981) que pueden postularse para una determinada región. Además, este tamaño de cuadro permite comparar los resultados con trabajos similares que analizan otros grupos biológicos de México (p. ej. Arita et al., 1997 o Ibarra-Manríquez et al., 2002). Los cuadros que incluían una superficie muy pequeña se fusionaron con cuadros vecinos a fin de homogeneizar en lo posible el tamaño de las áreas. Esta fusión se realizó tomando como criterio la afinidad fisiográfica, con el propósito de evitar el incremento de la heterogeneidad ambiental. De esta manera, los 49 cuadros o UGOs se redujeron a 28 (Fig. 1). En promedio cada UGO tiene una superficie de 2667 km², siendo la unidad más pequeña de 1131 km² (UGO 25) y la más grande de 3952 km² (UGO 1).

Con base en las coordenadas geográficas de los sitios de recolecta de 4611 ejemplares de herbario, se obtuvo la

distribución en las 28 UGOs de cada una de las 456 especies de Asteraceae nativas de Zacatecas (ver lista completa en Balleza y Villaseñor, 2002). A partir de las localidades de recolecta, se registró la presencia de la especie en la UGO correspondiente (Murguía y Rojas, 2001). Con esta información se determinó el número total de especies, el número de ejemplares recolectados, los tipos de vegetación y el intervalo altitudinal (en metros sobre el nivel del mar) para cada UGO.

Para determinar patrones de distribución, generalmente se busca la congruencia entre la distribución geográfica de dos o más especies. Una manera de evaluar tales patrones es mediante técnicas de clasificación u ordenación (Murguía y Rojas, 2001). El procedimiento para analizar patrones de distribución geográfica usando estos métodos numéricos lo describen con detalle Jardine (1972), Crovello (1981) y Birks (1987), entre otros. Para analizar los patrones de distribución geográfica de las especies de Asteraceae en Zacatecas se

Cuadro 1. Total de especies (TE), total de especies endémicas de México (TEE), número de colectas (NC), tipos de vegetación (TV) y altitud para cada Unidad Geográfica Operativa en que se dividió el estado de Zacatecas. Abreviaturas de los TV: 1 (bosque de coníferas), 2 (bosque espinoso), 3 (bosque de *Quercus*), 4 (bosque tropical caducifolio), 5 (matorral xerófilo), 6 (pastizal).

UGO	TE (%)	TEE (%)	NC	TV	Altitud msnm (intervalo)
1	62 (14)	17 (7)	141	5	1063 – 2300 (1237)
2	93 (20)	35 (14)	229	1, 5, 6	1650 – 3000 (1350)
3	124 (27)	49 (20)	250	1, 2, 3, 5, 6	2039 – 2530 (491)
4	57 (13)	18 (7)	74	1, 5, 6	1740 – 2340 (600)
5	32 (7)	8 (3)	44	5	1792 – 1920 (128)
6	37 (8)	8 (3)	58	5	1723 – 1833 (110)
7	50 (11)	12 (5)	77	1, 5, 6	1744 – 2330 (586)
8	51 (11)	15 (6)	116	5	1780 – 2060 (280)
9	57 (13)	16 (6)	73	5, 6	1080 – 2500 (1420)
10	57 (13)	18 (7)	74	5, 6	2040 – 2190 (150)
11	55 (12)	15 (6)	95	5	1925 – 2142 (217)
12	56 (12)	14 (6)	84	5	2000 – 2314 (314)
13	59 (13)	27 (11)	81	1, 3, 5	1950 – 2500 (550)
14	58 (13)	20 (8)	82	5	2070 – 2696 (626)
15	52 (11)	17 (7)	91	5	1990 – 2748 (758)
16	53 (12)	18 (7)	94	5, 6	1911 – 2130 (219)
17	108 (24)	53 (21)	141	1, 2, 3, 4	1130 – 2693 (1563)
18	67 (15)	38 (15)	102	2, 3, 4, 6	1733 – 2270 (537)
19	84 (18)	37 (15)	139	1, 3, 5, 6	2070 – 2696 (626)
20	99 (22)	42 (17)	202	3, 5, 6	1990 – 2748 (758)
21	86 (19)	33 (13)	202	3, 5, 6	1140 – 2524 (1384)
22	98 (21)	51 (20)	117	1, 3, 4, 5, 6	1875 – 2490 (615)
23	106 (23)	46 (18)	175	1, 2, 3, 5, 6	1400 – 2610 (1210)
24	99 (23)	39 (15)	260	3, 5, 6	1860 – 2760 (900)
25	73 (16)	45 (18)	97	1, 2, 3	1265 – 2250 (985)
26	154 (34)	81 (32)	293	1, 2, 3, 4, 5, 6	1665 – 2560 (895)
27	127 (28)	59 (23)	272	3, 4, 5	1400 – 2615 (1215)
28	190 (42)	98 (39)	948	1, 2, 3, 4, 5, 6	1050 – 2370 (1320)

