



## Las cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: estimación de la calidad del muestreo

### The cacti of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: estimation of the quality of sampling

César Miguel-Talonia, Oswaldo Téllez-Valdés<sup>✉</sup> y Miguel Murguía-Romero

Laboratorio de Recursos Naturales. Unidad de Biotecnología y Prototipos. Laboratorio 7. Unidad de Biomedicina. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, 54090, Tlalnepantla de Baz, Estado de México, México.

✉ [tellez@servidor.unam.mx](mailto:tellez@servidor.unam.mx)

**Resumen.** El Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC) es conocido, entre otros motivos, por la riqueza y endemismo de cactáceas que alberga, pero ¿cómo se distribuye esta familia en el VTC, los registros disponibles de éstas son representativos de su distribución geográfica? Los objetivos del presente trabajo son describir la distribución espacial de las especies de cactáceas en el VTC y estimar la calidad del muestreo. Con base en la incidencia de las especies dentro de unidades geográficas operativas (UGO) de 5 minutos de longitud y latitud, y mediante técnicas de la biogeografía cuantitativa, se construyó un mapa de la riqueza de especies y se calculó el tamaño del área de distribución de cada una. Se estimó la riqueza de la familia Cactaceae y se evaluó la calidad del muestreo de cada UGO con el estimador no paramétrico Chao2. Se encontró: 1) una concentración alta (63.4%) de especies en la subregión Valle de Zapotitlán; 2) una riqueza observada de 71 especies en todo el VTC y una riqueza estimada de 76 especies; 3) 53% del total de UGO (85 de 159) con adecuada calidad de muestreo (estimación de calidad > 75%), y 4) 63.4% de las especies (45 de 71) con distribución restringida en menos del 10% dentro del área de estudio.

Palabras clave: biogeografía cuantitativa, Cactaceae, estimación de riqueza, tamaño del área de distribución.

**Abstract.** Cacti richness and endemism from Tehuacán-Cuicatlán Valley (VTC) is well known but the quality sampling is not. The aim of this work was to describe the distribution of cacti species in the VTC and assess the quality sampling. We generated a species richness map and estimated the distribution area for every species, with the aid of quantitative biogeography techniques based on species incidence records within Operative Geographic Units (OGU). We used a grid of 159 OGUs (cells 5' longitud x 5' latitude). Cacti richness and quality sampling in each OGU was assessed with the Chao2 non-parametric estimator. Results indicated: 1) high (63.4%) species concentration in the subregion of Zapotitlán Valley; 2) a richness of 71 species in the VTC and a total estimated richness of 76 species; 3) an adequate quality sampling (> 75%) in 53% (85 out of 159) of the total of OGU; and 4) a restricted distribution in 63.4% (45 out of 71) of species in at least less than 10% of VTC area.

Key words: quantitative biogeography, Cactaceae, richness estimation, distribution range size.

### Introducción

Las especies de las familias Agavaceae, Cactaceae, Fouquieriaceae, Nolinaceae, por referir algunas, se restringen principalmente a ambientes áridos o semiáridos. Por su tamaño, muchas de esas especies son sobresalientes fisonómicamente y, otras, aunque tienen tallas pequeñas, son abundantes. Ambos escenarios contribuyen a la riqueza florística y paisajística de su área de distribución.

El caso de las cactáceas es particularmente interesante, ya que, además de habitar en zonas áridas, las especies de esta familia han podido establecerse en otros tipos de

vegetación como matorral de dunas (Torres et al., 2010), bosque tropical caducifolio, bosques templados, entre otros (Rzedowski, 2006).

La familia Cactaceae es originaria del continente americano (Anderson, 2001). Sin embargo, presenta su máxima diversidad e importancia en el territorio mexicano (Hernández y Godínez, 1994) con alrededor de 670 especies, de las cuales cerca del 80% son endémicas del país (Guzmán, 2009). Tal riqueza no se distribuye homogéneamente; por lo tanto, existen zonas específicas que ostentan una notable riqueza. Ejemplo de ello es el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC), el cual cuenta con una alta diversidad biológica (Dávila et al., 2002) y también es una de las 3 zonas semiáridas de México con mayor número de elementos endémicos (Villaseñor et al.,

1990; Rzedowski, 1991; Dávila et al., 1995). Debido a lo anterior, es de importancia el estudio de la distribución geográfica de las especies al interior de estos centros de alta diversidad.

La biogeografía se encarga de estudiar la distribución de los seres vivos en contextos tanto espaciales como temporales (Morrone y Crisci, 1995; Zunino y Zullini, 2003). Particularmente, la biogeografía cuantitativa—definida como el uso de métodos computacionales que generalmente requieren el uso de algún software especializado—ayuda a responder preguntas biogeográficas y, aunque su objetivo es establecer relaciones de similitud entre las unidades geográficas operativas (OGU, por sus siglas en inglés; Crovello, 1981; Birks, 1987), también es útil para dilucidar patrones de distribución de los taxa (Murguía y Rojas, 2001), especialmente de su riqueza (Miguel-Talonia, 2011).

