

Distribución geográfica y potencial de *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) en la Mixteca Poblana, México

Flores Monter Yasiri Nayeli*, Reyna Trujillo Teresa de Jesús¹, Cervantes Ramírez Marta Concepción² & Luna Morales César del Carmen³

Resumen

Se estudiaron 15 variables topográficas, geológicas, edáficas, climáticas y de vegetación que influyen en la distribución geográfica de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus*, y se estimó su distribución potencial en la Mixteca Poblana, a partir del método de interpolación de áreas no muestreadas *Kriging*. Se aplicó un análisis estadístico de componentes principales a éstas, el cual calculó que los tres primeros componentes explicaron 74.8% de la varianza. En la distribución geográfica de ambas especies influyen la geología y las temperaturas máximas y mínimas, y para *S. stellatus* también son fundamentales la altitud y la precipitación en la época seca.

Palabras clave: Distribución geográfica, distribución potencial, *Kriging*, pitayas, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus stellatus*.

Abstract

We studied 15 topographic, geological; soil, climatic and vegetation variables that influence the geographical distribution of *Stenocereus pruinosus* and *S. stellatus* in the Mixteca Poblana region, Mexico. We estimated potential distribution of both species using the interpolation method of not sampled areas of *Kriging*. Principal components analysis was applied to calculate the influence of studied variables on species distribution where three variables explained 74.8% of the variance. The geographical distribution of both species was determined by geological variables as well as by the high and low temperatures and for *S. stellatus* also the altitude and the precipitation in the dry season.

Keywords: Geographical distribution, potential distribution, *Kriging*, pitayas, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus stellatus*.

Introducción

Actualmente la biogeografía atraviesa por un periodo de renovación teórica y metodológica, es una disciplina de alto valor explicativo en el estudio de la variación

espacial de la biodiversidad. Sus objetivos están enfocados en: la elaboración de estrategias de inventario eficaz, en la obtención de información mediante la compilación y cartografía del conocimiento disponible y en la búsqueda de modelos predictivos del

¹ Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

² Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México

³ Universidad Autónoma de Chapingo, Km 38.5 Carr. México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Edo. de México

* Autor de correspondencia: treyna@igg.unam.mx



Y. Flores

FOTO 1. *Stenocereus pruinosus*.

número de especies en ausencia de datos (Lobo 2000). La aplicación de la geoestadística ha supuesto un nuevo impulso al análisis de la distribución espacial aplicada a la ecología y a las ciencias ambientales (Cañada 2004). Los modelos predictivos de la distribución de las especies definen los límites mínimos y máximos para los parámetros ambientales que se asocian a sitios georreferenciados (Moral 2004). Algunas de las ventajas que aportan, es la estimación en cada punto y adicionalmen-

te un valor puntual de la varianza o de la desviación típica del krigeaje, que permite la interpolación a sectores no muestreados (Moral 2003).

En México, el género de cactáceas columnares más rico en especies y ampliamente distribuido es *Stenocereus*. En particular, las especies *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* (conocidas genéricamente como pitayas) son recursos naturales de gran importancia biológica y cultural, ya que han contribuido a

mejorar la situación económica de las regiones donde se presentan (Casas *et al.* 1999; Luna 2002). No obstante, su desarrollo como sistemas de cultivo requiere de estudios ecológicos, indispensables en las estrategias para un manejo adecuado (Granados *et al.* 1999).

Arias *et al.* (2001) y Reyes *et al.* (2004), indican que la especie *Stenocereus pruinosus* se distribuye en Chiapas Guerrero, Guanajuato, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán, y *S. stellatus* es originaria de Morelos, Oaxaca y Puebla, altamente endémica y micro-areal en el triángulo Tehuacán-Balsas-Tehuantepec (Ezcurra 1997; Arreola 2006). Ambas son elementos que definen la fisonomía del bosque tropical caducifolio en periodos de sequía, y en menor proporción habitan en el matorral xerófilo. El conocimiento sobre la distribución espacial de estas especies en las diferentes comunidades vegetales es aún deficiente; se desconoce si se distribuyen de manera homogénea a lo largo de gradientes ambientales o se presentan de manera discontinúa. Se han estudiado sus patrones de riqueza (alfa, beta y gama) local o regional a partir de estudios florísticos, pero poco se ha hecho para documentar el área que ocupan en una región (Osorio *et al.* 1996). Las especies carecen de modelos predictivos regionales, sólo para la cuenca Zapotitlán Salinas se han estimado los perfiles bioclimáticos a partir de 19 parámetros, no obstante, se reitera la importancia de otros factores ambientales en su establecimiento (Rosas 2004). Por ello, el objetivo de esta investigación consistió en identificar los factores topográficos, geológicos, edáficos, climáticos y de vegetación que influyen en la distribución de *Stenocereus pruinosus* y

S. stellatus y para estimar su distribución potencial en la Mixteca Poblana.

Material y métodos

Descripción de las especies

Nombre científico: *Stenocereus pruinosus* (Otto) F. Buxb.

Sinonimia: *Cereus pruinosus* Otto, *Lemairocereus pruinosus* (Otto) Britton et Rose, *Ritterocereus pruinosus* (Otto) Backeberg

Nombre común: Tuna, pitaya.

