



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**ANÁLISIS DEL ÁREA DE DISTRIBUCIÓN
DE CACTÁCEAS COLUMNARES
MEDIANTE ESTADÍSTICA ESPACIAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

Clara Lideth Martínez Villanueva

ASESOR DE TESIS: DR. MIGUEL MURGUÍA ROMERO

LOS REYES IZTACALA, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

En primer lugar quiero dedicar este trabajo a mi familia que durante todos estos años me han apoyado e impulsado a seguir adelante y cumplir una meta tan importante en mi vida. Por el apoyo incondicional de mis padres y hermanos, que en los momentos más difíciles siempre cuento con ellos.

A mis padres Cira, Miguel, Ernestina y Adolfo que ha lo largo de toda mi vida siempre han estado conmigo y que día a día me motivaron a concluir este trabajo y esta carrera tan hermosa.

A mis hermanos Miguel, Esaú, Adolfo, Max, Elvis y mis cuñadas Blanca, Veronica, Zaira y Socorro con los que he compartido momentos muy lindos. A mis sobrinitos Pamela, Uriel, Jeremy y Axel que llegaron a iluminar nuestras vidas.

A toda la familia Martínez y Villanueva que me han apoyado, tíos y primos por los consejos y ratos agradables de convivencia.

A la familia Herrera Hernández, familia Ocampo Barrio y María Del Carmen Sosa, gracias por todo, han sido un apoyo muy importante.

A la M. en C. Maria Eugenia Garin Aguilar que con su enseñanza, confianza y cariño me motivo a seguir aprendiendo y a concluir varias etapas en mi vida profesional y personal.

A Dr. Miguel Murguía Romero por todos los consejos que permitieron que éste trabajo llegara a su fin y por su infinita paciencia. Lo logramos Doctor!!!

AGRADECIMIENTOS

Gracias infinitas a mi familia que ha sido mi punto de apoyo y que sin ellos no habría terminado este proyecto tan importante, gracias por todo su amor y comprensión. Los quiero a todos.

Gracias a mi asesor Dr. Miguel Murguía y a mis sinodales Dr. Oswaldo Tellez, Dr. Salvados Arias, Dr. Salvador Rodriguez, Biól, Marcial García y Biól. Ulises Guzmán por todas sus observaciones y aportaciones para que este trabajo sea de mejor calidad.

Gracias a unos Angelitos que desde hace un tiempo entraron en mi vida y que espero sigan por siempre en ella, por todo el apoyo, consejos y cariño.

A una personita que me ayudo a concluir esta parte tan complicada de la carrera, con su paciencia y amor me animó e impulso a dar este gran paso, gracias Gustavo por estar siempre a mi lado y por los momentos tan lindos.

A todos los amigos que ha lo largo de tantos años conoci y con los que comparti dentro y fuera de las aulas, por todas las clases, practicas de campo y más momentos inolvidables, gracias: Brenda, Edith, Laura, Gerzón, Pablo, Fernando, Luis, Alfredo, Guadalupe, Alejandra, Yuriko, Claudia, Romina, Lidia, Maricela, Bere, Paco, Ari, Ruth, Marce, Edgardo, Sandra, Vladis, Victor, Luchito, Juanito, Ricardo, Alan, Jasmin, Zuleica, Rafael, Nancy, Magali, Jonathan, los quiero mucho a todos. Gracias por su amistad.

No puedo dejar pasar esta oportunidad para agradecer a la máxima casa de estudios, que me brindo los espacios, profesores y materiales necesarios para lograr esta meta tan importante. GRACIAS FESI-UNAM.

Por mi raza, hablará mi espíritu

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	6
I.1 Biogeografía, patrones y área de distribución	6
I.2 La estadística espacial.....	8
I.2.1 Media espacial	9
I.2.2 Autocorrelación espacial	10
I.3 Las cactáceas y el territorio de México	12
I.4 El Valle de Tehuacán-Cuicatlán	14
II. PREGUNTA	15
III. ANTECEDENTES	15
Las cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC).....	15
Estadística espacial	15
Autocorrelación espacial	16
IV. HIPÓTESIS.....	18
V. OBJETIVOS.....	23
Objetivo general	23
Objetivos particulares.....	23
VI. MÉTODO	24
Bases de datos	24
Definición de UGO	24
Efecto MAUP sobre la media espacial	26
Uso de semivariograma para medir el rango de distribución de las especies....	26
Diseño de hipótesis proceso-patrón de McIntire y Fajardo	27

Identificación de patrones	28
Cálculo de frecuencia de medias espaciales por banda latitudinal	28
VII. RESULTADOS.....	29
Definición de UGO	29
Efecto MAUP sobre la media espacial	29
Medias espaciales en rejilla de 20'	32
Cálculo de frecuencia de medias espaciales por banda latitudinal	35
VIII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	37
IX. CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXO. ESPECIES DE CACTÁCEAS COLUMNARES DEL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN	44

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Biogeografía, patrones y área de distribución

La **biogeografía** es una ciencia que estudia los patrones espaciales de diversidad tomando en cuenta el tiempo y el espacio, es decir, es el análisis y explicación de los patrones de distribución de las especies y de los cambios de esas distribuciones que tuvieron lugar en el pasado y las que tienen lugar hoy en día. Su principal objetivo es poder explicar los patrones de distribución de las especies en el espacio y en el tiempo (Contreras *et al.*, 2001).

Una parte muy importante en la biogeografía es la filogenética que tiene como objetivo buscar los centros de origen a partir de los cuales se dispersaron los taxones para alcanzar su distribución actual (Morrone *et al.*, 1996).

La biogeografía también se define como el estudio de la distribución de organismos en el pasado y el presente. Como resultado de dicho estudio tenemos a los patrones de biodiversidad global, que son consecuencia de los límites geográficos de los millones de especies que se sobreponen y reemplazan a otras sobre la vasta superficie de la Tierra. Un patrón es definido como la regularidad de un proceso (Lomolino *et al.*, 2006).

Los procesos histórico-ecológicos que crean patrones espaciales pueden ser examinados por medidas directas. Recientemente se ha desarrollado una alternativa; la cual propone que los procesos son definidos y pueden originar patrones únicos, es decir una “huella digital” biogeográfica (McIntire y Fajardo, 2009). La propuesta de McIntire y Fajardo es un binomio patrón-proceso, de manera que, si es posible describir pares de patrones específicos generados por procesos biogeográficos, entonces, al observar patrones biogeográficos de manera empírica, es posible asociar de manera directa, el proceso biogeográfico

que lo generó:

Hipótesis:

Proceso biogeográfico 1 <-> Patrón biogeográfico 1

Proceso biogeográfico 2 <-> Patrón biogeográfico 2

Proceso biogeográfico 3 <-> Patrón biogeográfico 3

Proceso biogeográfico 4 <-> Patrón biogeográfico 4

Si se observa el patrón biogeográfico 1, entonces se puede suponer que el proceso biogeográfico subyacente es el 1. Es importante notar que McIntire y Fajardo (2009) utilizan el término i “huella digital” del proceso, lo que en términos lógicos se puede interpretar como un operador SI Y SOLO SI. De no ser el caso, es decir, si las reglas cambian al tipo:

Proceso biogeográfico 1 -> Patrón biogeográfico 1

en las que el operador lógico es una implicación “->”, entonces el razonamiento tendría que ser vía abducción lógica.

El proceso de especiación es muy difícil de estudiar debido a que es sumamente lento para ser observado en nuestra escala de tiempo, pero también es temporalmente muy corto como para quedar grabado en el registro fósil. Por ello, cada aspecto de la especiación es controvertido (Douglas, 2003).

Finalmente, con base en la cartografía y la geometría de las fallas geológicas se reconoció que los procesos históricos-geológicos que actúan en el Valle de Tehuacán son deformaciones progresivas que acaecieron durante el Cenozoico. Además se identificó que la propagación del fallamiento se da por enlaces de falla documentándose dos rampas y un relevo (Dávalos *et al.*, 2007).

Los patrones básicos constituyen las unidades de estudio de la biogeografía histórica. Cuando los patrones se refieren a distribuciones individuales, se habla de áreas de distribución y cuando las mismas se superponen puede construir un área de endemismo (Morrone *et al.*, 1996).

El área de distribución de una especie es la habitada por ésta misma. En un mapa el área de distribución se puede reconocer como la superficie que encierra el conjunto de las localidades donde los individuos de la especie han sido recolectados (Morrone *et al.*, 1996).

Actualmente se han desarrollado varias técnicas de mayor precisión para el trazado de áreas de distribución, con la ayuda de cartografía digitalizada y el empleo de sistemas de información geográfica (SIG) (Morrone *et al.*, 1996).

En los SIG el problema de agregación es muy común en el área del análisis espacial el cual se encuentra ligado a la escala y es denominado como el 'problema de la unidad de área modificable' o MAUP, por sus iniciales en inglés. Esta definición del tamaño de la UGO (Unidad Geográfica Operativa), así como su forma se establecen al inicio del análisis biogeográfico, razón por la que su estudio adquiere especial importancia (Murguía, 2005).

I.2 La estadística espacial

La superficie de la Tierra no es uniforme ni en toda ella existen las mismas características; el espacio isotrópico que utiliza o suponen los esquemas teóricos de localización, son una construcción matemática del espacio en el cual la estadística espacial y la autocorrelación espacial, son herramientas útiles para su estudio (Lacoste y Salanon, 1981); por lo tanto con estas herramientas se puede realizar un análisis espacial de la superficie en la que se distribuye alguna especie, tomando en cuenta las variaciones que pueda tener dicha superficie.

Tomado en su sentido más amplio, el término estadística espacial designa a todo análisis que utiliza la herramienta estadística y que tiene una dimensión espacial (Mathian y Sanders, 2004).

