

# Variación morfológica en el género *Astraeus* (Boletales, Basidiomycota) en relación con las condiciones climáticas y geográficas en las islas de montaña de Chihuahua y Sonora, México

Morphologic variation in the genus *Astraeus* (Boletales, Basidiomycota) in relation with geographical and climatic conditions in the Chihuahua and Sonora mountain islands, Mexico

José Ricardo Pérez-Calderón\*, Alejandro Botello-Camacho\*, Raquel González-Fernández\*, José Valero-Galván\*

## RESUMEN

Las *islas de montaña* se caracterizan porque las condiciones climáticas y la altitud media sobre el nivel del mar difieren significativamente de las encontradas en las planicies intermedias. Este fenómeno condiciona a que ciertas especies se distribuyan en las partes más altas de las montañas, lo que limita el flujo genético entre las poblaciones, donde las planicies desérticas actúan como barreras geográficas. El objetivo de esta investigación fue analizar la variación morfológica en el género *Astraeus* en islas de montaña de los estados de Chihuahua y Sonora. Los especímenes se recolectaron de ocho localidades, registrando datos geográficos de cada uno de los sitios. Se realizó la medición del número de lacinias, diámetro de exoperidio, endoperidio y esporas de cada individuo. Los datos obtenidos se analizaron a través de un análisis de varianza y de agrupamiento jerárquico. Este análisis permitió una fuerte relación entre las poblaciones de La escondida y La Boquilla con las de Norogachi y Cueva de la Olla, las cuales mostraron una tendencia a agruparse en el mismo grupo. En caso contrario, las poblaciones de la sierra La Amargosa y San Luis mostraron una fuerte relación con las de Cananea y Sierra Peñascos, las cuales fueron filogenéticamente las más relacionadas. Se encontró una correlación entre la latitud geográfica y el número de lacinias y una correlación entre el diámetro de endoperidio y la precipitación mínima del mes más seco.

## ABSTRACT

The *Mountain Islands* are characterized by climatic conditions and the height above mean sea level differs significantly from those found in the middle plains. This condition certain species distribution to the highest parts of the mountains limiting gene flow between populations. Where the desert plains act as geographical barriers. The objective of this research was to analyze the morphological variation in the genus *Astraeus* in states of Chihuahua and Sonora mountain islands. Specimens were collected from eight locations, recording the geographic data from each one. Measurements of rays number, diameter of exoperidium, endoperidium and spores of each specimen were performed. A variance and hierarchical analysis were conducted to establish groups of populations. These analysis showed a close relation between La Escondida and La Boquilla populations with Norogachi and Cueva de la Olla. These populations showed a tendency to join in the same group. In the contrary, Sierra La Amargosa and San Luis populations, showed a close relation to cluster with Cananea and Sierra Peñascos. Which, were the most phylogenetically related populations. A correlation between latitude and the number or rays, and a correlation between the endoperidium diameter and the minimal precipitation of the driest month was found.

## INTRODUCCIÓN

El Pleistoceno fue una época geológica de continuas fluctuaciones climáticas, con alternancia de periodos glaciales y etapas de climas cálidos-templados (Baker, 2008; Morrone & Llorente, 2003), teniendo como consecuencia

Recibido: 5 de enero de 2015  
Aceptado: 4 de junio de 2015

### Palabras clave:

*Astraeus*; population; morphometry.

### Keywords:

*Astraeus*; poblaciones; morfometría.

### Cómo citar:

Pérez-Calderón, J. R., Botello-Camacho, A., González-Fernández, R. & Valero-Galván, J. (2015). Variación morfológica en el género *Astraeus* (Boletales, Basidiomycota) en relación con las condiciones climáticas y geográficas en las islas de montaña de Chihuahua y Sonora, México. *Acta Universitaria*, 25(4), 3-10. doi: 10.15174/au.2015.734

\* Instituto de Ciencias Biomédicas, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Anillo Envolverte del Pronaf y Estocolmo s/n, Fovissste Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32310. Correo electrónico: jose.valero@uaqj.mx