Es una planta columnar de 4 a 5 m de alto; con ramas que presentan una capa de cera blanca (pruinosis). Sus tallos forman de 5 a 6 costillas rectas o algo onduladas. Presenta espinas de color gris con las puntas oscuras, de 5 a 7 radiales y de 1 a 4 centrales. Sus flores son blanquecinas con tonos rosados, infundibuliformes y miden 9 cm de largo. Sus frutos miden 7 cm de diámetro, son globosos y varían en coloración, desde rojo púrpura hasta anaranjado verdoso, con pulpa carnosa y jugosa. Fructifica de mayo a septiembre (Reyes *et al.* 2004) (Fotos 1 y 2).

Nombre científico: *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccob.

Sinonimia: *Cereus stellatus* Pfeiffer, *Cereus tonelianus* Lemaire, *Lemairocereus stellatus* (Pfeiff.) Britton et Rose

Nombre común: Tunillo.

Es una planta columnar generalmente ramificada desde la base que llega a medir de 4 a 5 m de alto. Sus tallos presentan de 8 a 12 costillas rectas. Posee espinas grisáceas, de 9 a 13 radiales y 3 centrales. Sus flores son de color blanco con tinte rosa, infundibuliformes, miden de 5 a 6 cm de largo y nacen en las puntas de las ramas (a veces en corona). Florece entre junio y julio. Los frutos son rojizos, globosos, de 3 cm de diámetro y tienen espinas caducas (Reyes *et al.* 2004) (Fotos 3 y 4).

Área en estudio

La Mixteca Poblana geográficamente se localiza a los $17^{\circ}51'38''$ y $18^{\circ}45'62''$ de latitud Norte y a los $97^{\circ}9'31''$ y $19^{\circ}3'55''$ longitud Oeste, y cubre la superficie de 46 municipios en un territorio de aproximadamente $10\,603\text{ km}^2$ (INEGI 1981, 1984a; López 1990) (Fig. 1). Forma parte de la Provincia Sierra Madre del Sur con afloramientos de roca metamórfica calcárea, calizas, aluviones continentales y roca volcánica, presenta suelos chernozem, rendzina, feozem, litosol, castañozem, regosol, vertisol y xerosol (INEGI 2006), de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano $Aw_0(w)$; semicálido subhúmedo $A(C)w_0(w)$; templado con lluvias en verano Cw_i ; y semiárido con lluvias escasas en verano $BS_0(h')w(w)(i')g$ (García 2004), la vegetación predominante es la selva baja caducifolia y el matorral xerófilo (Rzedowski & Reyna 1990).

Bases de datos de las especies

Se recabó la información de las especies (identidad taxonómica, colector, fecha y localidad de colecta, y cuando estuvieron disponibles, la descripción del hábitat y las coordenadas geográficas) contenida en las etiquetas de ejemplares de los siguientes herbarios: MEXU (Universidad Nacional Autónoma de México), HFES-I (Fa-

cultad de Estudios Superiores Iztacala), HUAMI (Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa), HUACH (Universidad Autónoma Chapingo) y HENCB (Instituto Politécnico Nacional). Para una mayor precisión de las coordenadas geográficas, dichos registros fueron revisados en la base de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) que contiene datos taxonómicos y geográficos asociados a los especímenes mexicanos que se encuentran depositados en colecciones nacionales y del extranjero, complementados con los registros de la base de datos del proyecto G003 y los correspondientes al Herbario de la Universidad de Arizona (ARIZ) (Conabio 2007).

Muestreo

En el 2007 se llevaron a cabo tres recorridos en campo para complementar las bases de datos de las especies, se registró la información correspondiente a identidad taxonómica, fecha, coordenadas geográficas, localidad y descripción del hábitat (relieve, suelo y vegetación) de 66 individuos en campo y seis colectas.

Georreferencia y proyección de los registros

Los sitios de colecta se ubicaron en cartas topográficas del INEGI (1981, 1984a) 1:50 000 para

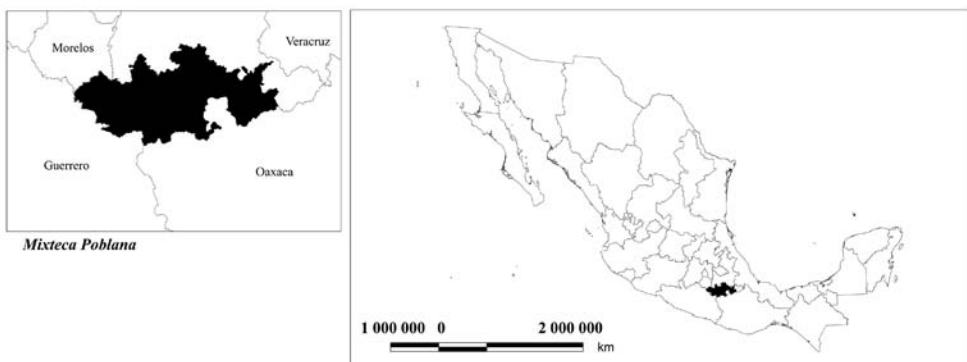


FIGURA 1. Delimitación del área en estudio



Y. Flores

FOTO 2. *Stenocereus pruinosus*.

asignarles coordenadas geográficas por interpolación, las cuales se proyectaron a Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona 14.