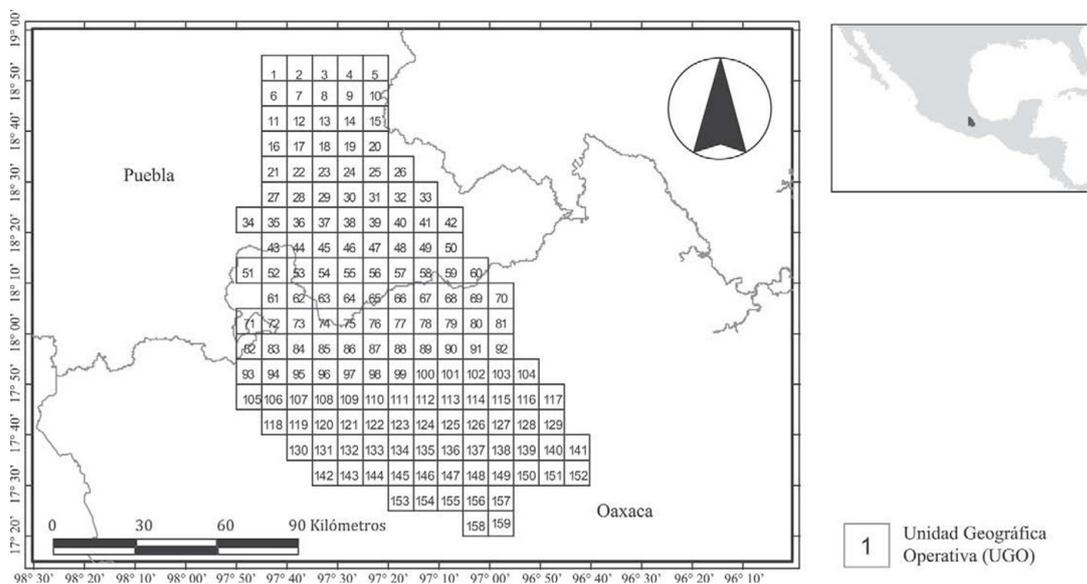
Los objetivos del presente estudio son describir la distribución de la familia Cactaceae dentro de los límites del VTC, así como determinar el tamaño del área de distribución de sus especies para, finalmente, evaluar la calidad de muestreo de los registros en las bases de datos mediante herramientas de la biogeografía cuantitativa.

### Materiales y métodos

**Área de estudio.** El VTC ocupa porciones de los estados de Puebla y Oaxaca (Fig. 1), en lo que se denomina Provincia Florística Tehuacán-Cuicatlán, que pertenece a la Región

Xerofítica Mexicana del Reino Neotropical (Rzedowski, 2006). Dentro de este Valle se encuentra la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), decretada en 1998 como Área Natural Protegida (DOF, 1998). La compleja geomorfología del VTC tiene un intervalo altitudinal que va desde los 400 hasta los 3 200 m snm, aproximadamente. En cuanto al clima, predominan los del tipo seco, seguidos por el templado subhúmedo de las partes altas. La aridez del VTC es originada por el efecto de sombra orográfica de la sierra Zongolica que forma parte de la sierra Madre del Sur. En lo que respecta a la vegetación, al norte del Valle predomina el bosque tropical caducifolio después del matorral xerófilo, mientras que en las partes elevadas del sur existe bosque de pino-encino y pequeñas porciones de bosque mesófilo de montaña (Arriaga et al., 2000). Valiente-Banuet et al. (2000) han reconocido 29 asociaciones vegetales, de las cuales, 9 están dominadas fisonómicamente por alguna(s) de las siguientes cactáceas columnares: *Cephalocereus columna-trajani*, *Escontria chiotilla*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *N. mezcalaensis*, *N. tetetzo*, *Pachycereus fulviceps*, *P. weberi*, *Polaskia chichipe*, *Stenocereus stellatus* y *S. dumortieri*. De acuerdo con Arias et al. (2012) en el VTC existen 86 especies de cactáceas que pertenecen a 28 géneros.

**Base de datos.** Se generó una base de datos con 2 448 registros de cactáceas obtenidos de la Red Mundial de Información sobre la Biodiversidad (Remib) y la base de datos de la FES-Iztacala sobre la distribución de la flora de la RBTC.



**Figura 1.** Unidades geográficas operativas (UGO) del Valle de Tehuacán-Cuicatlán definidas en el estudio. Cuadros de 5' latitud x 5' longitud.

*Unidades geográficas operativas (UGO).* La zona de estudio se dividió en 159 UGO de 5 minutos de longitud por 5 minutos de latitud (Fig. 1). Se elaboró una matriz de presencia-ausencia en la base de datos con 159 UGO y 71 especies, en donde cada entrada estuvo constituida por 0 o 1 que representan ausencia o presencia de las especies en cada UGO, respectivamente.

*Distribución geográfica, estimación de la riqueza y calidad del muestreo.* La diversidad alfa definida como el número de especies presentes en cada UGO se determinó al sumar todas las presencias de cada UGO en la matriz y se generó un mapa. Posteriormente, se estimó la riqueza de la familia con el índice no paramétrico Chao2 (Colwell y Coddington, 1994), el cual se obtiene mediante la igualdad  $S_{est} = S_{obs} + Q_1^2 / 2Q_2$ , en donde  $S_{est}$  es la riqueza estimada,  $S_{obs}$  es la riqueza observada,  $Q_1$  es el número de especies cuya distribución abarca una UGO y  $Q_2$  es el número de especies que su distribución abarca exactamente 2 UGO. Después se estimó la calidad del muestreo ( $E_s$ ) con el índice propuesto por Murguía y Villaseñor (2000) que involucra dividir la riqueza observada entre la estimada. Para ello, cada UGO se dividió en 9 cuadros para estimar la riqueza dentro de cada unidad de análisis, dicha estimación se realizó con la fórmula Chao2 corregida (Colwell, 2009). Finalmente, con los resultados se generó un mapa de la calidad del muestreo de cactáceas dentro del VTC.