múltiples modificaciones en la distribución de las especies (Knowles, 2000). Durante el último máximo glacial, hace aproximadamente 18 000 años, la mayor parte del norte de México se encontraba habitada por comunidades de bosque, pero a medida que la temperatura se elevó, los desiertos y pastizales desplazaron a los bosques en las tierras más bajas (McCormack, Bowen & Smith, 2008). El conjunto de montañas boscosas resultantes y que quedaron intervenidas por valles desérticos se denominan *islas de montaña* (Martin, 2004). Éstas se caracterizan porque difieren significativamente en las condiciones climáticas y en la altitud media sobre el nivel del mar de las encontradas en las planicies intermedias. Este fenómeno condicionó a que ciertas especies se distribuyeran en las partes más altas de las montañas (1300 msnm) (Coblentz, 2005), lo que limita el flujo genético entre las poblaciones, ya que las planicies desérticas actúan como barreras geográficas (Salas, Santini, Miranda & Piñero, 2012). Cuando el flujo génico se mantiene bajo a lo largo de varias generaciones, las poblaciones empiezan a divergir genética y morfológicamente, lo que puede ocasionar el establecimiento de linajes evolutivamente independientes, y eventualmente contribuir al aislamiento reproductivo (Hedrick, 2005). Entre las especies que pueden verse afectadas por las barreras geográficas que caracterizan estas regiones son las del género *Astraeus*, debido a que estos hongos viven en asociación con especies de plantas de los géneros *Pinus* y *Quercus* que se distribuyen en las islas de montaña (Miller & Miller, 1988). Varios autores han demostrado aislamiento de poblaciones que habitan islas de montaña en organismos de clases muy diversas. Masta (2000) encontró que la araña saltadora (*Habronattus pugillis*), la cual habitaba en islas de montaña del sureste de Arizona, ha pasado por varios eventos vicariantes, ocurridos incluso antes de la última glaciación. Otros estudios realizados en la salamandra (*Plethodon ouachitae*) demostraron que es la especie que se compone de siete linajes, distribuidas en seis principales islas de montaña, debido a un flujo genético limitado entre las poblaciones (Shepard & Burbrink, 2008). Además, un estudio sobre divergencia genética del arrendajo mexicano (*Aphelocoma ultramarina*), realizado en dos archipiélagos de islas de montaña, demostró que la separación de las poblaciones en distintas islas de montaña provocó la diferenciación genética de las mismas (McCormack *et al.*, 2008). Sin embargo, estudios similares aún no se han llevado a cabo en las islas de montañas localizadas en los estados de Chihuahua y Sonora. En este contexto, se pueden usar algunas especies de hongos para estudiar modelos biogeográficos en las islas de montaña. Las características morfológicas se han utilizado para describir patrones biogeográficos de los hongos en otras regiones del mundo (Burgess, Malajczuk & Dell, 1995;

Phosri, Martin, Sihanonth, Whalley & Watling, 2007). Dichas características morfológicas fueron útiles para agrupar las poblaciones en conjuntos y relacionarlas con su ubicación geográfica. En esta investigación, nosotros proponemos que el género *Astraeus* puede verse afectado por las barreras fisiográficas que se encuentran en estas regiones, afectando al flujo genético entre las distintas poblaciones. En este estudio nos preguntamos si debido a que las poblaciones de *Astraeus* están separadas geográficamente en las islas de montaña, éstas podrían presentar un limitado flujo génico entre ellas, por lo que existiría una diferencia fenotípica entre diferentes poblaciones. Así, el objetivo de esta investigación fue analizar la variación morfológica de este género en islas de montaña de los estados mexicanos de Sonora y Chihuahua. Los resultados mostraron diferencias morfológicas entre las poblaciones que habitan distintas en dichas islas de montaña, las cuales estuvieron relacionadas con la distribución geográfica, por lo que se considera que el hongo *Astraeus* puede ser utilizado como modelo biogeográfico para el estudio de los patrones de distribución en islas de montaña.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recolecta de especímenes

Se realizaron recolectas de 10 ejemplares del género *Astraeus* sp. en seis islas de montaña, de las cuales dos se localizan en el estado de Sonora (Cananea y San Luis), cuatro en el estado de Chihuahua (La Amargosa, La Boquilla, La Escondida y Peñascos). Además, se efectuaron dos recolectas en la Sierra Madre Occidental (Cueva de la Olla, Norogachi) en el estado de Chihuahua (figura 1). Las muestras se recolectaron en septiembre del 2012.



Figura 1. Localidades donde se recolectaron ejemplares del género *Astraeus* sp. Fuente: Elaboración propia.

En cada uno de los sitios de colecta se tomaron las coordenadas y la altitud (tabla 1).

Los datos climáticos de cada una de las localidades muestreadas se obtuvieron de la Unidad para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (Uniatomos) del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (2009). Los datos climáticos para cada uno de los sitios donde se realizó la recolección de los especímenes se muestra en la tabla 2.