Base de datos de las variables ambientales

Se realizaron sobreposiciones topológicas de la cartografía temática y de las coordenadas geográficas asignadas a cada especie, para ex-

traer los valores correspondientes a cada sitio. A partir del CEM INEGI (2003) se obtuvo la altitud y se generó el mapa de orientación del terreno; utilizando las cartas geológica y edáficas del INEGI (1983, 1984b, 2006) se identificó la composición de las rocas y las unidades de suelo representativas, así como la profundidad y textura en las mismas; los datos climáticos (temperatura máxima del mes más cálido,

máxima promedio, media anual, mínima promedio y mínima del mes más frío, así como, precipitación total anual, en época húmeda y seca) se recopilaron de 28 estaciones del SMN, para elaborar la cartografía correspondiente a cada variable por el método de interpolación geoestadística *Kriging* (Villaroto *et al.* 2008) el cual, a partir de una muestra de puntos en un área geográfica generó mapas de contornos que describen el comportamiento de la variable en el espacio. Por último, se utilizaron las cartas de vegetación y uso del suelo de INEGI (1984c, 1987), para extraer los tipos de vegetación en los cuales se registraron las especies.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para todas las localidades con un total de 15 variables ambientales. El ACP es una técnica de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables), en donde los nuevos componentes principales o factores son una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí, permite descubrir interrelaciones entre los datos (Díaz 2002). En 12 localidades se colectaron ocho ejemplares de herbario y se registraron en campo seis individuos de *Stenocereus pruinosus*, también se encontraron 37 localidades, en las cuales se colectaron 25 ejemplares de herbario y se registraron en campo sesenta individuos de *S. stellatus*. Se graficó la distribución de cada especie con referencia a los dos primeros componentes.

Distribución potencial

Con el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y a partir de los registros de distribución y las variables ambientales, se seleccionaron por interpolación, los valores de los puntos en una base raster. Posteriormente, se efectuó álgebra cartográfica que consiste en

obtener nuevas capas de información a partir de otras previamente disponibles, para ello se dispone de un conjunto de herramientas de cálculo con matrices de datos que reciben el nombre genérico de álgebra de mapas, e incluye un amplio conjunto de operadores ejecutables sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida. Por operador se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdillas de una capa raster (Buzai & Baxendale 2006). Los perfiles biofísicos así obtenidos, sintetizan las condiciones ambientales de los sitios analizados y que representan los requerimientos ambientales de cada especie (Hernández & Bonfil 2008). El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable Z en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas (X, Y) , partiendo de los valores de Z medidos en una muestra de puntos situados en el área de estudio, aplicando la ecuación geoestadística:

$$Z(x) = m(x) + \epsilon'(x) + \epsilon''$$

donde $Z(x)$ corresponde a la variación espacial encontrada, $m(x)$ es el componente estructural o función determinística, $\epsilon'(x)$ es la variable regionalizada o semivarianza y ϵ'' es el error no correlacionado espacialmente (Villaroto 2008). El análisis de interpolación se basa en la teoría de las variables regionalizadas y autocorrelacionadas en el espacio. Esta autocorrelación se determina a partir de la elaboración de semivariogramas con los cuales se logra definir el modelo de mejor ajuste para proceder a la interpolación y en el cual se define la distancia máxima o "rango" en donde finaliza la autocorrelación (Demmers 1999). De esta manera, el método de interpolación espacial *Kriging* asocia el término de Mejor Predictor Lineal No Sesgado (MPLI) y es el más adecuado, en el sentido de que

CUADRO 1. Intervalo de valores ambientales de las colectas o georreferencias para las especies en la Mixteca Poblana. En la región, se encontraron 12 localidades en las cuales se colectaron ocho ejemplares de herbario y se registraron en campo seis individuos de *Stenocereus pruinosus*, también se encontraron 37 localidades, en las cuales se colectaron 25 ejemplares de herbario y se registraron en campo 60 individuos de *S. stellatus*.