En los últimos años, la estadística espacial se ha ido incorporando a los sistemas de información geográfica, brindando nuevas posibilidades al análisis espacial. La estadística espacial proporciona un marco en el que se pueden estudiar, de manera directa y explícita, los límites de la aplicación de las herramientas, propiedad con que no cuentan los métodos tradicionales del álgebra de mapas (Murguía, 2005).

Por lo general al hablar de la estadística espacial se refiere al análisis de datos geo-referenciados. La estadística espacial difiere de la clásica en que las observaciones analizadas no son independientes (Cressie 1991 en Arlinghaus 2000).

1.2.1 Media espacial

Dentro de las técnicas de la estadística espacial se incluye a la media espacial que es un estadístico muy simple de calcular y que a nivel descriptivo puede mostrar algunos atributos espaciales interesantes de los datos; es un promedio de las coordenadas en las que se ubican los atributos (Figura 1). El resultado es un punto, un par coordinado, que puede ser visto como el “centro de masa” de los datos en el espacio (Murguía, 2005).

$$\overline{lon} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot lon_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \qquad \overline{lat} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot lat_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

Donde: x_i : valor del i -ésimo dato, n : número de datos, lon_i : longitud del i -ésimo dato y lat_i : latitud del i -ésimo dato.

Figura 1. Fórmulas de la media espacial.



Figura 2: Ejemplo esquemático de la media espacial, en donde se muestra con ★ la ubicación de las localidades de recolecta y con ★ la media espacial.

1.2.2 Autocorrelación espacial

La autocorrelación espacial es un concepto que hace referencia a la cercanía o lejanía de los eventos en el espacio según el valor de los atributos (Figura 2). Se dice que una variable tiene autocorrelación espacial positiva cuando los valores similares tienden a agregarse o ser vecinos, se dice que tiene autocorrelación espacial negativa cuando los valores similares tienden a separarse y los puntos o eventos vecinos son de diferente tipo. Por otra parte, se dice que no hay autocorrelación cuando la distribución espacial, en relación a los valores de sus vecinos, es al azar (Murguía, 2005).

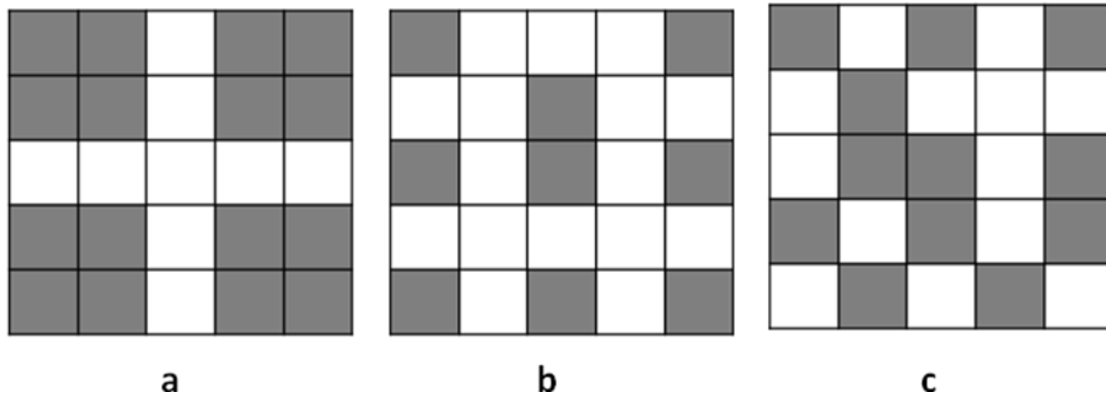


Figura 3: Ejemplos esquemáticos de la autocorrelación espacial: a) positiva, b) negativa y c) sin autocorrelación. En a) los valores similares son vecinos, en b) los valores similares están separados y en c) los valores similares se distribuyen al azar.

El reconocimiento y análisis de la autocorrelación espacial ha definido un nuevo paradigma en la Ecología. La atención del patrón espacial puede conducir a percepciones que se han pasado por alto, al hacer caso omiso del espacio se puede dar lugar a falsas conclusiones acerca de relaciones ecológicas (Lichstein *et al.*, 2002).

$$MC = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde w_{ij} corresponde a i -ésima entrada de la matriz de conectividad, x_i representa el valor del i -ésimo dato, n es número de datos y \bar{x} es el promedio de los n valores.

Figura 4. Fórmula del Coeficiente de Moran para calcular la autocorrelación espacial.

Una técnica muy utilizada en los análisis de la estadística espacial es el semivariograma. El semivariograma es una herramienta para averiguar los

posibles patrones de autocorrelación. La estrategia es graficar la función $\gamma(h)$ vs. h , donde h es una distancia que se va incrementando en intervalos constantes y $\gamma(h)$ es una función que mide las diferencias entre todos los pares.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(ij)_{hij=h}} (y_i - y_j)^2$$

Donde N : número de datos, h : un escalar, h_{ij} : Distancia entre los puntos x_i y x_j , $N(h)$: número de pares de puntos que se encuentran a una distancia h .

Figura 5. Fórmula frecuentemente usada para calcular el semivariograma.

I.3 Las cactáceas y el territorio de México

México ocupa una superficie de casi dos millones de km^2 . Esta superficie tiene una historia geológica compleja, la cual es responsable de su abrupta topografía y de un amplio mosaico de climas y de tipos de vegetación que incluye prácticamente todos los registrados a nivel mundial. Por ello no sorprende que el país cuente con una flora y una fauna muy diversas (Villaseñor, 2003).

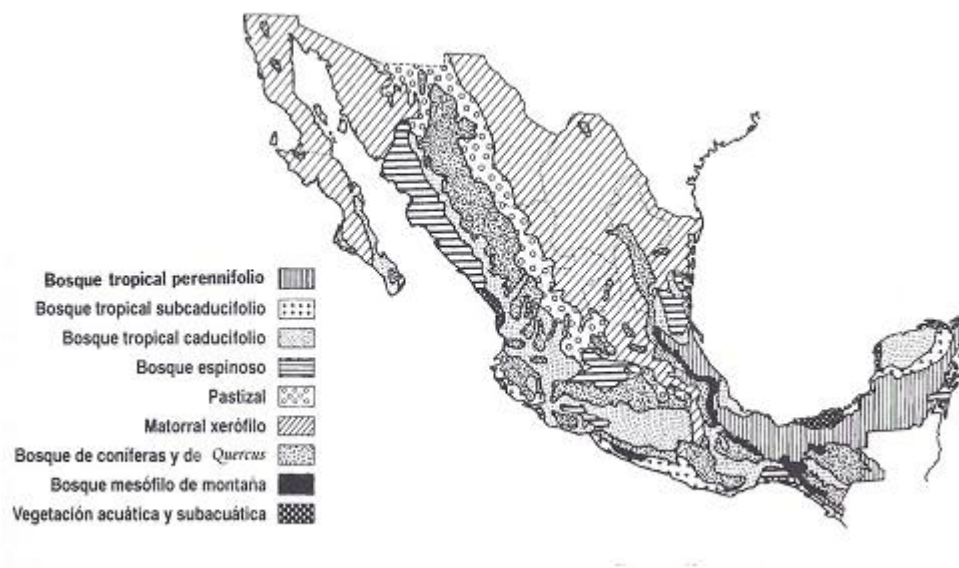
El territorio mexicano posee una compleja historia geológica, la confluencia de dos biotas ancestrales dieron origen a un conjunto de zonas biogeográficas las cuales muestran una alta tasa de endemismos, que al parecer son el resultado de la variabilidad de factores bióticos y abióticos característicos. En consecuencia, la biota existente en el país está adaptada a vivir y crecer dentro de una gran variedad de entornos (Dávila *et al.*, 2002).

Entre las plantas que caracterizan el paisaje de las zonas áridas de México se distinguen, además de los magueyes, los mezquites y las yucas, la familia Cactaceae. Las cactáceas, por su aspecto, usos y función en la naturaleza, han

sido motivo de atención en nuestro país desde tiempos remotos (Bravo-Hollis, 1978).

Las cactáceas sorprenden por sus adaptaciones a medios áridos, por las formas extraordinarias de sus tallos y sus flores, la anatomía de sus estructuras y las modalidades de su fisiología (Bravo-Hollis, 1978).

La existencia de regiones áridas es muy amplia en nuestro país: ocupan más del 60% de territorio nacional. En cuanto a las relaciones de la flora de las zonas áridas de México con la de otras partes del país y del continente, Rzedowski (1973) mostró en un reciente trabajo que sus afinidades meridionales dominan ampliamente sobre las boreales. Así, por ejemplo, son muy escasas las ligas florísticas con la región seca de la Gran Cuenca de los Estados Unidos de América, al igual que las que se establecen con las partes costeras de California. En cambio, las similitudes a nivel genérico entre la flora de algunas partes secas de México con respecto a la de la región árida preandina conocida como "monte" en Argentina resulta ser del mismo orden que la que acusan respectivamente entre sí la zona "sonorense" y la "chihuahuense" (Rzedowski, 2006).



Mapa 1. Vegetación de México. Tomado de Rzedowski, 2006.

El registro fósil conocido no ofrece datos sobre vegetación de clima seco, ya que la aridez no favorece la preservación de restos vegetales. La existencia de climas secos y de una vegetación xerófila se puede deducir a partir de pruebas geológicas y también por la variedad y riqueza en endemismos de la flora actual de las regiones áridas de México. La elevada porción de endemismos en la composición florística de la zona seca aislada correspondiente a Tehuacán Cuicatlán constituye un argumento fuerte a favor de la antigüedad de climas secos en México (Rzedowski, 2006).