**Tabla 1.**  
Sitios de colecta, coordenadas geográficas y altitud.

Localidad	Coordenadas	Altitud (msnm)
Cananea	31° 0'40.00"N 110°21'31.69"W	1720
San Luis	31°19'16.63"N 108°46'46.97"W	1760
Cueva de la Olla	30°11'16.74" N 108°18'11.28"W	2030
La Amargosa	31° 3'10.80"N 105°53'26.51"W	1850
La Boquilla	28°55'09.86 N 106°10'10.43" W	1728
La Escondida	30°33'14.90"N 107°41'19.31"W	2010
Norogachi	27°15'37.58"N 107° 9'39.68"W	2200
Peñascos	30°59'47.63"N 106°31'45.52"W	1727

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.**  
Datos climáticos de las localidades donde se encontraban las poblaciones de *Astraeus* sp.

Población	PA (mm)	PL (mm)	PS (mm)	TA (°C)	TF (°C)	TC (°C)
Cananea	550	142	7	15.2	0.7	31.7
San Luis	434	95	5	14.0	-2.4	31.4
Cueva de la olla	443	107	8	12.8	-4.1	30
La Amargosa	316	68	4	13.5	-4.2	30.9
La Boquilla	460	124	4	15.1	-2.4	31.1
La Escondida	360	87	6	13.6	-3.1	31.1
Norogachi	636	148	10	13.1	-2.3	28.6
Peñascos	284	62	5	15.2	-3.1	33.5

Precipitación anual (PA), precipitación del mes más lluvioso (PL), precipitación del mes más seco (PS), temperatura media anual (TA), temperatura mínima del mes más frío (TF), temperatura máxima del mes más cálido (TC).

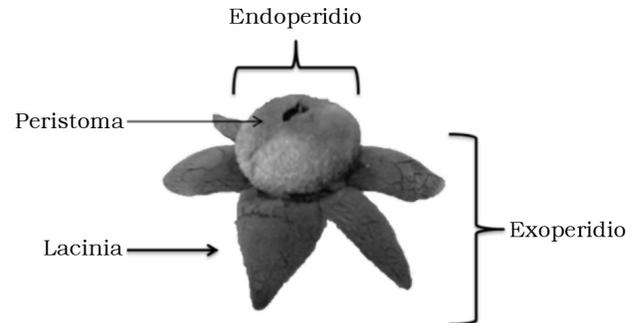
Fuente: Datos obtenidos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (2009).

Los individuos del género *Astraeus* sp. fueron reconocidos por el patrón en forma de estrella debido a la división radial de su exoperidio y por su carácter fuertemente higroscópico (figura 2).

## Análisis morfológico

Para la identificación a nivel específico se utilizaron los criterios propuestos por Arora (1986) y Bessette & Bessette (1997), basados en las siguientes características: diámetros de exoperidio, endoperidio y esporas y el número de lacinias (tabla 3).

Los especímenes se analizaron mediante estudios morfométricos de las características macroscópicas y microscópicas. El estudio microscópico consistió en extraer una fracción de gleba del endoperidio y observarla al microscopio para medir el diámetro de las esporas, midiendo 15 esporas por espécimen, seleccionadas de manera aleatoria. El estudio macroscópico se basó en contar el número de lacinias de los basidiomas y en la medición del diámetro del endoperidio y la longitud del cuerpo fructífero estando húmedo y completamente extendido (figura 2).



**Figura 2.** Características morfológicas usadas para la identificación de individuos del género *Astraeus* sp.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.**  
Comparación de las características morfológicas de *Astraeus pteridis* y *A. hygrometricus*.

Especie	Diámetro exoperidio (cm)	Diámetro de endoperidio (cm)	No. de lacinias	Esporas diámetro (µm)
a) <i>A. pteridis</i>	15	2.5 - 5	≥ 6	8 - 12
b) <i>A. hygrometricus</i>	4 - 9	1 - 2.5	6 - 12	7 - 11

Fuente: a) Arora (1986); b) Bessette & Bessette (1997).

## Análisis estadístico

Se probó la normalidad en la distribución de los datos morfológicos, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza para calcular si existían diferencias morfológicas significativas entre las poblaciones, por medio de un test de Duncan. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman para estimar correlaciones entre las características morfológicas, los datos geográficos obtenidos durante las salidas de campo y la información climática de las localidades. El análisis estadístico se efectuó con el programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) v. 15 (SPSS Inc. Chicago IL, USA). Para el análisis de agrupamiento se utilizó el software en línea *NIA array analysis* (disponible en <http://lgsun.grc.nia.nih.gov/anova/index.html>). El análisis de agrupamientos de los datos morfológicos se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones descritas por Valero *et al.* (2012).

## RESULTADOS

El objetivo de este estudio fue determinar la variación morfológica de las poblaciones de *Astraeus* en islas de montaña de los estados de Chihuahua y Sonora. En esta dirección las características climáticas (datos climáticos y geográficos) y datos morfológicos de ocho poblaciones se registraron para cada una de ellas. Los datos obtenidos se evaluaron a través de un análisis de varianzas (ANOVA) y análisis jerárquico para buscar relaciones entre las poblaciones.