elaboró una matriz de presencia-ausencia, formada por 28 columnas (UGOs) y 456 filas (especies). A continuación, la matriz se transformó en otra de similitud, utilizando el coeficiente de similitud de Jaccard. Posteriormente, mediante el método de análisis de grupos pareados sin ponderar, usando la media aritmética (UPGMA por sus siglas en inglés), la matriz de similitud se sometió a un análisis de clasificación por columnas, con el fin de evaluar los patrones de similitud florística entre las UGOs y su posible uso en la subdivisión fitogeográfica del estado de Zacatecas (*sensu* Birks, 1976). Finalmente, con el programa SAHN del paquete NTSYS-PC (v. 2.0) (Rohlf, 1997) se elaboró un dendrograma para representar gráficamente los resultados del análisis de clasificación. Puede solicitarse al primer autor una copia como archivo de texto de la matriz de presencia-ausencia, con las 456 especies y las UGOs donde se registraron.

Resultados

La distribución de las especies de Asteraceae en las 28 UGOs no es uniforme (Cuadro 1). La riqueza de especies por UGO varió de 190 (42% del total de especies) en la UGO 28 a 32 (7% de total) en la UGO 5; en promedio se tiene un número de 80 especies por UGO. La distribución de los taxa endémicos de México siguió un patrón semejante al total de especies. El número de especies endémicas osciló de 98 (39% del total de especies endémicas) en la UGO 28 a ocho (3% del total) en las UGOs 5 y 6 (Cuadro 1); en promedio se registran para esta categoría 33 especies por UGO.

El número de tipos de vegetación representados en cada UGO también difirió, de 6 (UGOs 26 y 28, ubicadas al S del estado) a 1 (UGOs 01, 05, 06, 08, 11, 12, 14 y 15, distribuidas en el noreste del estado). En general, las UGOs con más tipos de vegetación son las más diversas, tanto en riqueza de especies como en número de especies endémicas (Cuadro 1). Sin embargo, es notable que la UGO 27, ubicada en el tercer lugar por su riqueza total de especies, tenga el mismo número de tipos de vegetación que la UGO 7, ubicada en el antepenúltimo lugar. Los valores de altitud a nivel estatal variaron de 1050 msnm (UGO 28) a 3,000 (en la UGO 2). Además, el intervalo altitudinal dentro de los límites establecidos para cada UGO fluctuó de 110 m en la UGO 6 a 1563 m en la UGO 16. En general, las UGOs con mayor intervalo altitudinal son también las que registran el mayor número de especies, observándose una fuerte correlación entre el intervalo altitudinal y la riqueza de especies ($r = 0.767$, $p < 0.0001$ para el total de especies; $r = 0.723$, $p < 0.0001$ para las especies endémicas).

Si se consideran como raras aquellas especies registradas en una sola UGO, 158 especies de Asteraceae (34%), 102 de las cuales son endémicas (41%), se incluyen en esta categoría (Cuadro 2). En el otro extremo, únicamente una especie se registró en 25 UGOs (*Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.), mientras que los taxa endémicos con mayor extensión se registran en 18 UGOs (*Heterotheca inuloides*

Cuadro 2. Rareza de las Asteraceae nativas de Zacatecas, definida por el número de UGOs (unidades geográficas operativas) donde cada especie se registró.