I.4 El Valle de Tehuacán-Cuicatlán

El Valle de Tehuacán se encuentra en la cuenca del río Salado, a una altitud de 1000 y 1800 msnm en promedio, con clima semi-árido, suelos rocosos y calizos. Entre las cactáceas más características de esta zona podemos encontrar: *Pilosocereus chrysacanthus*, *Cephalocereus columna-trajani*, *Coryphanta pallida*, *C. calipensis*, *Echinocactus platyacanthus*, *Escontria chiotilla*, *Ferocactus flavovirens*, *Myrtillocactus geometrizans* var. *grandiareolatus*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *N. mezcalaensis*, *N. tetetzo*, *Opuntia decumbens*, *O. depressa*, *O. pilifera*, *O. pumila*, *O. velutina* var. *velutina*, *Ferocactus robustus*, *Heliabravoa chende*, *Mammillaria carnea*, *M. haageana*, *M. mystax*, *M. napina*, *M. viperina*, *Opuntia velutina* var. *macdougaliana*, *Cylindropuntia tunicata*, *Pachycereus hollianus*, *Polaskia chichipe*, *Stenocereus pruinosus*, *S. lophocereus*, *S. stellatus*, *Pachycereus weberi*, *Peniocereus viperinus* (Méndez et al., 2005).

La zona de Cuicatlán se extiende en las laderas de los cerros hasta 750 msnm de altitud y está caracterizada por la presencia de *Cercidium praecox*, *Neobuxbaumia mezcalaensis*, *N. tetetzo*, *N. macrocephala*, *Cephalocereus columna-trajani* y *Pachycereus weberi* (Méndez et al., 2005).

II. PREGUNTA

¿Qué procesos son los que han originado la distribución actual de las cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC)?

¿Cuáles son los patrones de distribución de las especies de cactáceas columnares en el VTC que los procesos han generado?

III. ANTECEDENTES

Las cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC)

En 10,000 km² del VTC existe entre el 10% y el 11.4% aproximadamente de la flora mexicana. Además, el Valle posee 365 especies endémicas que representan el 13.9% de su flora (Dávila *et al.*, 2002).

En una evaluación del endemismo de la provincia florística del VTC, se encontró que hay un total de 207 especies de plantas con flores (Magnoliophyta), repartidas en 118 géneros y 51 familias. Las familias con mayor número de especies son Asteraceae (35), Lamiaceae (16), Crassulaceae (14), Fabaceae (14), Euphorbiaceae (14) y Cactaceae (21). Mientras que en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) se encontraron 170 especies que están incluidas en 101 géneros y 41 familias, lo que representa el 82% del endemismo de la provincia del VTC (Méndez *et al.*, 2004).

Estadística espacial

En la actualidad se han realizado pocas investigaciones empleando el uso de la estadística espacial para el análisis de patrones biogeográficos: Aubry y Debouzie

(2000) utilizaron la media espacial, mientras que Overmars *et al.* (2003), Sokal (1983), Lichstein *et al.*, (2002), Acuña-Poch (2001) y Cuevas (1999) trabajaron con autocorrelación espacial.

Aubry y Debouzie (2000) hicieron uso de dos dimensiones de muestreo sistemático para estimar la media espacial y la densidad de individuos; se calculó la variación de las densidades existentes en bellotas mostrando la intervención de parámetros tales como: el origen de la muestra y el tamaño del cuadrante. Esto permitió calcular una variación de la densidad en la media espacial, autocorrelación espacial en los datos y la sistematización del muestreo.

Autocorrelación espacial

Overmars *et al.*, (2003) realizaron un estudio con un conjunto de datos del Ecuador, detectaron autocorrelación espacial positiva y demostraron que la autocorrelación espacial es altamente dependiente sobre el nivel de agregación. Los residuos del modelo original de regresión también muestran autocorrelación positiva, lo que indica que el modelo de regresión lineal múltiple no puede captar todas las dependencias espaciales en los datos.

Usando el aislamiento por distancia como modelo, se examinaron varios supuestos de análisis de autocorrelación espacial, resultando parámetros como la movilidad y el tamaño del área de estudio. Las diferencias en estos parámetros son detectables así como las diferencias espaciales en la autocorrelación espacial después de unas generaciones. Además se realizaron semivariogramas para hacer las inferencias acerca de la estructura de la población (Sokal, 1983).

Lichstein *et al.*, (2002) utilizaron modelos de autocorrelación espacial para examinar las relaciones del hábitat de cría para tres especies de pájaros

migratorios en el sur de las Montañas Apalaches de Carolina del Norte y Tennessee, EE.UU. En los modelos preliminares se hizo caso omiso del espacio, la abundancia de las tres especies se correlacionó con la escala del paisaje y el hábitat. En este estudio los patrones espaciales, sugieren que para estudios futuros una escala de 500-1000 m sería apropiada para la investigación de posibles procesos.

Acuña-Poch (2001) realizó un trabajo para conocer el modelo de variación espacial de las propiedades físicas del suelo. Los resultados muestran que al utilizar los semivariogramas se ajustaron los modelos teóricos. Este ajuste fue más notorio en distancias cortas, apareciendo mayor dispersión con el incremento de la distancia (h). Los semivariogramas obtenidos sugieren que las propiedades tienen menor variabilidad a distancias menores de 300m.

En otro estudio de la minimización de las incertidumbres del contenido en agua generadas por la variabilidad espacial y el limitado número de datos, se definió cuál es el intervalo óptimo de muestreo para el estudio sistemático y representativo de una formación salina (Cuevas, 1999). Se realizó un análisis geoestadístico a partir de muestreos tanto a pequeña escala como a gran escala con muestras procedentes de diversas formaciones salinas. Se utilizaron semivariogramas para extrapolar valores y mostrar intervalos de muestreo.

IV. HIPÓTESIS

Al analizar la distribución de especies de cactáceas columnares en el VTC con técnicas de estadística espacial, se podrán proponer los procesos que dieron origen a los patrones de distribución presentes.

Siguiendo la propuesta de McIntire y Fajardo (2009) sobre las multihipótesis, se propone un conjunto de hipótesis y su correspondiente patrón espacial esperado mediante la media espacial.

Hipótesis: Media espacial

H1. Si durante la formación del VTC éste se encontraba a una misma altitud que posteriormente se fue modificando y provocó la desaparición de especies en territorios que modificaron su elevación, entonces la distribución de las cactáceas columnares en la actualidad debe ser a lo largo de todo el territorio del VTC a pesar de las barreras que representan las diferentes altitudes (Fig. 6.H1).

H2. Si el proceso de especiación se dio después de la formación del VTC, entonces la distribución de las cactáceas columnares estará restringida en algunos rangos latitudinales (Fig. 6.H2).

H3. Si la región del VTC es un centro de especiación de cactáceas columnares, entonces las áreas de distribución actuales en la República Mexicana mostrarán un patrón espacial concentrado en el VTC (Fig. 6.H3).

H4. Si el VTC no es el principal centro de especiación de cactáceas columnares, entonces su distribución espacial está presente en todas las latitudes de la República Mexicana (Fig. 6.H4).

H5. Si el grupo Pachycereinae y el grupo Stenocereinae se distribuyen de manera similar a lo largo del VTC entonces comparten un ancestro común (Fig. 6 H5)

H6. Si el grupo Pachycereinae y el grupo Stenocereinae se distribuyen de manera similar a lo largo del VTC entonces no comparten un ancestro común y son grupos independientes (Fig. 6 H6)

Tabla 1. Posibles procesos histórico-biogeográficos en el VTC y los patrones que de ellos se derivan.

Hipótesis	Proceso	Patrón esperado
H1	Especiación antes de la formación del VTC	Distribución actual de cactáceas columnares en el VTC a lo largo de todas sus altitudes
H2	Especiación después de la formación del VTC	Distribución en algunos rangos latitudinales.
H3	Especiación en la República Mexicana y el VTC	Distribución actual en la República Mexicana y el VTC como centro de origen
H4	Especiación en la República Mexicana y el VTC.	Distribución en toda la República Mexicana, el VTC no es centro de origen.
H5	Distribución similar en el VTC de Pachycereinae y Stenocereinae	Comparten ancestro común
H6	Distribución diferente en el VTC de Pachycereinae y Stenocereinae	No comparten ancestro común