Variables	<i>Stenocereus pruinosus</i>	<i>Stenocereus stellatus</i>
Altitud (msnm)	880 – 2 076	990 – 2 080
Orientación	22.5-67.5, 112.5-157.5, 247.5-337.59	-1 a 360
Geología	Q(al) depósitos aluviales cuaternarios, Ti(ar-cg) estratos de arenisca calcáreo-arcillosa, Ti(Igea) afloramientos de roca volcánica, Ts(Igeb) basalto, Ts(Igei) andesita y toba vitocrystalina y Ts(vc) material volcanoclástico.	Ki(lu-ar) lutita calcárea, Ks(cz) sedimentarias calcáreo-arcillosas de origen marino, P(E) y PE(Gneis) metamórficas de litología variada, P(Igia) metamórficas e intrusivas, Ps(cz) secuencias sedimentaria, Ps(lu-ar), Q(al), Q(cg) conglomerado de origen continental, Q(tr) depósitos calcáreos, T(lm-ar) depósitos lacustres, Ti(ar-cg), Ti(cz) calizas continentales, Ti(Igea), Tpl(ar-cg) areniscas y conglomerados, Ts(Igeb), Ts(Igei) y Ts(vc).
Suelo	Vertisol, regosol, rendzina, litosol, feozem y xerosol	
Tipo de Profundidad (m)	8 a 100	
Textura	Media y gruesa	Fina, media y gruesa
Clima	A(C)w ₀ (w) semicálido subhúmedo, BS ₀ (h)w(w) semiseco semicálido, BS ₀ (h')w(w) y BS1(h')w(w) semisecos muy cálidos, BS ₁ kw(w) semiseco templado y Cw ₀ (w) templado subhúmedo.	A(C)w ₀ (w), BS ₀ (h)w(w), BS ₀ (h')w(w), BS1(h')w(w) y BS ₁ kw(w).
T°C máx_cálido	28 - 36	
Tmáx_prom	25 - 31	25 - 33
Tmed_anual	17 - 24	18 - 24
Tmín_prom	9 - 16	10 - 16
Tmín_frío	5 - 12	5 - 13
P_t_anual mm	440 - 790	380 - 790
P_húmeda	420 - 740	370 - 750
P_seca	35 - 70	36 - 67
Tipo de Vegetación	Matorral xerófilo, selva baja caducifolia, cultivada y bosque de galerías.	Matorral xerófilo, selva baja caducifolia, pastizal inducido, palmar y cultivada.

minimiza la varianza del error en la predicción, se fundamenta en el hecho de que las variables naturales generalmente se distribuyen de una forma continua (Moral 2004).

Resultados

La sobreposición de las capas temáticas con los registros de colecta y georreferencias de individuos en campo, muestran las diferencias en los parámetros ambientales necesarios en la distribución geográfica de

las especies, principalmente, en cuanto a geología, altitud y precipitación, en menor proporción a unidades y textura del suelo (Cuadro 1).

El análisis de componentes principales a partir de 15 variables ambientales incluidas, calculó el 46.72% de la varianza total para el primer componente y tuvieron mayor peso la altitud, temperatura máxima, media y mínima promedio. El segundo componente (explicó el 16.49% adicional de la varianza total) incluyó de manera positiva a la textu-

CUADRO 2. Matriz de valores propios y comunalidad de componentes principales entre las 15 variables ambientales analizadas y los registros de las especies. * Variables con los valores más altos para cada componente.

<i>Variables Ambientales</i>	<i>Componentes Principales</i>			<i>Comunalidad Extracción</i>
	1	2	3	
Altitud	-0.907*	0.190	-0.197	0.909*
Orientación_terreno	0.083	-0.002	-0.424	0.819
Geología	-0.050	0.062	0.736	0.654
Unidades_suelo	0.236	-0.602	0.193	0.608
Profundidad_suelo	-0.013	0.117	0.907*	0.836
Textura_suelo	-0.147	0.916*	0.137	0.881
T_máxima_mes_cálido	0.874	-0.262	-0.021	0.875
T_máxima_promedio	0.981*	0.028	0.070	0.972*
T_media anual	0.937*	-0.233	-0.030	0.949*
T_mínima_promedio	0.951*	-0.121	0.105	0.940*
T_mínima_mes_frío	0.873	-0.059	0.112	0.813
P_total_anual	0.770	0.543	-0.092	0.897
P_época_húmeda	0.748	0.579	-0.119	0.911*
P_época_seca	-0.720	0.105	0.229	0.583
Vegetación	-0.400	-0.661	0.038	0.656



Y. Flores

FOTO 3. *Stenocereus stellatus*.

ra del suelo. El tercer componente (11.64% adicional de la varianza) se asoció de manera directa con la profundidad del suelo. Los dos primeros componentes representaron apropiadamente algunas de las variables originales, al contribuir a la comunalidad entre 81.3% (temperatura mínima de enero) y 97.2% (temperatura máxima promedio); y el tercer componente representó una variable original, la profundidad del suelo con 83.6% (Cuadro 2).

Al relacionar los dos primeros componentes principales con la distribución de las especies, se encontró que éstas difieren en su distribución sobre los

componentes. Al promediar los valores de ambos ejes para cada especie y proyectarlos junto con los valores de las 15 variables ambientales (Fig. 4), se observó que para el primer componente, ambas especies se asociaron con la geología y las temperatura máxima y mínima, y sólo *S. stellatus* se relacionó negativamente con la precipitación en la época seca y la altitud. La distribución de ambas especies está relacionada con cinco variables contenidas en los tres primeros componentes (74.8% de la varianza total).

Los modelos de distribución potencial de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus*



Y. Flores

FOTO 4. Individuos adultos de *Stenocereus stellatus* mostrando las estructuras reproductivas.

para la Mixteca Poblana, involucran la altitud, geología, unidades de suelo, clima y tipos de vegetación asociados a los sitios de colecta y georreferencia, manifestándose así la importancia decisiva de la altitud, geología, temperatura, precipitación y tipos de vegetación en la distribución de ambas especies. Se presentan los parámetros biofísicos predominantes en la distribución geográfica (Fig. 4). En todos los casos los sitios de colecta se ubicaron dentro del área potencial predicha (Figs. 5 y 6).