Número de UGOs	Total de especies	Especies endémicas
1	158	102
2	69	43
3	38	20
4	33	17
5	25	12
6	22	14
7	12	4
8	14	6
9	6	5
10	10	5
11	5	1
12	8	6
13	11	3
14	8	3
15	3	1
16	9	1
17	5	2
18	4	2
19	2	
20	3	
21	3	
22	4	
23	2	
24	1	
25	1	

Cass. y *Viguiera linearis* (Cav.) Sch. Bip. ex Hemsl.). De las especies clasificadas como raras, 104 se citan con base en una sola colecta y la mayoría forman poblaciones pequeñas (por ejemplo *Achillea millefolium* L., *Acmella oppositifolia* (Lam.) R.K. Jansen var. *oppositifolia*, *Acourtia longifolia* (S.F. Blake) Reveal et R.M. King, *Cosmos palmeri* B.L. Rob. var. *palmeri* o *Parthenium tomentosum* DC. var. *stramonium* (Greene) Rollins); en contraste, 54 han sido recolectadas dos o más veces y casi todas forman poblaciones muy grandes (por ejemplo *Cosmos sulphureus* Cav., *Melampodium divaricatum* (Rich.) DC., *Tithonia rotundifolia* (Mill.) S.F. Blake, *Simsia foetida* (Cav.) S.F. Blake o *Zinnia americana* (Mill.) Olorode et A.M. Torres)

El análisis de agrupamiento permite identificar dos grupos principales (Fig. 2); debido a su ubicación, por debajo del rango de provincia florística, se podrían reconocer como distritos (Takhtajan, 1986). Tales grupos se separan a un nivel de similitud de 20%. Seis UGOs del primer grupo se asocian con un coeficiente de similitud mayor del 50%, pero ninguna del segundo grupo alcanza un valor igual. Las UGOs 8 y 12 muestran la mayor similitud florística (57.3%; Fig. 2). El «distrito florístico I» incluye 19 UGOs,

distribuidas en la porción central y NE del estado (Fig. 1). Fisiográficamente, la región corresponde a la Mesa Central y a la Sierra Madre Oriental (SPP, 1981). Por su composición florística, la mayor parte de este distrito se ubica en la provincia de la Altiplanicie, así como pequeñas áreas hacia el N de Zacatecas, en las estribaciones de la provincia de la Sierra Madre Oriental; estas provincias florísticas pertenecen a la región Xerofítica Mexicana y Mesoamericana de Montaña, respectivamente (Rzedowski, 1992). El principal tipo de vegetación en esta zona es el matorral xerófilo, categoría que agrupa aquellas comunidades de porte arbustivo, propias de las zonas áridas y semiáridas (Rzedowski, 1978). El «distrito I» se puede dividir a su vez en dos subgrupos; el primero de ellos (Ia) incluye 10 UGOs, ubicados en el NE del estado y el segundo (Ib) incluye nueve UGOs, localizados en su porción central (Fig. 1). Esta división puede ser asociada a los tipos de climas y de vegetación registrados en el estado. El subgrupo Ia se ubica como parte de la zona árida, con una marcada aridez en el N y menor hacia el S y con matorrales xerófilos, sobre

todo de tipo micrófilo y rosetófilo, los cuales prosperan sobre litosoles y xerosoles ligeramente alcalinos, ricos en carbonato de calcio (SPP, 1981). Algunas UGOs del N, que corresponden a la Sierra Madre Oriental, presentan un clima semifrío y albergan bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc., *P. johannis* M.F. Robert-Passini y *P. pinceana* Gord.). El subgrupo Ib se ubica como parte de la zona semiárida, con clima BS₁ y allí se encuentran matorrales xerófilos, sobre todo espinosos y crasicuales. Estas comunidades se desarrollan sobre suelos aluviales (castañozem y feozem), de pH ligeramente ácido.