*Tamaño del área de distribución.* Basado en la lógica de las variables  $Q_1$  y  $Q_2$  del índice de Chao2 se calcularon las variables  $Q_3, Q_4, Q_5, \dots, Q_n$  para establecer el tamaño del área de distribución de las especies de cactáceas en relación con el número de UGO, como es sugerido por Rapoport (1975).

## Resultados

En la base de datos se encontraron 71 especies de cactáceas, de las cuales 18 son endémicas al VTC (Cuadro 1). El mapa de la riqueza muestra una distribución heterogénea (Fig. 2), 44 de las 159 UGO no tienen registro alguno, por otro lado, entre las 115 UGO restantes la riqueza varía notablemente, de tal forma que hay UGO que contienen de 1 a 3 especies y UGO con más de 30. Las UGO con mayor diversidad alfa son las número 30, 46, 38, 45 y 54 con 37, 33, 30, 29 y 27 especies, respectivamente, ubicadas en los municipios Tehuacán, Zapotitlán y Caltepec en la entidad de Puebla. De manera general, las cactáceas ocupan alrededor del 70% del VTC (Fig. 2) y la estimación de su riqueza es de 76 especies según el índice empleado. La región "Valle de Zapotitlán y La Cañada" constituida por 26 UGO (Miguel-Talonia, 2011) alberga 55 de las 71 especies, es decir, el 77.5% de las familias se distribuye en el 16.4% del área de estudio. Los géneros con

mayor número de especies son *Mammillaria* (21 especies) y *Opuntia* (13) (Cuadro 1).

El análisis de la calidad del muestreo de especies, cuyos registros están vertidos en las bases de datos, mostró que 103 UGO (89.6% del área de estudio) tienen valores superiores a 0.5 (Cuadro 2), de éstas sólo 53 presentan el máximo valor posible (= 1; Fig. 3).

En cuanto al tamaño del área de distribución, se observa un patrón en el que hay varias especies con distribución restringida y pocas con distribución menos reducida, comparativamente. En general, 63.4% de las especies (45 de 71) tienen distribución restringida en menos del 10% de la superficie del VTC. La familia incluye 14 especies que su distribución abarca menos de 2 UGO (72 km<sup>2</sup>; Fig. 4). Dentro de este grupo *Mammillaria supertexta*, *M. hernandezii* y *Opuntia tehuacana* son especies endémicas al VTC y su distribución comprende solamente una UGO; mientras que las especies con mayor distribución son *M. haageana* (en 47 UGO), *Ferocactus recurvus* (42 UGO), *O. pilifera* (41 UGO), *Coryphantha pallida* (36 UGO), *M. carnea* (35 UGO) y *Myrtillocactus geometrizans* (35 UGO) (Cuadro 1).

## Discusión

Recientemente, se ha publicado un trabajo que incluye mapas de la distribución de cactáceas mexicanas a nivel de país cuyo análisis está basado en cuadros con una resolución de 30' de longitud y latitud (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011). En dicho trabajo se destaca al VTC como una de las zonas con mayor concentración de especies de cactáceas, a pesar de no incluir géneros con abundantes especies como lo son *Mammillaria* y *Coryphantha*. No obstante, estos 2 géneros tienen varias especies distribuidas dentro del VTC, por ejemplo, 21 especies de *Mammillaria* constituyen cerca del 30% de las cactáceas del valle. Además, la resolución del análisis en ese estudio no permite apreciar la distribución de las especies dentro del VTC con mayor detalle como se muestra en la presente investigación (Fig. 2).

Con los registros obtenidos de las bases de datos se reconoce que la familia Cactaceae está presente en la mayor parte del VTC (72.32%), debido a que sus especies habitan también otros tipos de vegetación diferentes al matorral xerófilo, pero en este suelen ser elementos dominantes fisonómicamente (Osorio et al., 1996; Valiente-Banuet et al., 2000). La distribución de las cactáceas a nivel de familia muestra un patrón definido por su riqueza puntual, en el cual las UGO con los valores más altos de diversidad alfa están concentradas desde el norte del VTC, en el Valle de Zapotitlán, con una prolongación por la parte oriental hasta la parte sur del VTC (Fig. 2), en lo que Serrano-

**Cuadro 1.** Tamaño del área de distribución de las especies de cactáceas del VTC (distribución: número de UGO). \*Especies endémicas