Discusión

Distribución geográfica

Para la Mixteca Poblana la altitud indica que en la actualidad las poblaciones silvestres de *Stenocereus pruinosus* están restringidas a cañadas y enclaves montañosos. Por el contrario, la distribución geográfica de *S. stellatus* en el área es amplia y abundante en la región.

El análisis estadístico determinó que de las variables ambientales tratadas que más influyen en la distribución geográfica de ambas especies son la geología y las temperaturas máximas y mínimas, para *S. stellatus* también influyen la altitud y la precipitación en la época seca.

De acuerdo con Kleidon y Money (2000), el macroclima es el principal factor que determina la distribución regional de la vegetación. Los regímenes climáticos influyen a través de los umbrales fisiológicos de tolerancia a la temperatura y precipitación, relacionados con la fenología y fisiología. Las plantas adaptadas a un régimen climático específico con frecuencia tienen morfologías similares y la cantidad y distribución de la lluvia a lo largo del año es un factor decisivo en las especies que conforman los tipos de vegetación, en algunas especies de la Familia Cactaceae, Stephenson (1990), ha encontrado una correspondencia entre la temperatura y

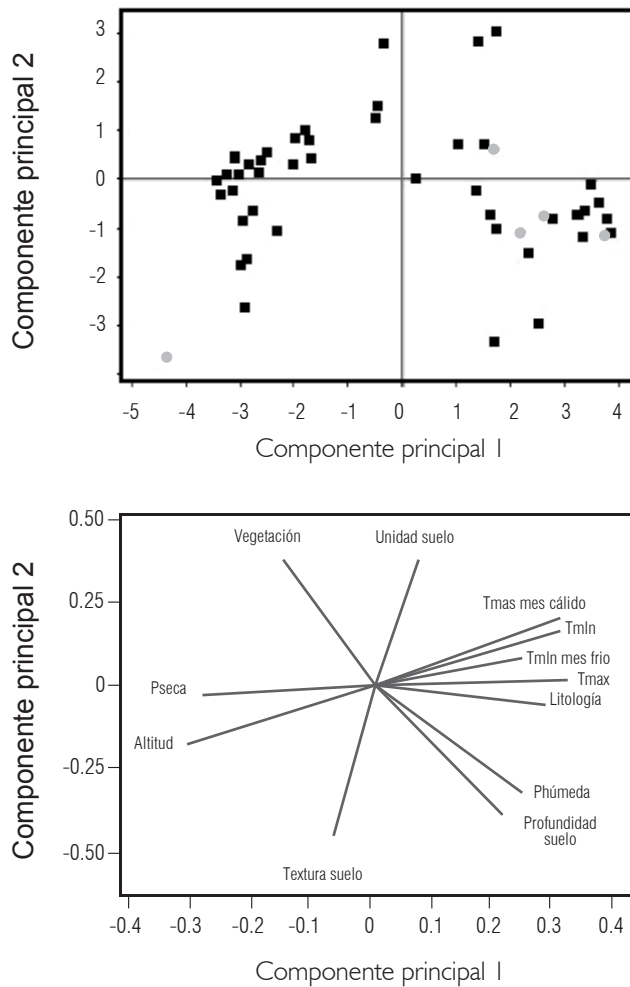


FIGURA 2. Distribución de las especies a lo largo de los dos primeros componentes principales. ● = Registros y colectas de *S. pruinosus*, ■ = Registros y colectas de *S. stellatus*.

la humedad con los tipos de vegetación en los cuales se encuentran éstas y sus adaptaciones. Lo cual puede explicar por qué aunque se han diversificado en regiones tropicales, subtropicales, templadas y frías o boreales, la mayoría se distribuye en las regiones áridas y semiáridas. Las variables climáticas ayudan a entender las diferencias en el dominio climático, para distinguir grupos climáticamente

similares, así como patrones espaciotemporales. En la presente investigación se encontró que para *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* la temperatura desempeña un papel importante en su distribución. Sus dominios bioclimáticos son semejantes en el intervalo térmico de 5 a 36°C, sin embargo, aunque ambas especies están presentes en la selva baja caducifolia y en el matorral xerófilo, existen ciertas

diferencias principalmente en cuanto a precipitación anual mínima requerida. Para *Stenocereus pruinosus* es de 420 mm y para *S. stellatus* de 370 mm. Esta diferencia reitera la adaptación al medio en relación con la aridez, ya que para la segunda especie se reduce el daño por déficit hídrico, lo que le permite tener un área de distribución más amplia.

De acuerdo con Simmons (1982), los parámetros ambientales que influyen en la distribución de un organismo lo hacen a lo largo de un gradiente, y la tolerancia respecto al mismo, varía de una especie a otra. En relación a esto, se estiman otras diferencias en el área de distribución, en la Mixteca Poblana, *Stenocereus pruinosus* se encuentra principalmente cultivada, a una altitud mínima de 880 m, sobre depósitos aluviales y roca volcánica, mientras que *S. stellatus* se distribuye y se cultiva a una altitud mínima de 990 m, sobre sustrato sedimentario, metamórfico y volcánico, principalmente en matorral xerófilo.