El «distrito II» agrupa nueve UGOs, ubicadas al O y SO del estado (Fig. 1). La mayor parte de la región corresponde a la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental (SPP, 1981) y en ella convergen las provincias florísticas Sierra Madre Occidental, Costa Pacífica y Altiplanicie (Rzedowski, 1978). El área se asocia con climas templados en las partes altas de la sierra, semicálidos a cálidos en las tierras bajas. El gradiente altitudinal varía de 1063 a 2670 msnm. El bosque de *Quercus* es el tipo de

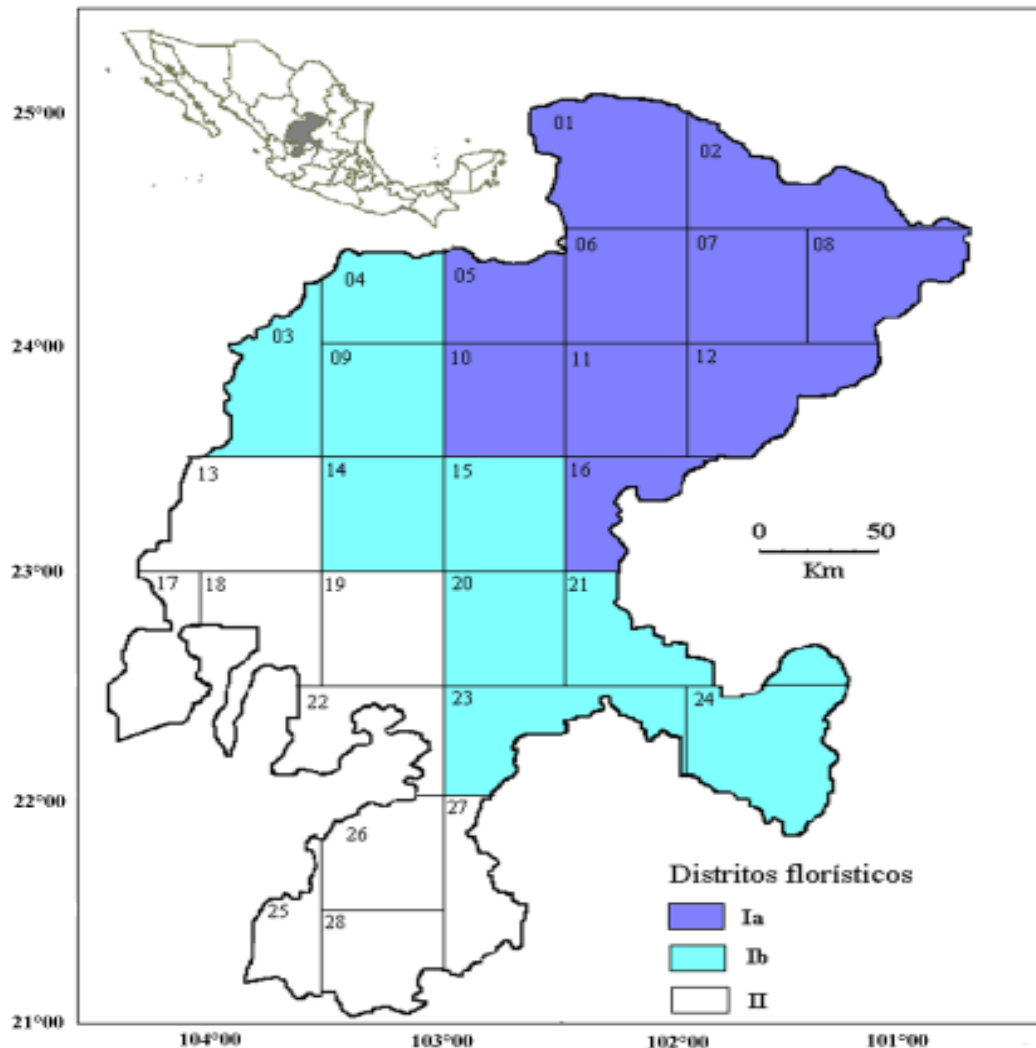


Figura 1. División del estado de Zacatecas en unidades geográficas operativas (UGOs) y «distritos florísticos» obtenidos del análisis de agrupamiento usando la riqueza total de especies de Asteraceae.