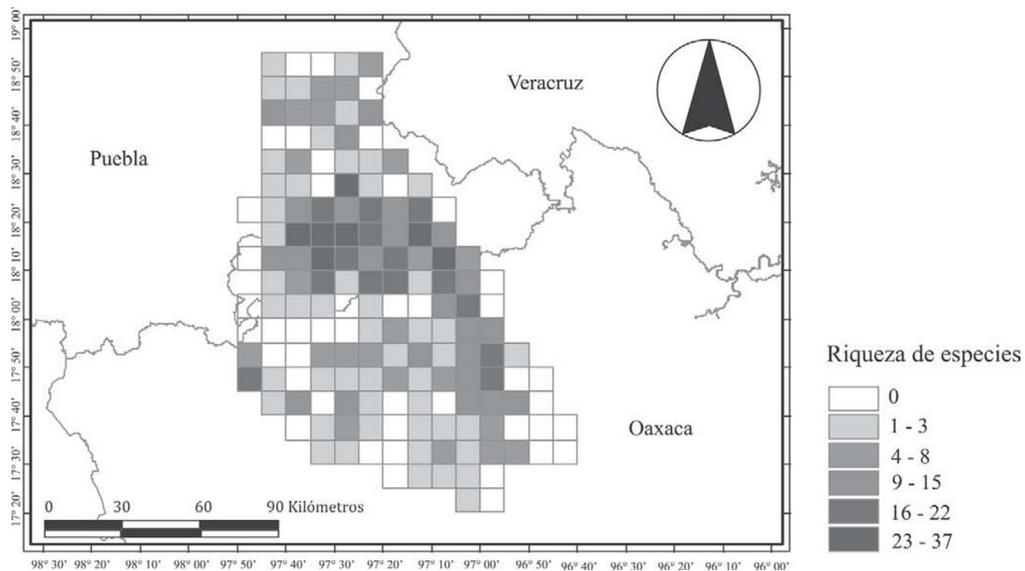
<i>Especie</i>	<i>Distribución</i>	<i>Especie</i>	<i>Distribución</i>
<i>Mammillaria haageana</i>	47	<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	8
<i>Ferocactus recurvus*</i>	42	<i>Cylindropuntia rosea</i>	8
<i>Opuntia pilifera</i>	41	<i>Neobuxbaumia macrocephala*</i>	8
<i>Coryphantha pallida</i>	36	<i>Mammillaria discolor</i>	7
<i>Mammillaria carnea</i>	35	<i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i>	7
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	35	<i>Peniocereus viperinus*</i>	7
<i>Opuntia pubescens</i>	34	<i>Stenocactus crispatus</i>	7
<i>Escontria chiotilla</i>	32	<i>Opuntia hyptiacantha</i>	6
<i>Stenocereus pruinosus</i>	32	<i>Mammillaria kraehenbuehlii</i>	5
<i>Pilosocereus chrysacanthus</i>	31	<i>Mammillaria pectinifera*</i>	5
<i>Pachycereus weberi</i>	27	<i>Mammillaria polyedra</i>	5
<i>Mammillaria sphaclata*</i>	25	<i>Opuntia streptacantha</i>	5
<i>Opuntia depressa</i>	25	<i>Ferocactus macrodiscus</i>	3
<i>Marginatocereus marginatus</i>	24	<i>Mammillaria crucigera*</i>	3
<i>Mammillaria mystax</i>	20	<i>Mammillaria flavicentra</i>	3
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	20	<i>Mammillaria huitzilopochtli*</i>	3
<i>Opuntia huajuapensis</i>	20	<i>Mammillaria napina</i>	3
<i>Stenocereus stellatus</i>	19	<i>Mammillaria solisioides</i>	3
<i>Opuntia decumbens</i>	18	<i>Mammillaria zephyranthoides</i>	3
<i>Stenocereus dumortieri</i>	18	<i>Nyctocereus serpentinus</i>	3
<i>Coryphantha calipensis*</i>	17	<i>Stenocereus treleasei</i>	3
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	17	<i>Aporocactus martianus</i>	2
<i>Ferocactus flavovirens*</i>	17	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	2
<i>Lemaireocereus hollianus*</i>	17	<i>Cylindropuntia kleiniae</i>	2
<i>Mammillaria dixanthocentron*</i>	17	<i>Mammillaria uncinata</i>	2
<i>Pseudomitrocereus fulviceps*</i>	16	<i>Opuntia parviclada*</i>	2
<i>Cephalocereus columna-trajani*</i>	15	<i>Pachycereus grandis</i>	2
<i>Ferocactus robustus*</i>	15	<i>Disocactus ackermannii</i>	1
<i>Opuntia velutina</i>	15	<i>Disocactus macranthus</i>	1
<i>Polaskia chichipe</i>	15	<i>Mammillaria duoformis</i>	1
<i>Opuntia lasiacantha</i>	12	<i>Mammillaria hernandezii*</i>	1
<i>Coryphantha retusa</i>	11	<i>Mammillaria karwinskiana</i>	1
<i>Ferocactus haematacanthus</i>	11	<i>Mammillaria supertexta</i>	1
<i>Myrtillocactus schenckii</i>	10	<i>Mammillaria varieaculeata</i>	1
<i>Opuntia tomentosa</i>	10	<i>Opuntia tehuacana*</i>	1
<i>Polaskia chende*</i>	10		

Estrada (2010) y Miguel-Talonia (2011) denominaron “Valle de Zapotitlán y La Cañada” en los trabajos sobre regionalización biogeográfica con base en la distribución potencial de cactáceas columnares y la distribución de plantas perennes, respectivamente. Esta distribución es explicada por la afinidad a zonas áridas que la mayoría de las cactáceas presenta. De acuerdo con Hernández y Godínez (1994), las regiones con mayor número de especies de cactáceas amenazadas en México coinciden con sus zonas áridas y semiáridas. Además, el hecho de haber UGO con pocas especies influye de manera favorable en el recambio de especies, al respecto Arita y Rodríguez (2001) refieren que los valores bajos en la diversidad alfa propician una elevada diversidad beta.