De acuerdo con las descripciones de Arora (1986), Barrón (1999), Becker (1991), Bessette & Bessette (1997), Pacioni (1982), Philips (2005) y Quiñones & Garza (1999), se observó que todos los individuos recolectados pertenecieron al género *Astraeus*, ya que los caracteres medidos se encontraban dentro de estos intervalos (figura 3 y tabla 4).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el número de lacinias, los diámetros de exoperidio, endoperidio y esporas entre las diferentes localidades analizadas en este estudio (tabla 4). El estudio morfológico indicó que la población de Cueva de la Olla presentó el menor diámetro de exoperidio, mientras que la de La Amargosa mostró los valores más elevados. Asimismo, los individuos de Norogachi tienen el menor número de lacinias, mientras que los individuos de San Luis y La Amargosa presentaron el

número mayor. En cuanto al diámetro de endoperidio, se observó que la población de La Amargosa tiende a presentar valores más altos, los cuales fueron significativamente mayores a los de las demás poblaciones, aunque en Cueva de la Olla se encontraron los valores más bajos. Sin embargo, los individuos de La Boquilla tienden a presentar un diámetro de las esporas significativamente menor a los de las demás individuos, mientras que los de La Escondida presentaron los de mayor diámetro (tabla 4).

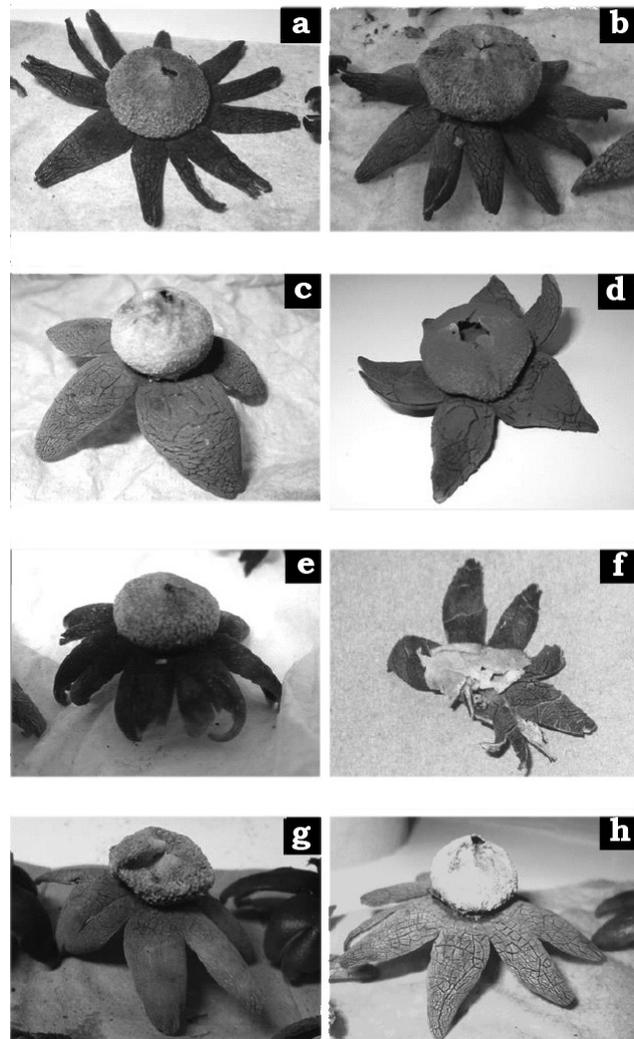


Figura 3. Individuos de diferentes poblaciones del género *Astraeus* sp. de las localidades de Cananea a), San Luis b), Cueva de la Olla c), La Amargosa d), La Boquilla e), La Escondida f), Norogachi g) y Peñascos h). Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.**

Análisis del número de lacinias, diámetro de exoperidio, endoperidio y esporas de ocho poblaciones de *Astraeus*.