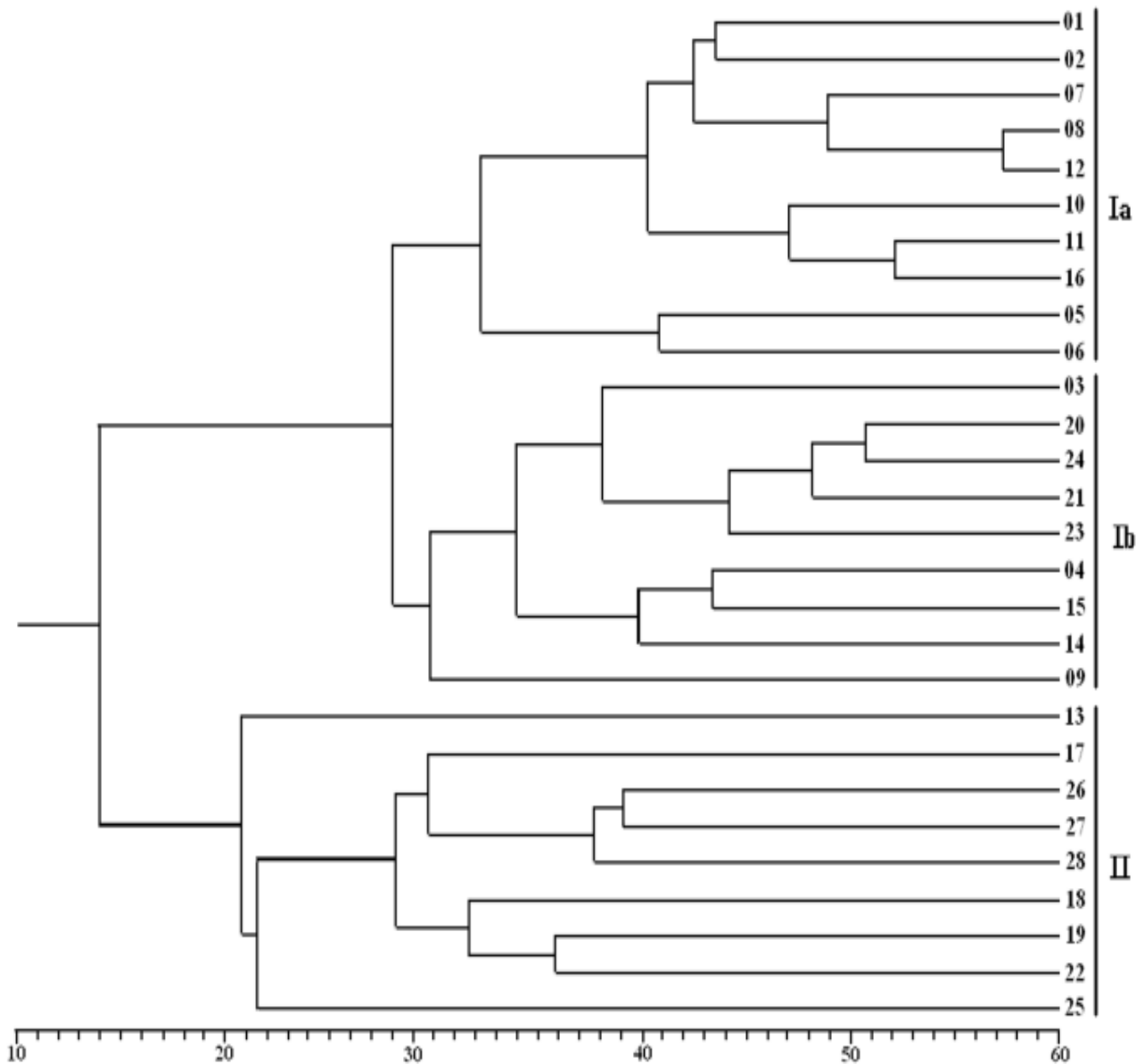


Figura 2. Similitud florística entre las 28 unidades geográficas operativas (UGOs) en que se dividió al estado de Zacatecas, con base en la riqueza total de especies de Asteraceae. Coeficiente de similitud utilizado: Jaccard; método de agrupamiento: UPGMA.