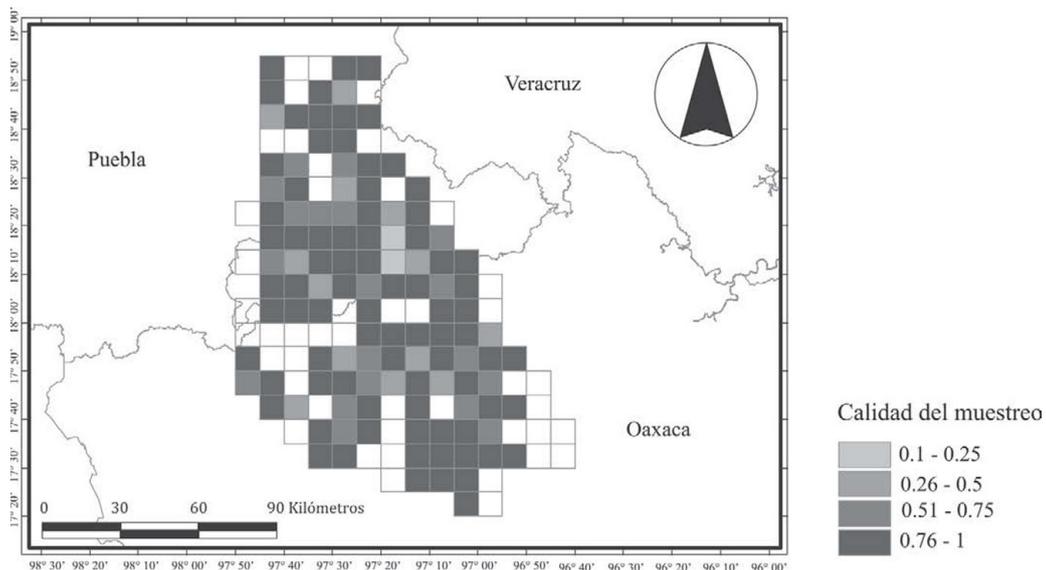
La diversidad gama del VTC, entendida como el

número de especies presentes en toda el área de estudio, es de 71 especies. La diferencia entre la diversidad gama (71) y la riqueza estimada (76) indica el número de especies que probablemente aún no está contemplado en las colecciones y bases de datos, en otras palabras, teóricamente faltan 5 especies de cactáceas por describir dentro de los límites del VTC.

Es evidente un patrón de agregación de UGO con elevada diversidad alfa; sin embargo, es indispensable evaluar un factor que interviene en el conocimiento de la distribución de las especies ligado al esfuerzo de recolecta en los análisis biogeográficos –que dan prioridad a la información espacial–. Murguía y Villaseñor (2000) proponen la evaluación de la calidad del muestreo, análisis basado en estimación de riqueza. Otros trabajos, como los



**Figura 2.** Distribución y diversidad alfa de la familia Cactaceae en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Cuadros de 5' latitud x 5' longitud.



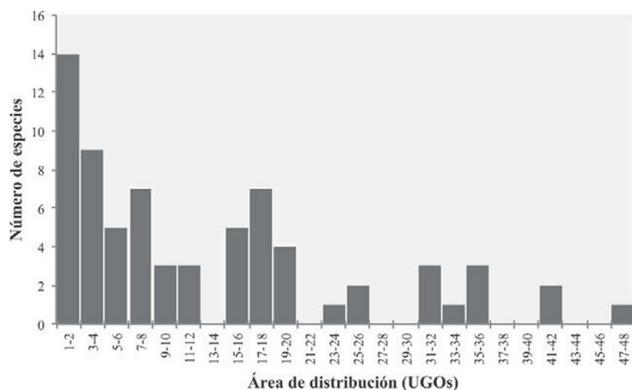
**Figura 3.** Estimación de la calidad del muestreo de cactáceas en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán representadas en las bases de datos. Cuadros de 5' latitud x 5' longitud.

de Soberón et al. (2007) y García et al. (2012), también recurren a la riqueza de especies y a su estimación para evaluar la calidad de la información disponible en las bases de datos. La importancia de dicho análisis consiste en proporcionar un soporte a la distribución biogeográfica, es decir, indica que los registros almacenados en las bases de datos son suficientes en la resolución empleada para representar espacialmente a las cactáceas en el VTC.