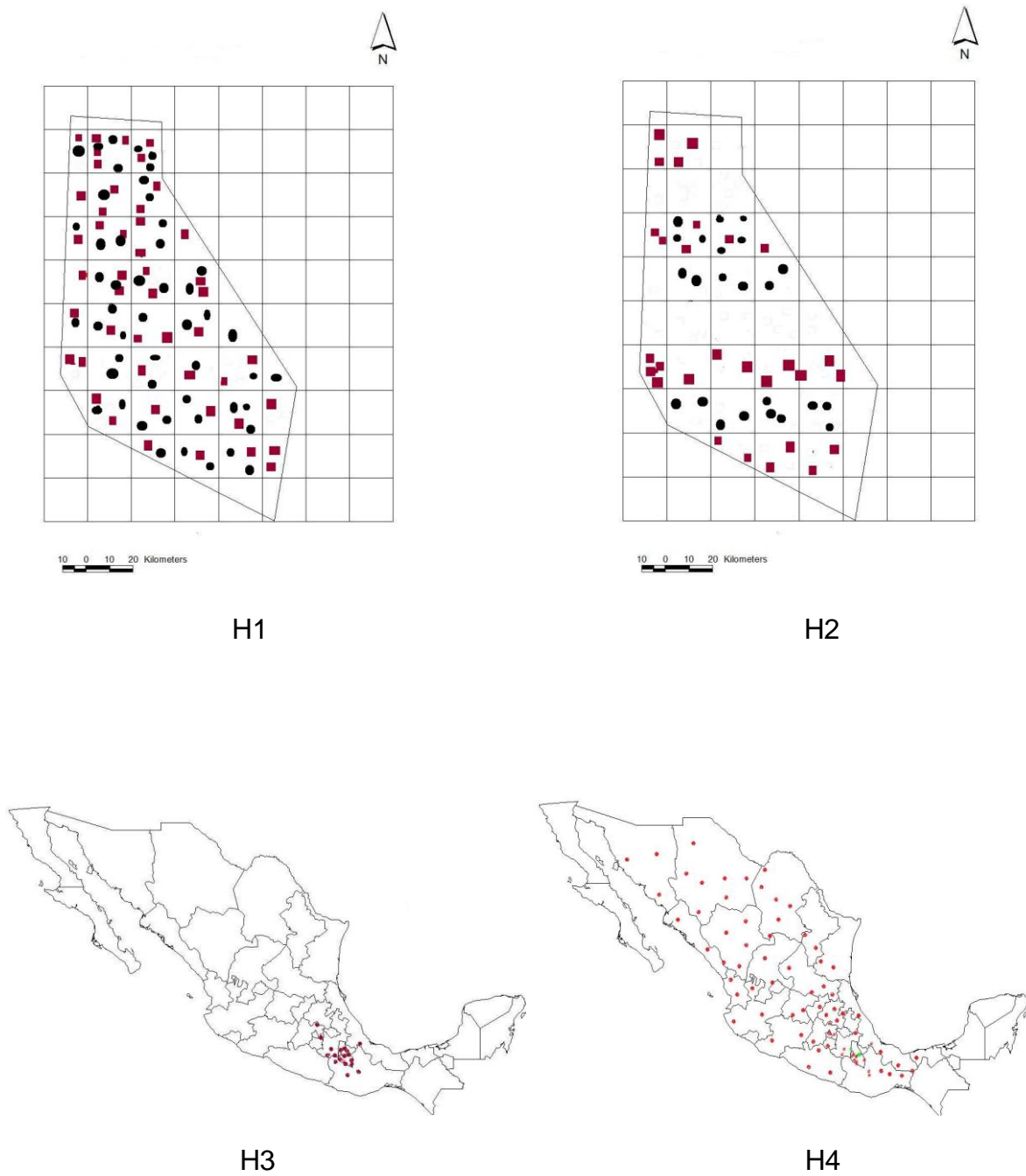


Figura 6a. Ejemplos esquemáticos de las multihipótesis H1, H2, H3 y H4.

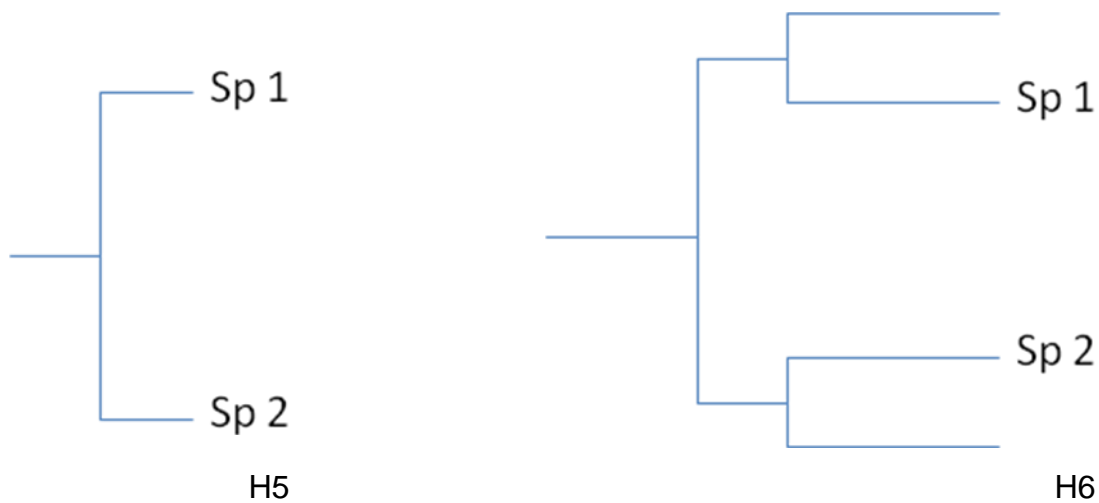


Figura 6b. Ejemplos esquemáticos de las multihipótesis H5 y H6.

Hipótesis: autocorrelación espacial

Si al analizar la distribución de las cactáceas columnares en UGO de 20' los valores similares son vecinos la autocorrelación espacial es positiva, de lo contrario si los valores similares son lejanos o si son de diferente tipo entonces la autocorrelación espacial es negativa.

H1A. Si al inicio de la formación del VTC, éste se encontraba a una misma altitud y se dio un proceso de especiación, entonces se encontrará que hay autocorrelación espacial positiva en altitudes cercanas, y negativa en altitudes alejadas del VTC.

H2A Si el proceso de especiación se dio después de la formación del VTC, entonces la distribución de las cactáceas columnares estará restringida en algunos rangos altitudinales y la autocorrelación espacial será negativa en todo el VTC.

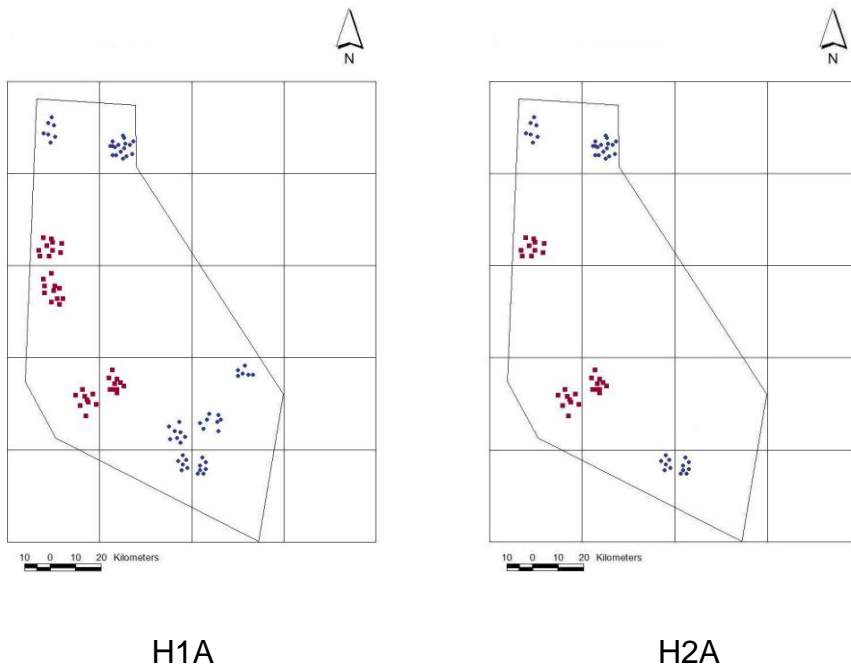


Figura 7: Ejemplos esquemáticos de las multihipótesis de autorrelación espacial H1A y H2A.

V. OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar los principales procesos que han originado los patrones actuales de distribución de las especies de cactáceas en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC) mediante técnicas de la estadística espacial y la propuesta multihipótesis de McIntire y Fajardo (2009).

Objetivos particulares

Analizar si el VTC es o no el centro de origen de las cactáceas columnares mediante técnicas de estadística espacial.

Conocer si la técnica de la estadística espacial puede ayudar en la identificación de procesos biogeográficos.

VI. MÉTODO

Bases de datos

Para la realización de este proyecto se elaboró una base de datos de cactáceas columnares con registros de su distribución a partir de datos disponibles en Bases de Datos públicas (Ezcurra, 1997; Dávila, 2000).

En la base de datos se incluyó una tabla, en la que se almacenaron los registros de recolecta de las especies estudiadas, 190 registros de cactáceas columnares en el VTC, mientras que para la República Mexicana 5,726 registros. Estas especies incluyen las coordenadas de las localidades en latitud y longitud. Con ellos se definieron las especies de cactáceas columnares presentes en las UGO de tres tamaños. Para obtener un patrón general de la distribución de las especies, se calculó la media espacial, a partir de la matriz de especies por UGO.

Definición de UGO

Se definieron las unidades geográficas operativas (UGO) en las que se dividió el VTC como cuadros de 10', 20' y 30' de lado. Considerando que a esas latitudes, un minuto equivale a aproximadamente a 1.2 km, las áreas aproximadas de cada cuadro son 144km², 576 km² y 1296 km² respectivamente. (Fig. 8)