vegetación predominante en la porción con clima templado. La cubierta vegetal en las zonas con clima semicálido y cálido corresponde al bosque tropical caducifolio.

Discusión

Las UGOs con mayor riqueza de especies se caracterizan por poseer varios tipos de vegetación y un intervalo altitudinal amplio. Dado que las Asteraceae no se distribuyen de manera uniforme entre las diferentes comunidades vegetales (Balleza y Villaseñor, 2002), es importante considerar el número y los tipos de vegetación presentes en una determinada UGO. Las UGOs donde se registra el mayor número de especies son también las más ricas en endemismos ($r = 0.963$; $p < 0.0001$). Resultados similares se han obtenido para Asteraceae (Villaseñor et al.,

1988), Agavaceae (García-Mendoza, 1995) y Cucurbitaceae (Lira et al., 2002) en escala nacional. Sin embargo, este no es el caso para otros organismos, por ejemplo, mamíferos (Ceballos y Rodríguez, 1993; Fa y Morales, 1993) y aves (Escalante et al., 1993).

El número de colectas es mayor en las UGOs que muestran los valores más altos de riqueza de especies ($r = 0.925$; $p < 0.0001$). Por ejemplo, la UGO 28 registra la mayor riqueza y el mayor número de colectas (en promedio, cinco ejemplares por especie); lo anterior se explica porque la región cuenta con estudios florísticos para el Cerro de la Cantarilla, municipio de Moyahua (Enríquez, 1998) y para el Cerro de Piñones, municipio de Juchipila (Balleza y Villaseñor, en preparación). Además, la región ha sido explorada florísticamente por otros investigadores por

albergar la única población conocida de *Pinus maximartinezii* Rzed., una especie endémica de Zacatecas. La UGO 3 también cuenta con un inventario de la flora de la Sierra de Órganos, municipio de Sombrerete (Enríquez et al., 2003), pero registra un esfuerzo de colecta similar a todas las demás (en promedio, dos ejemplares por especie). En general, el esfuerzo florístico es proporcional a la accesibilidad y a la abundancia de Asteraceae en las comunidades vegetales de cada una de las UGOs.

El número de especies por UGO (diversidad alfa) no es suficiente para explicar la riqueza de Asteraceae de Zacatecas (diversidad gama), ya que la UGO más diversa alcanza solamente el 41.7% de la riqueza total de especies (alfa promedio = 88). Es probable que la alta diversidad beta, que se manifiesta por los bajos índices de similitud entre las UGOs, explique mejor la gran riqueza de especies de Asteraceae en Zacatecas (Magurran, 1988). Un patrón de riqueza semejante es observado por Arita et al. (1997) para la mastozoofauna de México. El agrupamiento de las UGOs con base en los valores de similitud de su riqueza de Asteraceae revela una división entre el NE y el SO de Zacatecas (Fig. 1). Esta división coincide en general con la distribución de la cubierta vegetal y con los rasgos climáticos, fisiográficos y geológicos del estado (SPP, 1981). Los resultados del presente estudio indican que las Asteraceae se pueden dividir en dos grupos de especies: i) aquellas que prosperan preferentemente en las condiciones de aridez que se presentan en la Altiplanicie y ii) aquellas que se distribuyen básicamente en hábitats con climas templados y cálidos de la Sierra Madre Occidental.