Los resultados de la calidad del muestreo revelan una adecuada representatividad de cactáceas en las bases de datos, puesto que el 89.5% del conjunto de UGO que comprende la distribución de la familia tiene un valor de  $E_s$  igual o mayor a 0.5, la mitad del rango posible. Cincuenta y cinco UGO presentan valores de 1; o sea, la riqueza observada dentro de la UGO es igual a la riqueza esperada en esa unidad de análisis. En general, las UGO con poca

**Cuadro 2.** Frecuencia de UGO por calidad de muestreo

Estimación de riqueza (%)	Número de UGO's
1 - 25	2
26 - 49	10
50 - 75	22
76 - 100	81



**Figura 4.** Frecuencia de tamaños de áreas de distribución de las especies de cactáceas.

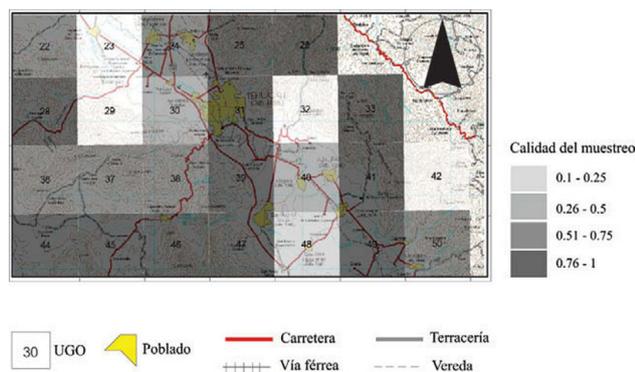
riqueza son las que mantienen los mejores valores para la calidad del muestreo. En este caso, es pertinente referir que en el VTC hay zonas con ambientes templados, las cuales albergan bosques de *Pinus*, *Quercus*, *Abies* e incluso bosque mesófilo de montaña, en donde difícilmente se recolectan o registran especies de Cactaceae en forma significativa. No obstante, las UGO 30 y 57, ubicadas en ambientes áridos, presentan alta riqueza, pero sus valores de calidad de muestreo son bajos.

La carencia de información en algunas de las UGO sugiere que no existe una recolecta con una cobertura lo suficientemente amplia, como para encontrar especies distribuidas en más de un punto en las bases de datos. McLaughlin (1995) señala que algunas floras no son muestras uniformes por diversas razones, entre las que destaca: la cobertura del muestreo, el esfuerzo de colecta y la diversidad del hábitat. Este último aspecto se traduce en una variedad ambiental amplia, especialmente fisiográfica, que conlleva a encontrar sitios inaccesibles en donde el investigador no puede recolectar como se constata en las zonas montañosas del VTC. Como ejemplo, en la figura 5 se observa que las UGO 45 y 46 tienen una adecuada calidad del muestreo (> 0.75), debido, seguramente a la presencia de caminos que facilitan el trabajo de campo; además, cabe apuntar que el Valle de Zapotitlán (relacionado con la UGO 46) es una de las zonas más estudiadas

florísticamente (Osorio et al., 1996; Valiente-Banuet et al., 2000). La UGO 42 no tiene registros de cactáceas (Figs. 2 y 5), ya que es una zona con vegetación propia de climas templados en donde la presencia de cactáceas se reduce considerablemente o éstas no existen; en el caso de esa UGO se aprecia la ausencia de caminos como otro aspecto que influye en el conocimiento de la riqueza de especies y, por tanto, de la calidad del muestreo. Las actividades económicas primarias –como los cultivos– sustituyen a la vegetación nativa, por ejemplo, los cultivos de caña, maíz, frijol y otras hortalizas entre los poblados de Ajalpan y Altepexi (UGO 40); en este sentido, resulta trascendental si en un futuro se actualizan las bases de datos con la entrada de información que refleje la sustitución de la biodiversidad por aquella propiciada por las actividades humanas.

A partir de los estudios areográficos surgen generalizaciones en biogeografía relacionadas con las áreas de distribución. Una de ellas plantea que hay un gran número de especies con distribución en áreas pequeñas y un número reducido de especies que ocupan áreas amplias, lo que Rapoport (1975) describe como distribución de tamaños. Tal patrón está documentado en la flora nativa del occidente de Estados Unidos (McLaughlin, 1995), los mamíferos terrestres y quirópteros continentales mexicanos (Arita et al., 1997), las asteráceas de Zacatecas (Balleza et al., 2005) y, recientemente en la flora del VTC (Miguel-Talonia, 2011). En el presente trabajo de investigación se encuentra un patrón similar (Fig. 4), en el cual 16 especies de cactáceas nativas abarcan menos de 2 UGO y 1 especie, *M. haageana*, ocupa 47 UGO (Cuadro 1).

El tamaño del área de distribución se usa para determinar la rareza de las especies (Arita y Rodríguez, 2001) puesto que focaliza los taxones con distribución limitada. Arita et al. (1997) citan que la rareza medida por el tamaño del área de distribución provee un criterio alternativo para preservar la biodiversidad independiente a la riqueza de especies. Por otro lado, Gómez-Hinostrosa y Hernández (2000) refieren, en su trabajo sobre cactáceas de la región de Mier y Noriega en el Desierto Chihuahuense, que el cálculo de la *expansión geográfica* junto con otros parámetros es una opción para evaluar el grado de vulnerabilidad de las especies. Balleza et al. (2005) consideran como raras a las especies que sólo se distribuyen en 1 UGO del estado de Zacatecas. Sin embargo, una forma adecuada de considerar la rareza de una especie es tomar en cuenta la extensión total de la distribución de los taxones, aunque quienes toman en cuenta esta última propuesta usan la mediana aritmética para diferenciar a las especies con distribución amplia de las de distribución restringida (Arita et al., 1997; Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000). Por ejemplo, si se considera esta medida para el presente estudio (mediana=