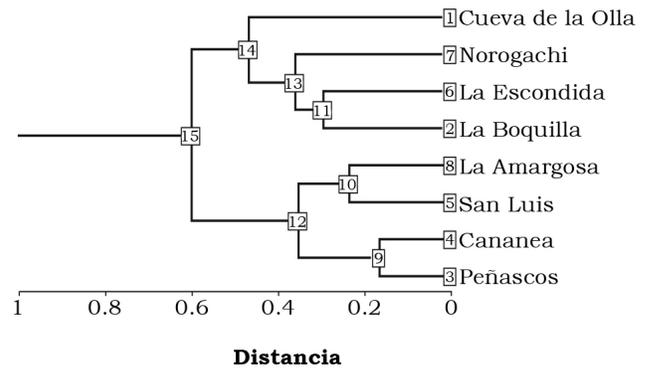
Población	Diámetro exoperidio (mm)	No. de lacinias	Diámetro de endoperidio (mm)	Esporas diámetro (mm)
Cananea	5.04 ± 0.89 <sup>ab</sup>	7.75 ± 1.54 <sup>ab</sup>	1.65 ± 0.38 <sup>a</sup>	8.50 ± 0.86 <sup>b</sup>
San Luis	5.27 ± 0.97 <sup>ab</sup>	8.01 ± 1.73 <sup>b</sup>	1.78 ± 0.33 <sup>a</sup>	8.78 ± 0.55 <sup>b</sup>
Cueva de la Olla	4.59 ± 0.40 <sup>a</sup>	7.00 ± 2.16 <sup>ab</sup>	1.56 ± 0.31 <sup>a</sup>	8.67 ± 0.09 <sup>b</sup>
La Amargosa	5.85 ± 0.88 <sup>b</sup>	8.00 ± 1.16 <sup>b</sup>	2.001 ± 0.32 <sup>b</sup>	9.08 ± 0.48 <sup>b</sup>
La Boquilla	4.84 ± 0.72 <sup>ab</sup>	7.60 ± 1.14 <sup>ab</sup>	1.87 ± 0.41 <sup>a</sup>	7.55 ± 0.82 <sup>a</sup>
La Escondida	5.21 ± 1.23 <sup>ab</sup>	6.60 ± 0.89 <sup>ab</sup>	1.83 ± 0.19 <sup>a</sup>	9.19 ± 1.05 <sup>b</sup>
Norogachi	5.37 ± 0.47 <sup>ab</sup>	6.35 ± 0.86 <sup>a</sup>	1.72 ± 0.20 <sup>a</sup>	8.97 ± 0.71 <sup>b</sup>
Peñascos	5.54 ± 0.55 <sup>ab</sup>	7.66 ± 0.82 <sup>ab</sup>	1.69 ± 0.18 <sup>a</sup>	9.12 ± 0.58 <sup>b</sup>

El análisis estadístico está presentado por la media ± desviación estándar. Los valores de la media con la misma letra en superíndices indican subconjuntos homogéneos para un  $p \leq 0.05$  de acuerdo con la prueba de medias Duncan.  
Fuente: Elaboración propia.

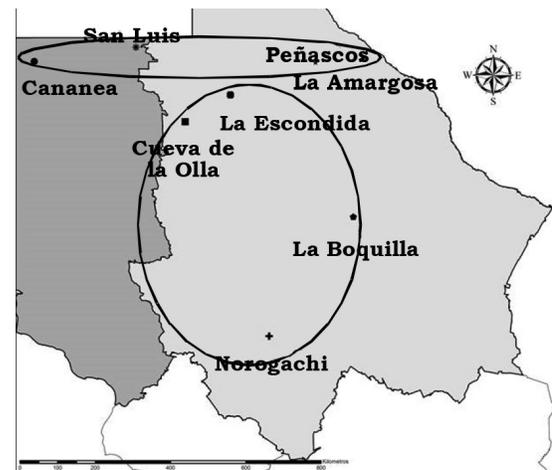
Los datos morfológicos se sometieron a un análisis jerárquico con el fin de establecer grupos de poblaciones y la distancia entre ellas. Este análisis nos permitió distinguir dos grupos principales: el primero estuvo compuesto por cuatro poblaciones, donde La Escondida y La Boquilla fueron las más similares, seguidas de Norogachi y Cueva de la Olla, como la más distante; el segundo grupo mostró que los individuos de La Amargosa y San Luis se separaron de los individuos de Cananea y Sierra Peñascos, siendo estas las poblaciones más relacionadas entre sí (figura 4).

Estos resultados mostraron una relación con la distribución geográfica donde se recolectaron las poblaciones (figura 5). Así, aquéllas colectadas en Cueva de la Olla, Norogachi, La Escondida y la Boquilla presentaron una distribución geográfica hacia al sur del estado de Chihuahua, mientras que el agrupamiento compuesto por las poblaciones de La Amargosa, San Luis, Cananea y Peñascos se distribuyen en una latitud mayor (figura 5).

Con respecto a la relación entre los datos climáticos y geográficos con el agrupamiento observado, se realizó una prueba de correlación con los datos climáticos y los datos morfológicos (tabla 5).



**Figura 4.** Dendrograma obtenido por análisis jerárquico utilizando el método de Ward's entre las diferentes poblaciones analizadas.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** Distribución de las localidades agrupadas de acuerdo con el análisis jerárquico.  
Fuente: Elaboración propia.