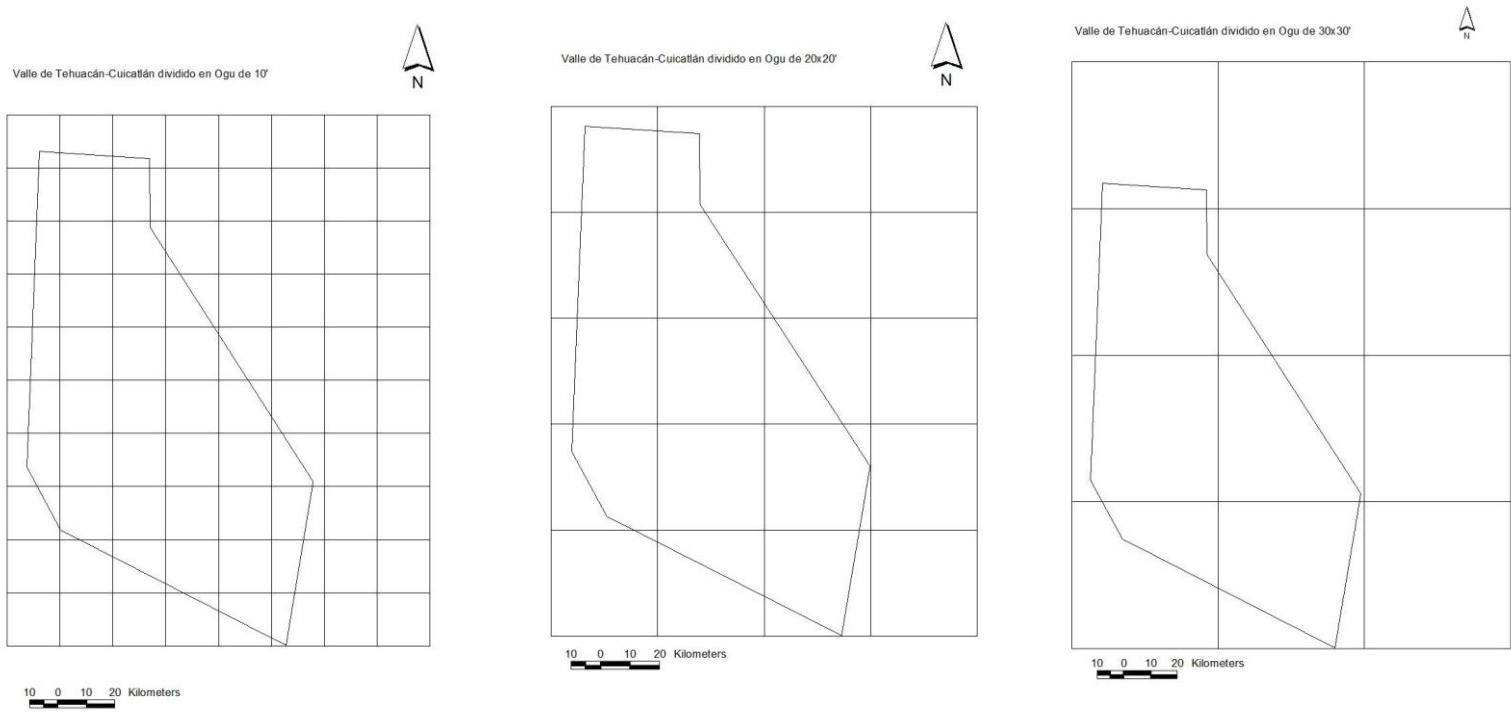


Figura 8: Valle de Tehuacán-Cuicatlán dividido en OGU de tres diferentes tamaños: a) 10'. b) 20' v c) 30'.

Efecto MAUP sobre la media espacial

Para cuantificar el efecto de la unidad de área modificable (MAUP, por sus iniciales en inglés; Wong, 1996) sobre la media espacial, se calculó la media espacial para cada especie y también se calculó la media espacial total (para todas las especies en un solo conjunto) y se realizó una comparación entre los tres tamaños de UGO.

Se realizó una comparación de las medias espaciales totales y por especie entre las UGO de 10', 20' y 30'.

Se instaló en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) el polígono del VTC junto con los registros de la base de datos georreferenciados, y el cálculo de la media espacial por especie en cada UGO de 10', 20' y 30', así como la media espacial total por UGO.

Uso de semivariograma para medir el rango de distribución de las especies

Si al analizar la distribución de las cactáceas columnares en UGO de 20' los valores similares son vecinos la autocorrelación espacial es positiva, de lo contrario si los valores similares son lejanos o si son de diferente tipo entonces la autocorrelación espacial es negativa.

Al utilizar la herramienta semivariograma se podrá diferenciar a qué distancia (h) las especies de cactáceas columnares tienen autocorrelación positiva y negativa, es decir con distribución restringida de aquellas con distribución amplia, tanto vertical como horizontalmente a lo largo del VTC.

Se espera que al incrementar h en el plano horizontal, la autocorrelación espacial de las cactáceas columnares en el VTC se incremente de manera más notoria que en el plano vertical.

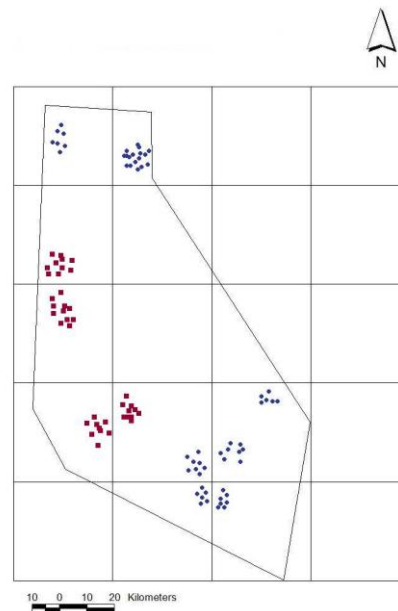


Figura 9: Ejemplo esquemático del patrón de la autocorrelación esperado al calcular autocorrelación espacial en UGO de 20'.

Diseño de hipótesis proceso-patrón de McIntire y Fajardo

Los patrones geográficos pueden ser específicos de un proceso, en este estudio se consideran los diversos procesos biogeográficos en el VTC que explican la distribución actual de las cactáceas columnares. Si los patrones que originan cada proceso son diferentes, se puede establecer una relación en sentido inverso: al observar cierto patrón, se puede establecer que operó determinado proceso, es decir, que los procesos pueden generar patrones únicos, a lo que McIntire y Fajardo (2009) se refieren como la “huella digital” geográfica del proceso.

De acuerdo con lo propuesto por McIntire y Fajardo (2009) sobre la huella digital se realizaron varias propuestas de hipótesis alternativas para los patrones detectados mediante medias espaciales y mediante autocorrelación espacial.

Identificación de patrones

Con base a las medias espaciales obtenidas de las especies de cactáceas columnares por UGO, se generaron mapas de las medias espaciales para la identificación de patrones.

Cálculo de frecuencia de medias espaciales por banda latitudinal

Para verificar si existe un patrón latitudinal, se calculó la frecuencia de distribución de las medias espaciales de cada especie en bandas latitudinales de 20'.

VII. RESULTADOS

Definición de UGO

A partir de las bases de datos de Ezcurra (1997) y Dávila (2000), se definieron UGO de 10', 20' y 30', en estas bases de datos se registra información de nombres de especies, géneros, localidades, coordenadas geográficas, entre otras.

Tabla 2. Fragmento de la lista de registros de cactáceas del VTC que incluyen los datos de especie, coordenadas geográficas de la localidad de recolecta.

Especie	Género	Familia	Localidad	LAT	LON
Cephalocereus columna-trajani	Cephalocereus	Cactáceae	Azumbilla	17.83	-96.555
Escontria chiotilla	Escontria	Cactáceae	Cañon de Tomellín	17.33	-96.733
Mitrocereus fulviceps	Mitrocereus	Cactáceae	El riego	17.85	-97.183
Neobuxbaumia macrocephala	Neobuxbaumia	Cactáceae	San Pedro	18.33	-97.583
Neobuxbaumia tetetzo	Neobuxbaumia	Cactáceae	Tehuacán	18.31	-97.517

Efecto MAUP sobre la media espacial

Con la finalidad de cuantificar el efecto MAUP sobre la media espacial, se realizó un cálculo con la base de datos (Tabla 2), en la que se obtuvieron tres medias espaciales totales: una para cada tamaño de UGO (Tabla 3). Además se obtuvieron 19 medias de las especies de cactáceas columnares para cada una de las tres rejillas con tamaños de UGO de 10' 20' y 30' (Figura 10).

Tabla 3. Medias espaciales totales por UGO.

Rejilla (Tamaño de UGO)	Media espacial	
	LATITUD	LONGITUD
10'	18.33	-97.67
20'	18.40	-97.73
30'	18.22	-97.54

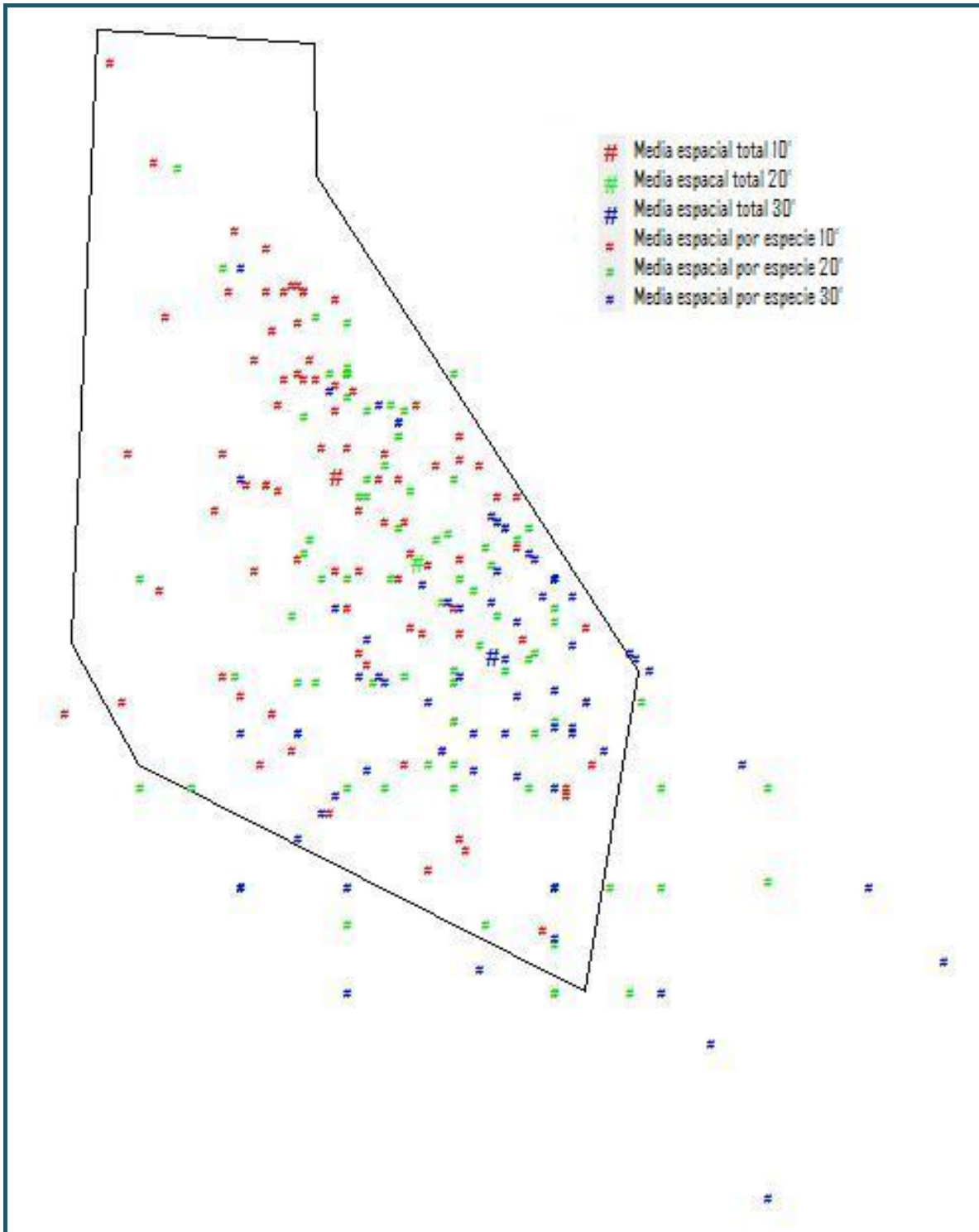


Figura 10. Medias espaciales de 19 especies de cactáceas columnares, en los tres tamaños de UGO y media espacial total por UGO.