El área de distribución de una especie puede caracterizarse en términos de su continuidad o discontinuidad, al hacer un acercamiento en la escala de trabajo, el área de distribución consistirá de un conjunto de parches debidos a la heterogeneidad del ambiente (Espinoso *et al.* 2001). Las especies *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* presentan diferentes escalas en cuanto a distribución, a escala local está dominada por el concepto de hábitat, es decir, la concentración a pequeña escala de microclimas, disponibilidad de humedad, condiciones del suelo, pendiente y factores semejantes que determinan el lugar exacto de distribución.

A menudo no existe un factor limitante, sino un conjunto de ellos, interre-

lacionados. Para *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* estos factores limitantes son las temperaturas inferiores a 5°C relacionadas con altitudes superiores a 2 100 m. La altitud es una variable que conjuga varias otras que tienen una influencia más directa sobre los procesos ecológicos. Dichos resultados coinciden para el género *Stenocereus* los límites de distribución en latitud y altitud están establecidos por las bajas temperaturas mínimas extremas (heladas); y con Ezcurra (1997), que reporta el número de días con heladas y la heterogeneidad altitudinal entre los predictores ambientales de la diversidad del género.

Sin embargo, además de las condiciones ambientales, las diferencias en la extensión del área de distribución de estas especies, podría estar influenciada por el tipo de reproducción y facilidad de dispersión. De acuerdo con Esparza (2004), la abundancia o rareza puede ser consecuencia de eventos naturales de disturbio, cambios azarosos en la tasa de mortalidad y natalidad, cambios en la calidad del hábitat, depredación endogámica, deriva génica y actividades antropogénicas. En estudios previos, se ha documentado la influencia de la agricultura tradicional en la distribución actual de estas especies, dado que las poblaciones humanas han modificado el establecimiento de estos recursos para su aprovechamiento. Las condiciones ambientales predominantes en la región permiten que *Stenocereus pruinosus*, se cultive principalmente en huertos comerciales y familiares, debido a la demanda del fruto, se fomenta en sitios perturbados por agricultura, pastoreo y ramoneo, aunque también se maneja *in situ*, a partir del cual, probablemente se iniciaron los huertos antiguos, y en menor



Salvador Arias

FOTO 5. *Stenocereus stellatus*.

proporción, tolerada en milpas. Mientras que *S. stellatus* se recolecta, se maneja *in situ* y se cultiva predominantemente en huerto familiar sobre el comercial, en áreas perturbadas o milpas, es fomentada y tolerada como cerca viva (Flores 2008; Reyna *et al.* 2009).

Distribución potencial

En cuanto a la predicción de la distribución potencial, los modelos presentados, definen el intervalo ambiental en el que pueden estar presentes las especies de acuerdo con

la interacción de las características topográficas, geológicas, edáficas y climáticas analizadas. En el caso de *Stenocereus pruinosus* existe la posibilidad de una sobrestimación mínima debido a que en la actualidad raramente se le encuentra en estado silvestre, y el modelo de distribución potencial de *S. stellatus* coincide con lo observado en campo.

Con relación a esto, se debe tomar en cuenta que todos los algoritmos usados para modelar la distribución potencial, involucran errores de omisión (no consideran el espacio que la especie debería estar

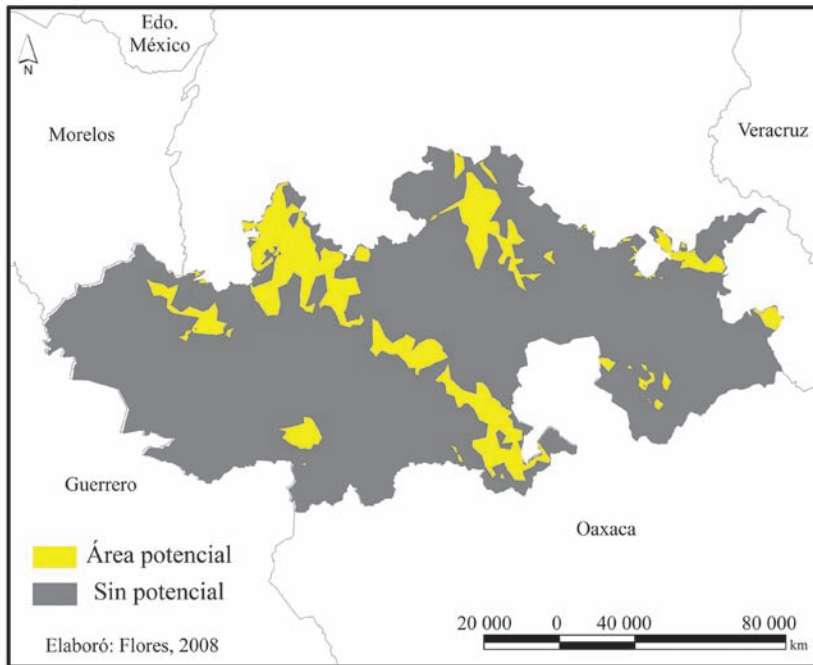


FIGURA 3. Distribución potencial de *Stenocercus pruinosus* en la Mixteca Poblana.