Según el análisis de correlación de Spearman, existe una correlación entre el número de lacinias y la latitud geográfica de las localidades, por lo que se observó que a menor latitud las poblaciones tienden a presentar menor número de lacinias, mientras que a mayores latitudes el número de lacinias es mayor (figura 6a). Esto puede indicar que las características morfológicas del hongo están relacionadas con su distribución geográfica. Estos resultados también manifestaron que existe una correlación entre el diámetro de endoperidio y la precipitación del mes más seco, por lo tanto a menor precipitación las poblaciones tienden a presentar un mayor diámetro endoperidio (figura 6b).

**Tabla 5.**  
Correlación entre caracteres morfológicos, datos geográficos y climáticos.

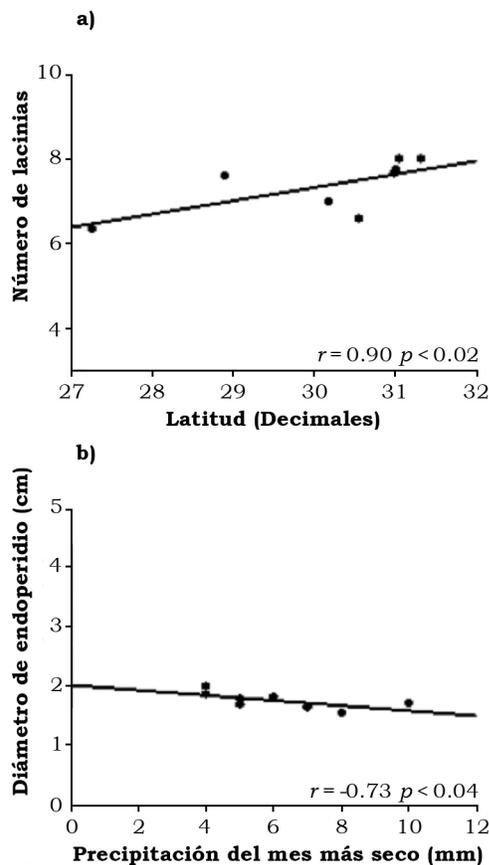
	Datos geográficos			Datos climáticos					
	Al	La	Lo	PA	PL	PS	TA	TF	TC
Diámetro exoperidio	0.000	0.381	0.476	0.500	0.500	0.289	0.072	0.217	0.096
Coefficiente de correlación Sig. (bilateral)	1.000	0.352	0.233	0.207	0.207	0.487	0.866	0.606	0.821
Número de lacinias	0.619	0.905**	0.095	0.381	0.381	0.602	0.443	0.084	0.551
Coefficiente de correlación Sig. (bilateral)	0.102	0.002	0.823	0.352	0.352	0.114	0.272	0.843	0.157
Diámetro de endoperidio	0.048	0.143	0.667	0.286	0.286	0.735*	-0.012	0.253	0.132
Coefficiente de correlación Sig. (bilateral)	0.911	0.736	0.071	0.493	0.493	0.038	0.978	0.545	-756
Diámetro de esporas	0.286	0.167	0.262	0.667	0.667	0.000	0.132	0.458	0.036
Coefficiente de correlación Sig. (bilateral)	0.493	0.693	0.531	0.071	0.071	1.000	0.756	0.254	0.993

\* La correlación es significativa a nivel 0.05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa a nivel 0.01 (bilateral).

Altitud (Al), latitud (La) longitud (Lo), precipitación anual (PA), precipitación del mes más lluvioso (PL), precipitación del mes más seco (PS), temperatura media anual (TA), temperatura media del mes más frío (TF), temperatura del mes más cálido (TC)

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Correlaciones entre los datos morfométricos, climáticos y geográficos. a) Correlación entre la latitud y el número de lacinias. b) Correlación entre la precipitación del mes más seco y el diámetro de la espora.

Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Al comparar los resultados del análisis morfométrico con el análisis de agrupamientos, se puede inferir que las poblaciones de La Escondida y La Boquilla forman parte de los mismos subconjuntos debido a ciertas características fenotípicas como el diámetro de exoperidio, endoperidio y número de lacinias, mientras que la de Norogachi se relaciona con estas dos poblaciones debido al diámetro de exoperidio y endoperidio. Los individuos de Cueva de la Olla son cercanos a los de Norogachi por el diámetro de las esporas y el diámetro de endoperidio. El subgrupo formado por La Amargosa y San Luis forman parte de los mismos subconjuntos por el número de lacinias y diámetro de esporas, y el subgrupo que se compone por las poblaciones de Cananea y Peñascos son cercanos por el diámetro de exoperidio, endoperidio y número de lacinias. La presencia de una marcada estructura interpoblacional ha sido ampliamente documentada en otros grupos biológicos, especialmente al utilizar marcadores genéticos con una tasa alta de mutación como regiones microsatelitales, mitocondriales o cloroplásticas (Assefa, Ehrich, Taberlet, Nemomissa & Brochmann, 2007; Cianferoni, Yáñez, Palma, Garin & Torres-Pérez, 2013; Merrit, 2015). Esto ha sido observado tanto en organismos con limitada capacidad de dispersión como el cacomixtle (*Bassariscus astutus*), que en islas de montaña de Texas y Nuevo México presentó una clara microestructura poblacional (Merrit, 2015), como en especies con una capacidad mayor de desplazamiento, como en aves paseriformes de la familia *Zosteropidae* en islas de montaña del este de África,