**Figura 5.** Factores que intervienen en la calidad del muestreo: caminos, poblados, sitios inaccesibles.

10) se obtienen 38 especies con distribución restringida dentro del VTC. No obstante, parte de ese grupo de cactáceas lo constituyen especies que no necesariamente son ‘raras’ en términos de distribución geográfica, como *Cylindropuntia imbricata* (2 UGO), *Pachycereus grandis* (2 UGO), *M. zephyranthoides* (3 UGO), puesto que su distribución va más allá de los límites del VTC, incluso de los estados de Puebla y Oaxaca (Guzmán et al., 2003). El término ‘distribución amplia’ dentro del VTC es relativo, ya que la cactácea con mayor distribución (*M. haageana*) es encontrada en 47 UGO, correspondientes al 40.86% del área de distribución de la familia y el 29.55% del área de estudio. En este sentido, es conveniente referirse a la amplitud distribucional de un taxón comparándolo con la de otro; por ejemplo, *M. hernandezii*, *M. huitzilopochtli*, *M. crucigera*, *M. pectinifera* y *O. tehuacana* tienen una distribución más restringida que otros miembros de la familia Cactaceae y, además, son elementos endémicos al VTC (Cuadro 1).

En resumen cabe enfatizar que: los datos obtenidos de las bases de datos, procesados mediante las herramientas inherentes a la biogeografía cuantitativa, muestran un panorama acerca de la distribución de la familia Cactaceae en el VTC. Las especies de cactáceas se concentran en la región denominada “Valle de Zapotitlán y La Cañada”, particularmente en la porción del Valle de Zapotitlán. El patrón biogeográfico de la riqueza está sustentado por los resultados de la calidad del muestreo; no obstante, las derivaciones de este análisis y la estimación de la riqueza sugieren que en cierta medida aún falta por conocer el VTC en términos de su riqueza.

Los análisis permiten inferir la posibilidad de encontrar nuevas especies como ha ocurrido con *Opuntia chiangiana* (Scheinvar y Manzanero, 2009) y *O. olmeca* (Pérez et

al., 2005) descritas algunos años atrás. También se ha documentado en bosque tropical caducifolio a *Rhipsalis baccifera* (Arias et al., 2012), una especie epífita. Sin embargo, cambios como éstos se reflejan en la literatura (Arias et al., 1997, 2012), pero no en las bases de datos.

Es importante destacar que 5 especies (*Acanthocereus subinermis*, *Hylocereus undatus*, *Nopalea auberi*, *N. cochenillifera* y *Pereskopsis rotundifolia*) de las 86 registradas por Arias et al. (2012) son cultivadas, mismas que no se incluyen en el presente trabajo de investigación, debido a que su distribución está relacionada con actividades antropogénicas, introducción de especies. Además, 10 especies no están contempladas en las bases de datos como *Echinocereus pulchellus* y *M. tepexicensis*, puesto que *E. pulchellus* se considera extinta localmente y *M. tepexicensis* está fuera de los alcances del área de estudio.

Como comentario final, los distintos estimadores de riqueza han demostrado ser aplicables a las hipótesis relacionadas con el conocimiento y estimación probable de la diversidad biológica. Sin embargo, la inestabilidad taxonómica es un factor importante a considerar porque modifica el resultado en la estimación de la riqueza; en el caso particular de la familia Cactaceae, algunos de sus géneros, como *Mammillaria* y *Opuntia*, tienen complejos de especies que representan grupos con el número de especies aún indefinido. En el caso del VTC es relevante, por presentarse un número importante de especies de estos géneros.

## Agradecimientos

Agradecemos al Biól. Ulises Guzmán sus valiosos comentarios al manuscrito. Al programa Papca (Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera) de la FES Iztacala 2006-2007 y 2007-2008, al programa “Por amor al planeta” de la compañía automotriz Volkswagen de México, a la DGAPA-UNAM, los proyectos PAPIIT (Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica) IN212407, IN216912 y IN225010, Conabio BK029 y HK040 y Conacyt 52479-Q, los cuales han apoyado el desarrollo de diversos proyectos que han permitido la estructuración de una importante base de datos y en particular, estudios relacionados con la distribución y conservación de las cactáceas en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

También deseamos expresar nuestra gratitud al Dr. Exequiel Ezcurra por la revisión del escrito, por sus comentarios y sugerencias en torno a las figuras que enriquecieron sustancialmente el presente texto. De igual forma, reconocemos el trabajo de los revisores anónimos.