Al realizar una comparación entre las medias espaciales totales en los tres tamaños de UGO, se obtuvo que la diferencia mínima en cuanto a distancia en latitud en las tres UGO es de 9' y la máxima es de 20.4', mientras que en longitud la diferencia en la distancia mínima es de 7.2' y la máxima de 15.6', esto equivale a diferencia mínima de 9% y máxima 20.4% en cuanto a latitud total del VTC y una diferencia mínima de 12% y máxima de 26% de longitud total del VTC.

Tabla 4. Diferencias en las medias espaciales totales en las tres UGO.

Espece	LATITUD (minutos)	LONGITUD (minutos)
Polaskia chichipe	9	11.4
Stenocereus dumortieri	9.6	9
Marginatocereus marginatus	9.6	10.8
Polaskia chende	9.6	11.4
Pachycereus weberi	10.2	7.2
Neobuxbaumia mezcalaensis	10.2	7.8
Escontria chiotilla	10.2	10.8
Myrtillocactus geometrizans	10.2	10.8
Stenocereus stellatus	10.8	11.4
Stenocereus pruinosus	10.8	11.4
Neobuxbaumia macrocephala	11.4	9
Pilosocereus chrysacanthus	12	12
Lemaireocereus hollianus	12.6	13.2
Pachycereus grandis	13.2	12
Neobuxbaumia tetetzo	13.2	12
Myrtillocactus schenckii	13.2	13.8
Cephalocereus columna trajani	15	15.6
Stenocereus treleasei	16.2	15
Mitrocereus fulviceps	20.4	13.2

Al localizar las medias espaciales en un mapa (Figura 9) se aprecia que no hay problema de la unidad de área modificable (efecto MAUP) en el VTC. Al no presentarse MAUP y considerando que el tamaño de UGO no es muy pequeño y tampoco es muy grande para que se vea afectado el análisis de distribución de las especies de cactáceas columnares, se decidió hacer el análisis de patrones del VTC con las UGO de 20'.

Medias espaciales en rejilla de 20'

En la rejilla de 20' se realizó el cálculo de la media espacial de las 19 especies de cactáceas columnares y total, presentes en el VTC y la República Mexicana.

Tabla 5. Medias espaciales por especie y total en rejilla de 20'.

Cactaceas columnares	Media espacial	
	Latitud	Longitud
TOTAL	18.33	-97.67
Cephalocereus columna trajani	18.12	-97.20
Escontria chiotilla	17.72	-97.40
Lemaireocereus hollianus	18.10	-97.28
Marginatocereus marginatus	19.26	-98.78
Myrtillocactus geometrizans	19.91	-99.08
Myrtillocactus schenckii	17.16	-96.62
Neobuxbaumia macrocephala	18.07	-97.29
Neobuxbaumia mezcalaensis	18.13	-98.27
Neobuxbaumia tetetzo	17.79	-96.92
Pachycereus grandis	17.58	-97.38
Pachycereus weberi	18.02	-97.70
Pilosocereus chrysacanthus	18.00	-97.42
Polaskia chende	18.44	-97.75
Polaskia chichipe	18.11	-97.57
Pseudomitrocere fulviceps	18.11	-97.22
Stenocereus dumortieri	18.44	-98.16
Stenocereus pruinosus	18.74	-96.47
Stenocereus stellatus	17.81	-97.52
Stenocereus treleasei	16.92	-96.60

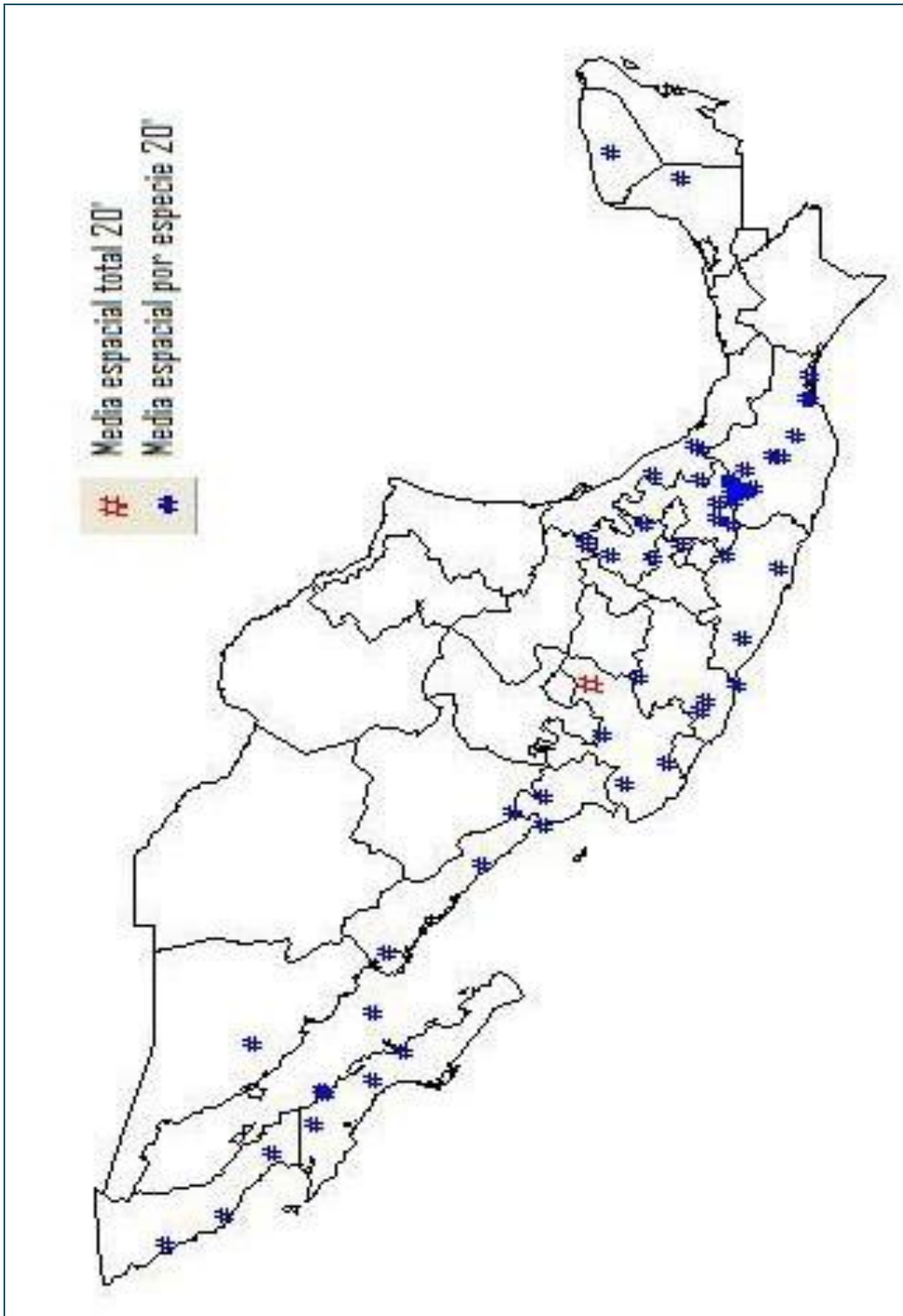


Figura 11. Medias espaciales por especie y total de cactáceas columnares en rejilla de 20' presentes en el VTC y en la República Mexicana.

De las diecinueve especies de cactáceas columnares con las que se hizo el análisis, doce están presentes en el VTC y cinco de estas especies son endémicas al VTC, mientras que siete especies caen fuera del VTC.