lo cual se explica no sólo por la presencia de barreras ambientales representadas por las planicies, sino por la mayor diversidad en cuanto a nichos ecológicos en las zonas altas (Cox, Prys-Jones, Habel, Amakobe & Day, 2014). Algunos autores han encontrado una relación entre características morfológicas en hongos y las condiciones climáticas o ubicación geográfica. Chen (1993) demostró que la forma del basidiocarpio del hongo *Ganoderma tsugae* es afectado por las condiciones del ambiente, debido a que al estudiar esta especie en diferentes condiciones de fotoperíodo éstos presentaron diferencias en la forma del pileo de esta especie, el tamaño de los basidiosporas y el diámetro de las esporas. Steyaert (1975) realizó estudios con la especie *Ganoderma tornatum* de colecciones provenientes de zonas tropicales y subtropicales. Los resultados mostraron una relación entre la altitud y la latitud con el tamaño de las basidiosporas. También concluyó que la temperatura más elevada tiene efecto en la disminución del tamaño de las esporas. La correlación entre las características morfológicas de los organismos y las condiciones geográficas o climáticas también se ha observado en especies vegetales que forman asociaciones con especies del género *Astraeus*, ya que Valero *et al.* (2012) llevaron a cabo una investigación donde se estudió la variabilidad en el encino *Quercus ilex* mediante análisis morfométricos de la bellota, encontrando que las poblaciones de los sitios ubicados más al sur tenían en promedio un tamaño de bellota menor, mientras que los del norte tenían bellotas más largas y anchas. Respecto a la altitud, las poblaciones ubicadas en altitudes más bajas presentaron bellotas más largas y anchas, mientras que las de altitudes más altas presentaron bellotas más cortas y delgadas. En otros grupos biológicos también se ha encontrado una clara relación entre factores bióticos y abióticos con la morfología de estructuras reproductivas, como la relación encontrada entre la variación latitudinal y el tipo de polinizadores con el tamaño de varias estructuras florales en *Macromeria viridiflora* (Boraginaceae) (Boyd, 2002). Sin embargo, consideramos que las especies del género *Astraeus* pueden ser un buen modelo biogeográfico utilizando herramientas filogeográficas con marcadores genéticos.

## CONCLUSIONES

Las poblaciones de *Astraeus* distribuidas en el norte del estado fueron diferentes morfológicamente a las poblaciones que se distribuyen hacia el sur. Esta variabilidad estuvo influenciada por la latitud de las zonas donde se desarrollan las poblaciones. Además,

se presentó una correlación entre la precipitación del mes más seco del año y el diámetro del endoperidio de los basidiomas.

## AGRADECIMIENTOS

Se extiende un agradecimiento al Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, por el apoyo para la realización de este proyecto interno registrado.