Además de la relación encontrada con los factores ambientales, los patrones de distribución observados por las Asteraceae de Zacatecas, pueden entenderse mejor considerando algunos aspectos históricos discutidos por otros autores. Desde la formación de las Sierras Madre Occidental y Oriental en el Cretácico y del Desierto Chihuahuense a finales del Plioceno (Consejo de Recursos Minerales, 1991), tales regiones han funcionado como islas ecológicas (Rzedowski, 1991b). La presencia de estas islas y su carácter dinámico, en función de los profundos cambios fisiográficos y climáticos que las afectaron, han contribuido a la notable riqueza florística de cada una de estas regiones. Asimismo, Rzedowski (1973) opina que el Desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Occidental, sin dejar de ser diferentes, tienen muchas especies en común. Los resultados del presente trabajo también apoyan dicha observación, pues de las 456 especies que se registran para Zacatecas, 103 (48 endémicas de México) se han recolectado únicamente en el «distrito I», que forma parte del Desierto Chihuahuense (provincia de la Altiplanicie Mexicana), 187 (122 endémicas de México) en el «distrito II», que forma parte de la provincia de la Sierra Madre Occidental y 166 (73 endémicas de México) que comparten ambos.

El presente esquema de subdivisión fitogeográfica de Zacatecas, muestra correspondencia con factores ambientales,

pero para determinar su congruencia biogeográfica, es necesaria la información de otros grupos de la biota; por ejemplo, árboles o vertebrados terrestres (que también se consideran, como las Asteraceae, grupos indicadores de biodiversidad). En el futuro, esta información permitirá determinar más claramente las relaciones biogeográficas que Zacatecas presenta con otras regiones del país y facilitará también la ubicación de sitios prioritarios para la conservación de su biota.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de tesis doctoral del primer autor y fue posible realizarlo gracias al apoyo económico que para el estudio de la biogeografía y conservación de las Asteraceae en el estado de Zacatecas fue otorgado por el CONACYT (28575N). Se agradece a Enrique Ortiz y a Isidro Méndez su ayuda en la realización de las figuras y los análisis numéricos. José Luis Villaseñor agradece al CONACYT el apoyo brindado mediante una beca, durante la estancia sabática asociado a la Universidad Autónoma de Zacatecas. La asesoría y discusión con Jorge López-Blanco fue fundamental para culminar este trabajo.

Literatura citada

- Arita, H., F. Figueroa, A. Frisch, P. Rodríguez y K. Santos del-Prado. 1997. Geographical range size and the conservation of mexican mammals. *Conservation Biology* 11: 92-100.
- Balleza C., J. J y J. L. Villaseñor. 2002. La familia Asteraceae en el estado de Zacatecas (México). *Acta Botánica Mexicana* 59: 5-69.
- Birks, H. J. B. 1976. The distribution of European Pteridophytes: a numerical analysis. *New Phytologist* 77: 257-287.
- Birks, H. J. B. 1987. Recent methodological developments in quantitative descriptive biogeography. *Annales Zoologici Fennici* 24: 165- 178.
- Ceballos, G. y P. Rodríguez. 1993. Diversidad y conservación de los mamíferos de México: patrones de endemidad. *In* Avances en el estudio de los mamíferos de México. R.A. Medellín y G. Ceballos (eds.). Publicaciones especiales. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., México, D.F., p. 87-107.
- Consejo de Recursos Minerales. 1991. Monografía geológica-minera del estado de Zacatecas. México, D. F. 154 p.
- Cox, C. B. 2001. The biogeographic regions reconsidered. *Journal of Biogeography* 28: 511-523.
- Crovello, T. J. 1981. Quantitative biogeography: an overview. *Taxon* 30: 563-575.
- Enríquez E., E. D. 1998. Estudio florístico del cerro La Cantarilla, municipio de Moyahua, Estado de Zacatecas, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 86 p.
- Enríquez E., E. D., S. D. Koch y M. S. González-Elizondo.