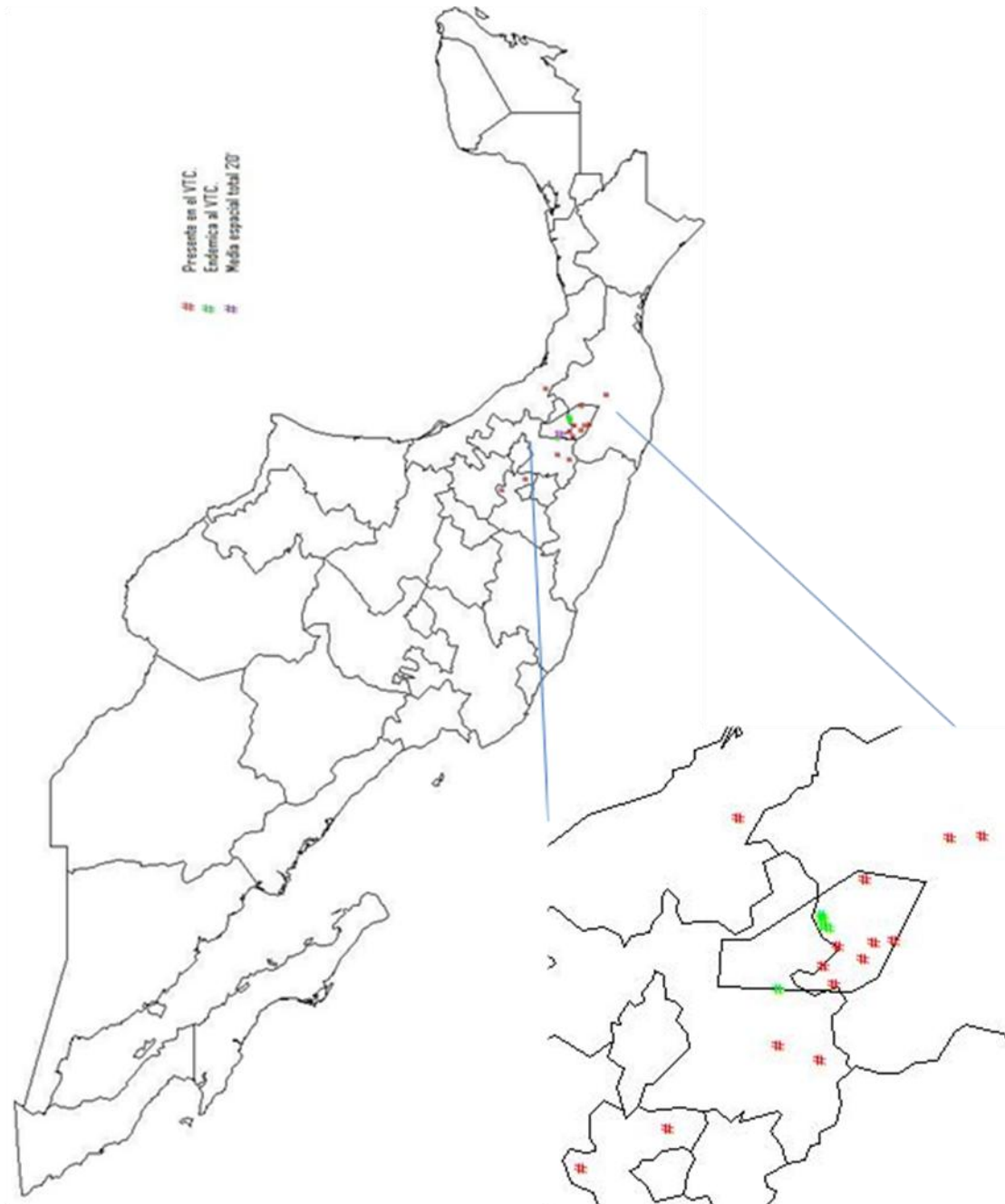


Figura 12. Medias espaciales de especies (# presente en VTC; # endémica al VTC) y total (#) de cactáceas columnares en rejilla de 20'.

Tabla 6. Especies de cactáceas columnares del VTC.

	No. de especies	Especies endémicas al VTC
Total de especies en el VTC	19	5
Medias espaciales dentro del VTC	12	5
Medias espaciales fuera del VTC	7	0

Cálculo de frecuencia de medias espaciales por banda latitudinal

Doce medias espaciales caen dentro de los límites del VTC, incluso las especies que no son endémicas al VTC. Se observa también que la mayor frecuencia es en 17°40' a 18°20', tanto para las especies endémicas como para las no endémicas.

De las medias espaciales anteriores se obtuvieron gráficas por banda latitudinal, en la primera gráfica (Figura 13), se observa que las medias espaciales caen en latitudes de 16°40' a 20°0' aproximadamente. Se presenta con color gris las especies de cactáceas columnares que son endémicas al VTC y con negro las que están presentes en el resto de la República Mexicana.

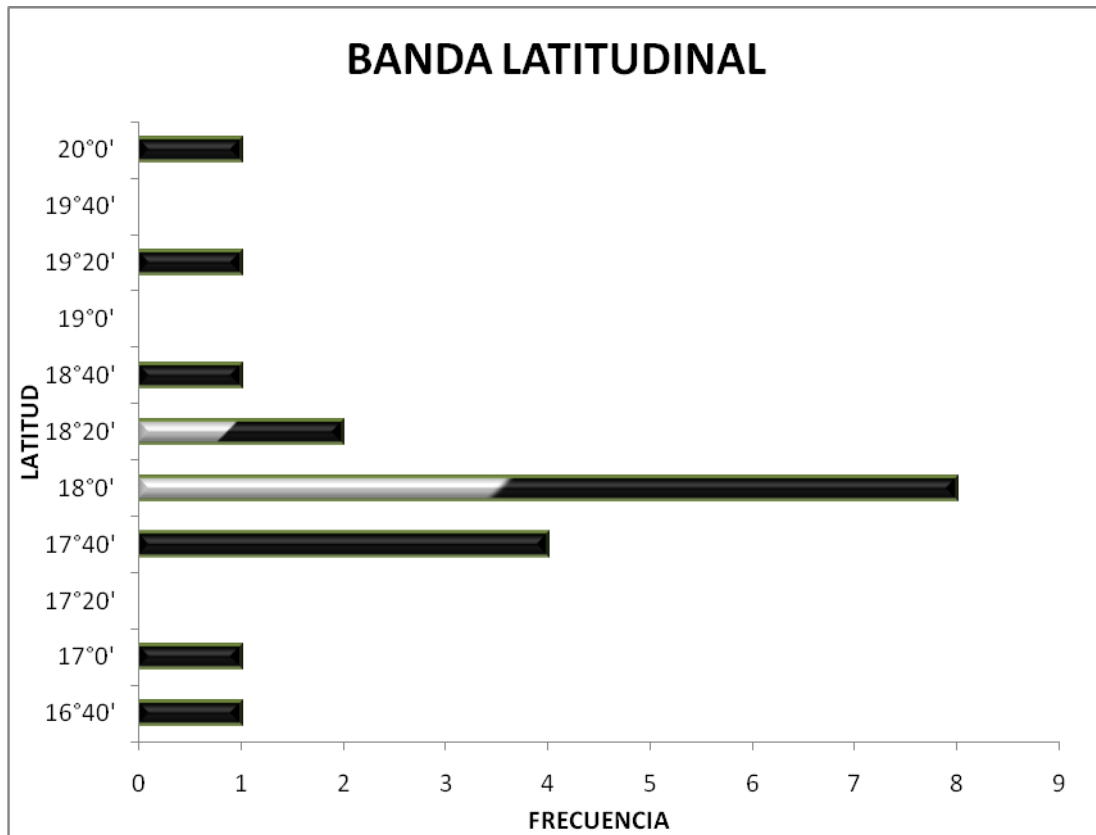


Figura 13. Frecuencias de medias espaciales por banda latitudinal de 20' de cactáceas columnares presentes (negro) y endémicas (gris) del VTC.

VIII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La media espacial es una técnica que con frecuencia se utiliza para realizar diversos estudios de análisis espacial, sin embargo, en biogeografía aún no se ha explotado su uso. Con este cálculo tan sencillo se pueden obtener patrones de distribuciones generales, y con ellos, indicios de los procesos biogeográficos subyacentes, como los patrones encontrados en este estudio sobre la distribución de las cactáceas columnares en el VTC.

Al realizar el cálculo de medias espaciales en tres tamaños de UGO se pudo apreciar que la distribución de las mismas no se vio afectada a pesar de que se incrementaba el tamaño de UGO, es decir no hubo efecto de la unidad de área modificable (MAUP) al cambiar el tamaño de UGO.

Las cactáceas columnares se distribuyen a lo largo del territorio mexicano, pero al calcular la media espacial se puede apreciar que donde se encuentran concentradas es en los estados de Puebla y Oaxaca, estados en los que se encuentra el VTC.

La media espacial de diecinueve especies de cactáceas columnares caen en un 63.15% (12 de 19) dentro del VTC, cinco especies son endémicas al VTC, es decir que el VTC posiblemente es un centro de origen, ya que es un número muy alto de endemismos en cuanto a cactáceas columnares.

Tomando en cuenta que el VTC se encuentra localizado entre los 17°48' y 18°58' de latitud y que las medias espaciales de las especies endémicas se localizan entre los 18°00' y los 18°20' de latitud aproximadamente, se propone que hay un patrón latitudinal para las especies (*Cephalocereus columna trajani*, *Lemaireocereus hollianus*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *Polaskia chende* y

Pseudomitrocereus fulviceps) porque las medias espaciales están concentradas en tan solo una franja de 20' de un rango posible de 1°10' (17°48' a 18°58').

Los cambios y los procesos que intervienen en la distribución de las cactáceas tienen lugar en el pasado y en el presente; uno de estos procesos es la especiación que tanto en las especies antiguas y actuales se relacionan por su origen y comparten conexiones genéticas a través de linajes que se extienden en el tiempo (Starr y Taggart, 2004).

La edad de algunos eventos históricos-geológicos tales como los que dieron origen a La Cañada (37-49 Ma), Tehuacán (14-27 Ma) y El Valle de Zapotitlán (121-147 Ma) presentes en el VTC, así como los patrones biogeográficos detectados mediante la media espacial dan idea de que el proceso de especiación se dio hace más de 50 Ma (Valiente-Banuet *et al.*, 2009).

Mediante el análisis de la media espacial se observó que la distribución de las especies es a lo largo del VTC, por lo que se propone que al inicio de la formación del VTC éste se encontraba a una misma altitud y se fue modificando, dándose una distribución en todo el VTC a pesar de las diferentes altitudes que en él se presentan, además de un alto número de endemismos. Las especies de *Pachycereus* y *Stenocereus* se distribuyen de manera similar a lo largo del VTC.