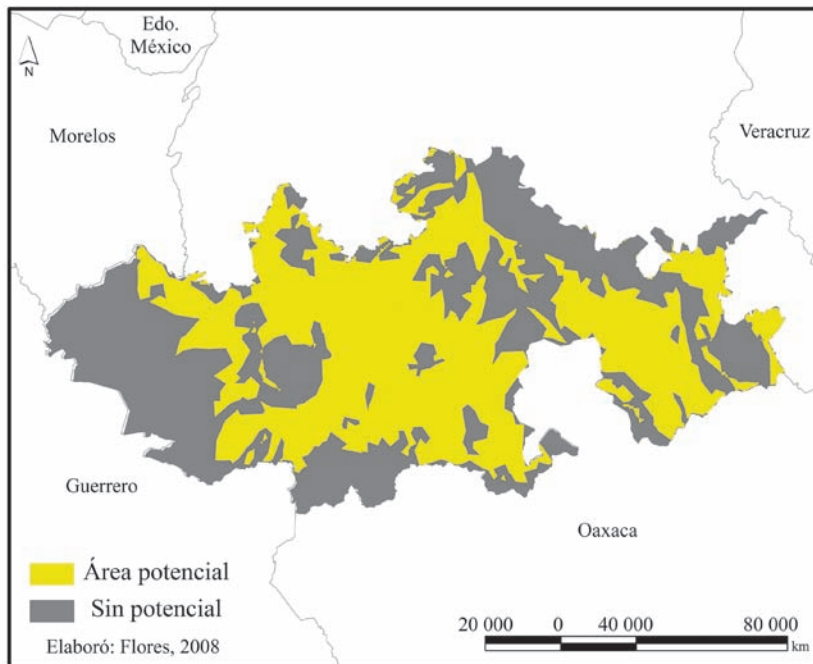


FIGURA 4. Distribución potencial de *Stenocercus stellatus* en la Mixteca Poblana.

ocupando) y de comisión (consideran un espacio que en realidad la especie no ocupa o no debe ocupar) (Anderson *et al.* 2003). No obstante, como alternativa para obtener resultados más confiables, en este estudio se recurrió al análisis de componentes principales, el cual, mencionan Lobo y Horta (2003) y Guisan y Zimmermann (2000), estima la distribución a partir únicamente de la información sobre la presencia, en donde se trata de identificar los rangos de determinadas variables ambientales en los que se encuentra la especie, comparando su distribución con una distribución al azar.

No obstante, es importante mencionar que la mayoría de los modelos predictivos utilizan información principalmente de condiciones ambientales, ignoran la importancia de procesos biológicos como competencia, depredación y mutualismo. Desafortunadamente, la influencia de tales interacciones en la distribución de la mayoría de las especies es desconocida (Kasuya *et al.* 2006). La ecología de estas cactáceas columnares implica evaluar la competencia intraespecífica e interespecífica, el daño ocasionado por depredadores y plagas, así como la importancia de polinizadores y plantas nodriza, para conocer de qué manera influyen en la distribución y abundancia de las especies.

En síntesis, la distribución geográfica de *Stenocereus pruinosus* está restringida a cañadas y enclaves montañosos, y la de *S. stellatus* es amplia y abundante en algunas áreas de la región. De las 15 variables ambientales analizadas, ambas especies están reguladas por la geología y las temperaturas máximas y mínimas, y sólo para el establecimiento de *S. stellatus* la altitud y la precipitación en la época seca también desempeñan un papel importante. Las

diferencias en el área de distribución se deben principalmente a la altitud, el tipo de roca y a la precipitación mínima en la época húmeda. Según lo observado en campo, el modelo de distribución potencial de *S. pruinosus* podría presentar una pequeña sobrestimación debido a que en la actualidad raramente se le encuentra en estado silvestre, mientras que el modelo de distribución potencial de *S. stellatus* coincide con su amplia distribución en la zona. No obstante, existe la posibilidad de que los parámetros ambientales en los cuales se distribuyen de manera natural las especies sean más amplios, con lo cual, la distribución potencial se incrementa.

Agradecimientos

Esta investigación contó con los apoyos del Posgrado y del Instituto de Geografía, de la Universidad Nacional Autónoma de México y también con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (beca No. 223528). Se agradece al Servicio Meteorológico Nacional la información proporcionada y la ayuda técnica brindada por la Lic. Alicia Mendieta.

Literatura citada

- Anderson RP, Lew D & Peterson AT. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecol Model* **162**:211-232.
- Arreola H. 2006. Sistemática filo genética del género *Stenocereus* (Cactaceae), Tesis de Doctorado en Ciencias, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Arias A, Valverde T & Reyes J. 2001. *Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla*, INESEMARNAT-UNAM, 72 p.