2003. Flora y vegetación de la Sierra de Órganos, municipio de Sombrerete, Zacatecas, México. *Acta Botánica Mexicana* 64: 45-89.
- Escalante, P., A. G. Navarro y A. T. Peterson. 1993. A geographic, ecological, and historical analysis of land bird diversity 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. 281-307.
- Espinosa O., D., J. J. Morrone, Z. C. Aguilar y J. Llorente B. 2000. Regionalización biogeográfica de México: Provincias Bióticas. *In* Sistemática, y biogeografía de artrópodos mexicanos: hacia una síntesis de su conocimiento. J. Llorente, E. González y N. Papavero (eds.) Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., vol. 2, p. 61-94.
- Fa, J. E. y L. M. Morales. 1993. Patterns of mammalian diversity in Mexico. *In* Biological diversity of Mexico: origins and distribution. T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). Oxford University Press, Nueva York., p. 281-307.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª edición particular. México, D.F. 217 p.
- García-Mendoza, A. 1995. Riqueza y endemismo de la familia Agavaceae en México. *In* Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques. E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. S. Elias (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., p. 11-23.
- Goldman, E. A. y R. T. Moore. 1945. The biotic provinces of Mexico. *Journal of Mammalogy* 26: 347-360.
- Halfter, G. y M. E. Favila. 1993. The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analyzing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. *Biology International* 27: 15-21.
- Ibarra-Manríquez, G., J. L. Villaseñor, R. Durán y J. Meave. 2002. Biogeographical analysis of the tree flora of Yucatan Peninsula. *Journal of Biogeography* 29: 17- 29.
- Jardine, N. 1972. Computational methods in plant distributions. *In* Taxonomy, phytogeography and evolution. D. H. Valentine (ed.). Academic, London, p. 381-393.
- Lira, R., J. L. Villaseñor y E. Ortiz. 2002. A proposal for the conservation of the family Cucurbitaceae in México. *Biodiversity and Conservation* 11: 1699-1720.
- Luna, I., O. Alcántara, D. Espinosa y J. J. Morrone. 1999. Historical relationships of the Mexican cloud forest: a preliminary vicariance model applying Parsimony Analysis of Endemicity to vascular plant taxa. *Journal of Biogeography* 26: 1299-1305.
- Magurran, J. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey. 179 p.
- Morrone, J. J. y J. Márquez. 2001. Halfter's Mexican Transition Zone, beetle generalised tracks, and geographical homology. *Journal of Biogeography* 28: 635-650.
- Murguía, M. y F. Rojas. 2001. Biogeografía cuantitativa. *In* Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. J. Llorente y J. J. Morrone (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., p. 39-47.
- Rohlf, F. J. 1997. NTSYS. Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version 2.0. Applied Biostatistics, New York.
- Rzedowski, J. 1973. Geographical relationships of the flora of Mexican dry regions. *In* Vegetation and vegetational history of Northern Latin America. A. Graham (ed.). Elsevier Scientific, Amsterdam, p. 61-72.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Limusa, México, D. F. 432 p.
- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- Rzedowski, J. 1991b. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* 15: 47-64.
- Rzedowski, J. 1992. Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas). Mapa IV.8.3 Naturaleza. *In* Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Smith, H. 1941. Las provincias bióticas de México, según la distribución geográfica de las lagartijas del género *Sceloporus*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 2: 103-110.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1981. Síntesis Geográfica de Zacatecas. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México, D. F. 222 p.
- Stork, N. E. 1994. Inventories of biodiversity: more than a question of numbers. *In* Systematics and conservation evaluation. P. L. Forey, C. J. Humphries y R. I. Vane-Wright. (eds.). Systematic Association, Special Volume 50. Clarendon Press, Oxford, p. 81-100.
- Takhtajan, A. 1986. Floristic regions of the world. University of California Press, Berkeley, California. 521 p.
- Villaseñor, J. L. 1990. The genera of Asteraceae endemic to Mexico and adjacent regions. *Aliso* 12: 685-692.
- Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28: 1-7.
- Villaseñor, J. L., G. Ibarra-Manríquez y D. Ocaña. 1998. Strategies for the conservation of Asteraceae in Mexico. *Conservation Biology* 12: 1066-1075.