IX. CONCLUSIONES

La media espacial es una herramienta de análisis biogeográfico que puede usarse para describir y detectar patrones biogeográficos.

La media espacial no muestra el problema de unidad de área modificable (MAUP) cuando se incrementa el tamaño de la UGO, de lo contrario se esperaría una ubicación totalmente diferente al patrón que se observa: medias espaciales más distantes para los diferentes tamaños de UGO.

Por la distribución latitudinal de las cactáceas columnares endémicas al VTC, se propone la existencia de un patrón latitudinal en la franja de 17°40' a 18°20'.

La distribución actual de cactáceas columnares en el VTC indican que los procesos histórico-geográficos y de especiación tuvieron lugar hace 100 millones de años aproximadamente.

Se propone que el proceso de especiación se dio antes de la formación de los principales elementos fisiográficos actuales del VTC y que es un centro de especiación de cactáceas columnares.

Se propone la existencia de un ancestro común para las especies *Pachycereus* y *Stenocereus*, debido a la distribución de ambas especies.

REFERENCIAS

- ACUÑA E. y Poch R. 2001. Variabilidad de propiedades físicas de suelos forestales. Aplicación a la cuenca Rasa de Cogulers (El Solsonés, Prepirinero Catalán). *Edafología*, 8:3, 11-23 pp.
- ARLINGHAUS S. 2000. *Spatial Statistics*. EUA. 307 pp.
- AUBRY P. y Debouzie D. 2000. Geoestatistical estimation variance for the spatial mean in two-dimensional systematic sampling. *Ecology Society of America* 81: 543-553.
- BRAVO H.H. 1978. *Las Cactáceas de México*. México, UNAM, 2a ed. Vol. 1, 743.
- BRAVO H.H. 1978. *Las Cactáceas de México*. México, UNAM, 2° ed. Vol. 2, 404.
- CONTRERAS R., Luna I. y Morrone J. 2001. Conceptos biogeograficos. www.Mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?|d_Articulo=64 -118Kgeograficos. *Elementos* 41: 33-37. Accedida el 25/06/08
- CUEVAS C. 1999. Aplicación del análisis geoestadístico al diseno de programas de muestreo en formaciones salinas. *Acta Geológica Hispánica*. 31:4 67-76.
- DÁVILA P. 2000. *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. FES-IZTACALA, UNAM. Base de datos SNIB-CONABIO proyecto Q014. México, D.F.
- DÁVILA P., Arizmendi M., Banuet V., Villaseñor J., Casas A. y Lira R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Biodiversity and Conservation* 11: 421-442.

DÁVALOS O., Nieto A., Alaniz S., Martínez E., Ramírez E. Estratigrafía cenozoica de la región de Tehuacán y su relación con el sector norte de la falla de Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. UNAM. 24:002 197.215

DOUGLAS J. 2003. Principales líneas de estudio en la biología evolutiva contemporánea. Ciencias julio.septiembre 071. UNAM. México, D.F.16-28

EZCURRA E. 1997. Colección de Cactáceas Columnares de México. IE-MORELIA, UNAM. Base de Datos REMIB. Proyecto G003. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Inf%20P091.pdf> Accedida el 18 de mayo de 2008.

LACOSTE A. y Salanon R. 1981. Biogeografía. Barcelona HYPERLINK <<http://club.telepolis.com/geografo/biogeografia/biogeografia.htm>> Accedida el 22/02/08

LICHSTEIN J., Simons T., Shriner S. y Franzreb K. 2002. Spatial autocorrelation and autoregressive models in ecology. Ecological monographs 72:445-463.

LOMOLINO M., Roddle B. y Brown J. 2006. Biogeography. 3th Ed. Sinauer Associates Pub. EUA. 845.

MATHIAN H. y Sanders L. 2004. Estadística Espacial. Hypergeo - GDR Libergéo. <http://www.hypergeo.eu/article.php3?id_article=172> Accedida el 25/02/08.

MCINTIRE E. y Fajardo A. 2009. Beyond description; the active and effective way to infer processes from spatial patterns. Ecology 90: 46-56.

- MÉNDEZ L., Ortiz E. y Villaseñor J.L. 2004. Las Magnoliophyta endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del Valle de Tehuacán- Cuicatlán, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 75: 87-104.
- MÉNDEZ L., Villaseñor J.L., Lira R., Morrone J. J., Dávila P. y Ortiz E. 2005. Toward the identification of a core zone in the Tehuacan-Cuicatlán Biosphere Reserva, México base don Parsimony Analysis or Endemicity of Flowering plant species. *Interciencia* 30:267-275.
- MORRONE J., Espinosa D. y Llorente J. 1996. *Manual de Biogeografía histórica*. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 155 pp.
- MURGUÍA M. 2005. La Estadística espacial como herramienta de análisis de la biodiversidad. En: Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P y A. Melic (eds). *Sobre Biodiversidad Biológica: El significado de las diversidades Alfa, Beta y Gamma*. M3M Monografías Tercer Milenio. Zaragoza, España. 4:63-72.
- MURGUÍA M. 2005. *Biogeografía Cuantitativa: Análisis de Métodos y Desarrollo de Herramientas*. Tesis (Doctorado en Ciencias), Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM, México, D.F.
- OVERMARS K., Koning G. y Veldkamp A. 2003. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models. *Science direct. Ecological* 164:257-270.
- RZEDOWSKI J. 2006. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/centrodoc/doctos/vegetacion_de_mexico.html>
- SOKAL R. y Wartenberg D. 1983. A test of spatial autocorrelation analysis using an isolation-by-distance model *Genetics*. 105: 219-237.

STARR C., Taggart R. 2004. Biología 2. La unidad y diversidad de la vida. décima edición. 296pp.

VALIENTE A., Solis L., Dávila P., Arizmendi Ma., Silva C., Ortega J., Treviño J., Rangel S. y Casas A. 2009. Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. México. 139pp.

VILLASEÑOR J. 2003. Diversidad y distribución de las magnoliophyta de México. Interciencia. 28: 160-167.

WONG D. 1996. Aggregation effects in geo-referenced data. 83-105 pp. En Arlinghaus S. 2000. Spatial Statistics. EUA.

ANEXO. ESPECIES DE CACTÁCEAS COLUMNARES DEL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN

ESPECIE	AUTOR	REFERENCIA	DISTRIBUCIÓN POR ENTIDAD FEDERATIVA	ENDEMICA AL VTC
Cephalocereus columna-trajani	(Karw. Ex Pfeiff.) K. Schum	In Engl. & Prantl, Nat. Pflanzenfam 3(6a):182.1894	OAX, PUE	SI
Escontria chiotilla	(F.A.C. Weber ex K. Schum. Rose	Contr. U.S. Natl. Herb. 10: 126. 1906	GRO, MICH, OAX, PUE	NO
Lemaireocereus hollianus	F.A.C. Weber ex J.M. Coult. Britton & Rose	Contr. U.S. Natl. Herb. 10: 425. 1909	OAX, PUE	SI
Marginatocereus marginatus	(D.C.) Backeb.	Cactaceae (Berlin) 1942: 77.1942	AGS, COL, DGO, GTO, OAX, PUE, QRO, SLP, ZAC	NO
Myrtillocactus geometrizans	(Mart. Ex Pfeiff.) Console, Boll.	Reale Orto Bot. Palermo 1:10. 1837	AGS, DGO, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NL, OAX, PUE, QRO, SLP	NO
Myrtillocactus schenkii	(J.A. Purpus) Britton & Rose.	Contr. U.S. Natl. Herb. 12: 427.1909	OAX, PUE	NO
Neobuxbaumia macrocephala	(F.A.C. Weber ex K. Schum.) E. Y. Dawson	Cact. Succ. J. (Los Angeles) 24:173.1952	PUE	SI
Neobuxbaumia mezcalaensis	(Bravo) Backeb	Beitr. Sukkulente n. Sukkulente n. pfl ege 1941:3. 1941	GRO, JAL, MICH, MOR, OAX, PUE	NO
Neobuxbaumia tetetzo	(F.A.C. Weber Backeb)	Blätt. Kakteenf. 6. 1938	OAX, PUE	NO
Pachycereus grandis	Rose in Britton & Rose	Contr. U. S. Natl. Herb. 12: 421. 1909	MEX, MICH, MOR, OAX, PUE	NO
Pachycereus weberi	(J.M. Coult) Backeb	Die Cactaceae 4: 2152. 1960	GRO, MICH, MOR, OAX, PUE	NO
Pilosocereus chrysacanthus	(F.A.C. Weber ex K. Schum.) Byles & G.D. Rowley	Cact. Succ. J. Gr. Brit. 19:66. 1957	GRO, OAX, PUE	NO

Polaskia chende	(Gosselin) A.C. Gibson & K.E. Horak	Ann. Missouri Bot. Gard. 65:10061979	OAX, PUE	SI
Polaskia chichipe	(Gosselin) Backeb.	Blatt Sukkulenktk. 1:4. 1949	OAX, PUE	NO
Pseudomitrocere us. Fulviceps	(F.A.C. Weber ex K. Schum.) Brao & Buxb.	In Buxb., Bot. Stud. 12:99. 1961. Pr	OAX, PUE	SI
Stenocereus dumortieri	(Scheidw.) Buxb.	Botanische Studien 12:92. 1961	AGS, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, OAX, PUE, QRO, SLP, VER, ZAC	NO
Stenocereus pruinosus	(Otto ex Pfeiff) Buxb	Bot. Stud. 12: 101. 1961	CHIS, GRO, OAX, PUE, SLP, TAMP, VER, YUC	NO
Stenocereus stellatus	(Pfeiff) Riccob	Boll. Reale Orto Bot. Palermo 8:253. 1909	GRO, MOR, OAX, PUE	NO
Stenocereus treleasei	(Rose) Backeb.	Cact. Succ. J. (Los Angeles) 23: 120. 1951	OAX	NO