## REFERENCIAS

- Arora, D. (1986). *Mushrooms demystified a comprehensive guide to the fleshy fungi* (2 ed). Berkeley, California: Ten Speed Press.
- Asséfa, A., Ehrlich, D., Taberlet, P., Nemomissa, S. & Brochmann, C. (2007). Pleistocene colonization of afro-alpine 'sky islands' by the arctic-alpine. *Arabis alpine*. *Heredity*, 99(2), 133-142.
- Baker, A. (2008). Islands in the sky: the impact of the Pleistocene climate cycles on biodiversity. *Journal of Biology*, 7(9), 32-34.
- Barrón, G. (1999). *Mushrooms of Northeast America* (333 pp.). Midwest England, Canadá: Editorial Lone Pine.
- Becker, G. (1991). *El gran libro de las setas: hongos y setas de Europa* (3 ed.) (256 pp.). Madrid, España: Editorial Sasueta.
- Bessette, A. & Bessette, A. (1997). *Mushrooms of Northeastern North America*. (582 pp.). New York, USA: Editorial Syracuse University.
- Boyd, A. (2002). Morphological Analysis of Sky Island populations of *Macromeria viridiflora* (Boraginaceae). *Systematic Botany*, 27(1), 116-126.
- Burgess, T., Malajczuk, N. & Dell, B. (1995). Variation in *Phisolithus* based on basidiome and basidiospore morphology, culture characteristics and analysis of polypeptides using 1D SDS-PAGE. *Mycological Research*, 99(1), 1-13.
- Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (2012). Unidad para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (Uniatmos). Recuperado el 15 de diciembre de 2012 de <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>
- Chen, C. (1993). Methods for inducing various morphological fruiting body of *Ganoderma tsugae* (Murr). *Transactions of the Mycological Society of the Republic of China*, 8(1), 9-16.
- Cianferoni, F., Yáñez, R. P., Palma, R. E., Garin, C. F. & Torres-Pérez, F. (2013). Deep divergences within *Liolaemus nigroviridis* (Squamata, Liolaemidae) lineages associated with sky islands in central Chile. *Zootaxa*, 3619(1), 56-69.
- Coblentz, D. (2005). The Tectonic evolution of the Madraño Archipelago and its impact on the geocology of the Sky Islands. En G. J. Gottfried, B. S. Gebow, L. G. Eskew & C. B. Edminster (Ed.), *Biodiversity and Management of the Madraño Archipelago; The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico. Connecting Mountain Islands and Desert Seas: Biodiversity and Management of the Madraño Archipelago II*. United States of America: Department of Agriculture / Forest Service / Rocky Mountain Research Station proceedings.

- Cox, S. C., Prys-Jones, R. P., Habel, J. C., Amakobe, B. A. & Day, J. J. (2014). Niche divergence promotes rapid diversification of East African sky island white-eyes (Aves: Zosteropidae). *Molecular Ecology*, 23(16), 4103-4118.
- Hedrick, P. (2005). *Genetics of populations* (3 ed.) (737 pp.). Boston, USA: Editorial Jones and Bartlett.
- Knowles, L. (2000). Test of Pleistocene speciation in montane grasshoppers (Genus *Melanoplus*) from the sky islands of western North America. *Bio One*, 54(4), 1337-1348.
- Martin, P. (2004). Ghostly grazers and sky islands. En G. J. Gottfried, B. S. Gebow, L. G. Eskew & C. B. Edminster (Ed.), *Connecting mountains islands and desert seas: biodiversity and management of the Madrean Archipelago II* (pp. 26-34). Tucson, Arizona: United States Department of Agriculture.
- Masta, S. (2000). Phylogeography of the jumping spider *Habronattus pugilis* (Araneae: Salticidae): recent vicariance of sky island populations? *Evolution*, 54(5), 1699-1711.
- McCormack, J., Bowen, B. & Smith, T. (2008). Integrating paleoecology and genetics of bird populations in two sky island archipelagos. *BMC Biology*, 6(28), 1-12.
- Merrit, J. F. (2015). Fine-scale genetic structure of the ringtail (*Bassariscus astutus*) in a Sky Island mountain range. *Journal of Mammalogy*, 96(2), 257-268.
- Miller, O. & Miller, H. (1988). *Gasteromycetes: Morphological and developmental features with keys to the Orders, Families and Genera*. United States of America: Mad River Press Inc.
- Morrone, J. & Llorente, J. (2003). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía* (315 pp.). México: Las prensas de ciencias.
- Pacioni, G. (1982). *Guía de hongos* (359 pp.). España: Grijalbo.
- Philips, R. (2005). *Mushrooms and other fungi of North America* (284 pp.). United States of America: Firefly Books.
- Phosri, C., Martin, M., Sihanonth, P., Whalley, A. & Watling, R. (2007). Molecular study of the genus *Astraeus*. *Mycological Research*, 111(3), 275-286.
- Quiñones, M. & Garza, F. (1999). *Guía de hongos de la región del bosque modelo de Chihuahua, Chihuahua* (118 pp.). México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Salas, R., Santini, N., Miranda, A. & Piñero, D. (2012). The Pleistocene glacial cycles shaped the historical demography and phylogeography of a pine fungal endophyte. *Mycology Progress*, 11(2), 569-581.
- Shepard, D. & Burbrink, F. (2008). Lineage diversification and historical demography of a sky island salamander, *Plethodon ouachitae*, from the Interior Highlands. *Molecular Ecology*, 17(24), 5315-5335.
- Steyaert, R. (1975). The concept and circumscription of *Ganoderma tomatum*. *Transactions of the British Mycological Society*, 65(3), 451-467.
- Valero, J., Jorrín, J., Gomez, A., Ariza, D., Garcia, J. & Navarro, R. (2012). Population variability based on the morphometry and chemical composition of the acorn in Holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota* [Desf.] Samp.). *European Journal of Forest Research*, 131(4), 893-904.