- Buzai G & Baxendale C. 2006. *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial, S.A. Buenos Aires, Argentina.
- Casas A, Caballero J & Valiente-Banuet A. 1999. Use, management and domestication of columnar cacti in south-central México: a historic perspective. *J Ethnobiol* **19**:71-95.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2007. *Proyecto G003, Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB)*.
- Demmers N. 1999. *Fundamentals of geographic information systems*. 2a Ed. Wiley.
- Díaz L. 2002. *Estadística multivariada: inferencia y métodos*. Mc Graw Hill. Bogotá, Colombia.
- Ezcurra E. 1997. *Patrones biogeográficos de las cactáceas columnares de México*. Informe Final del Proyecto G003, Instituto de Ecología, Campus Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <<http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfG003.pdf>>
- Esparza L. 2004. ¿Qué sabemos de la rareza en especies vegetales? Un enfoque genético-demográfico. *Bol Soc Bot Mex* **75**:17-32
- Espinosa OD, Aguilar C. & Escalante T. 2001. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica, páginas 31-37. En: Llorente B. J. *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teoría, conceptos, métodos y aplicaciones*, México. UNAM. Ed. Prensas de Ciencias.
- Flores Y. 2008. Distribución y zonificación agroecológica de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* en la Mixteca Poblana, México. Tesis de Maestría, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.
- García E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, adaptado a las condiciones de la República Mexicana*, 5ª edición. Instituto de Geografía, UNAM. Serie libros, núm. 6. México.
- Granados D, Mercado J & López G. 1999. Las pitayas de México, *Ciencia y Desarrollo* **25**:59-67.
- Guisan A & Zimmermann E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol Model* **135**:147-186.
- Hernández E. 2008. Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos y su relación con el clima, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM.
- INEGI. 1981. *Carta Topográfica*. 1:250,000. Cuernavaca. E 14-5. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 1983. *Carta Edafológica*. 1:250,000. Cuernavaca. E 14-5. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 1984a. *Carta Topográfica*. 1:250,000. Orizaba. E 14-6. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 1984b. *Carta Edafológica*. 1:250,000. Orizaba. E 14-6. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 1984c. *Carta de Vegetación y uso del suelo*. 1:250,000. Cuernavaca. E 14-5. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 1987. *Carta de vegetación y uso del suelo*. 1:250,000. Orizaba. E 14-6. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 2003. *Continuo de Elevaciones Mexicano*. 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 2006. *Carta geológica*. 1:250,000. Síntesis geográfica digital de Estado de Puebla. Anexo cartográfico digital. Dirección General de Cartografía.
- Kazuya N, Gómez M, López R, Meneses R & Vargas J. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la

- distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia* **41**:65-78
- Kleidon A & Money H A. 2000. A global distribution of diversity inferred from climatic constrains: results from a process based modeling study. *Global Change Biol* **6**:507-515.
- Lobo JM. 2000. ¿Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en variables ambientales?, páginas 55-68. En: *Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PrIBES 2000*. F. Martín-Piera, J.J. Morrone & A. Melic (eds). *Monografías Tercer Milenio*, Vol. 1, Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), Zaragoza.
- Lobo J & Horta J. 2003. Modelos predictivos: un atajo para describir la distribución de la diversidad biológica. *Ecosistemas* 2003/1. <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion3.htm>
- López J. 1990. *Esplendor de la Antigua Mixteca*. 2ª Edición, Editorial Trillas, México, D.F.
- Luna C. 2002. La Mixteca Baja y las cactáceas columnares (Too/Tnu Dichi). *Rev Geog Agríc* **32**:25-42.
- Moral F. 2003. La representación gráfica de las variables regionalizadas. Geoestadística lineal. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
- Moral F. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales, *Ecosistemas* 2004/1 http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=167&Id_Categoria=2&tipo=portada
- Osorio O, Valiente-Banuet A, Dávila P & Medina R. 1996. Tipos de vegetación y diversidad β en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Bol Soc Bot Mex* **59**:35-5.
- Rzedowski J & Reyna T. 1990. Divisiones florísticas en Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas. IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:8 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Reyes J, Brachet C, Pérez J & Gutiérrez A. 2004. *Cactáceas y otras Plantas Nativas de la Cañada, Cuicatlán*, Oaxaca. Sociedad Mexicana de Cactología, A.C., Comisión Federal de Electricidad e Instituto de Biología UNAM, México.
- Reyna T, Flores Y & Luna C. 2009. Distribución actual de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* en la mixteca poblana. En: Yáñez, M., M. Armella, R. Soriano y D. Sánchez (Ed.). *Estudio de tres cactáceas de la Mixteca Baja. Conocimiento para su uso sustentable*. Universidad Autónoma Metropolitana y Visión Tipográfica S.A. México, D.F.
- Rosas I. 2004. Modelos bioclimáticos de especies potencialmente importantes para la reforestación en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Tlalnepantla, Edo. México.
- Simmons I G. 1982. *Biogeografía natural y cultural*. Omega, Barcelona.
- Stephenson NL. 1990. Climatic control of vegetation distribution: The role of the water balance. *Am Nat* **135**:649-670.
- Villaroto M, Henríquez C & Sancho F. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de PH, CA, CICE, y P del suelo. *Agronomía Costarricense* **32**:95-100.

Recibido: julio 2010; aceptado: noviembre 2010.
Received: July 2010; accepted: November 2010.