## Literatura citada

- Anderson, E. F. 2001. The cactus family. Timber Press, Inc. The Haseltine Building. Oregon. 776 p.
- Arias, S., S. Gama y L. U. Guzmán. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14, Cactaceae A. L. Juss. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 146 p.
- Arias, S., S. Gama, B. Vázquez y L. U. Guzmán. 2012. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 95, Cactaceae Juss. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 240 p.
- Arita, H. T., 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.
- Arita, H. T. y P. Rodríguez. 2001. Ecología geográfica y macroecología. *In Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*, B. J. Llorente y J. J. Morrone (eds.). Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. p. 63-80.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. (coord.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 609 p.
- Balleza, J. J., J. L. Villaseñor y G. Ibarra-Manríquez. 2005. Regionalización biogeográfica de Zacatecas, México, con base en los patrones de distribución de la familia Asteraceae. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76:71-78.
- Birks, J. H. B. 1987. Recent methodological developments in quantitative descriptive biogeography. *Annales Zoologici Fennici* 24:165-178.
- Colwell, R. K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. EstimateS 8.2, User's guide and application. <https://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateSPages/EstSUUsersGuide/EstimateSUUsersGuide.htm#AppendixA>; última consulta: 02.IV.2012.
- Colwell, R. K. y J. A. Coddinton. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (series B)* 345:101-118.
- Crovello, T. J. 1981. Quantitative biogeography: an overview. *Taxon* 30:563-575.
- Dávila, P., M. C. Arizmendi, A. Valiente-Banuet, J. L. Villaseñor, A. Casas y R. Lira. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 11:421-442.
- Dávila, P., R. Medina, A. Ramírez, A. Salinas y P. Tenorio. 1995. Análisis de la flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán endemismo y diversidad. *In Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*, E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elías (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. México, D. F. p. 51-75.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 1998. Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Tehuacán-Cuicatlán, ubicada en los estados de Puebla y Oaxaca, Estados Unidos Mexicanos, Presidencia de la República. México, D. F. viernes 18 de septiembre de 1998. p. 8-20.
- García, J. R., C. F. Dormann, J. Henning, M. Schmidt, A. Thiombiano, S. Sylestre, C. Chatelain, S. Dressler y W. Barthlott. 2012. A methodological framework to quantify the spatial quality of biological databases. *In Vegetation databases for the 21<sup>st</sup> century*, J. Dengler, J. Oldeland, F. Jansen, M. Chytrý, J. Ewald, M. Finckh, F. Glöcker, G. López-González, R. K. Peet y J. H. J. Schaminée (eds.). *Biodiversity and Ecology* 4:25-39.
- Gómez-Hinostrosa, C. y H. M. Hernández. 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, México. *Biodiversity and Conservation* 9:403-418.
- Guzmán, L. U. 2009. Cactáceas mexicanas. Tesis, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 136 p.
- Guzmán, L. U., S. Arias y P. Dávila. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 315 p.
- Hernández, H. M. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana* 26:33-52.
- Hernández, H. M. y C. Gómez-Hinostrosa. 2011. Mapping the cacti of Mexico. Their geographical distribution based on referenced records. Conabio-DH Books. Milborne Port. 128 p.
- McLaughlin, S. P. 1995. Organizando la búsqueda de especies vegetales raras y en peligro: recopilación y análisis de las floras locales. *In Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*, E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elías (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, México, D. F. p. 11-23.
- Miguel-Talonia, C. 2011. Análisis fitogeográfico del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Tesis, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 78 p.
- Morrone, J. J. y J. V. Crisci. 1995. Historical biogeography: introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26:373-401.
- Murguía, M. y J. L. Villaseñor. 2000. Estimating the quality of the records used in quantitative biogeography with presence-absence matrices. *Annales Botanici Fennici* 37:289-296.
- Murguía, M. y F. Rojas. 2001. Biogeografía cuantitativa. *In Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*, B. J. Llorente y J. J. Morrone (eds.). Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma México. México, D. F. p. 39-47.
- Osorio, B. O., A. Valiente-Banuet, P. Dávila y R. Medina. 1996. Tipos de vegetación y diversidad  $\beta$  en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59:35-58.
- Pérez-Crisanto, J., J. Reyes-Santiago y C. Brachet-Ize. 2005.

- Opuntia olmeca*, una nueva especie de la familia Cactaceae para el estado de Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 50:89-95.
- Rapoport, E. H. 1975. Areografía: estrategias geográficas de las especies. Fondo de Cultura Económica, México, D. F. 214 p.
- Remib (Red Mundial de Información sobre Biodiversidad) [http://www.conabio.gob.mx/remib/cgi-bin/clave\\_remib.cgi?lengua=es-MX](http://www.conabio.gob.mx/remib/cgi-bin/clave_remib.cgi?lengua=es-MX); última consulta: 06.VIII.2010.
- Rzedowski, J. 1991. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* 15:47-64.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Primera edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 504 p.
- Scheinvar, L. y G. Manzanero. 2009. *Opuntia chiangiana*, una nueva especie de Cactaceae de Oaxaca, México. *Novon* 19:222-228.
- Serrano-Estrada, B. 2010. Regionalización biogeográfica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, con base en especies de cactáceas columnares. Tesis, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 55 p.
- Soberón, J., R. Jiménez, J. Golubov y P. Koleff. 2007. Assessing completeness of biodiversity databases at different spatial scales. *Ecography* 30:152-160.
- Torres, W., M. Méndez, A. Dorantes y R. Durán. 2010. Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 86:37-51.
- Valiente-Banuet, A., A. Casas, A. Alcántara, P. Dávila, N. Flores-Hernández, M. C. Arizmendi, J. L. Villaseñor y J. Ortega. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67:24-74.
- Villaseñor, J. L., P. Dávila y F. Chiang. 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 50:135-149.
- Zunino, M. y A. Zullini. 2003. Biogeografía, la dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica, México, D. F. 359 p.