



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION  
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO  
BOTÁNICA

## VARIACIÓN MORFOMÉTRICA DE *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata* (PACHYCEREEAE, CACTACEAE)

GABRIEL ARROYO COSULTCHI

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: VARIACIÓN MORFOMÉTRICA DE *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata* (PACHYCEREEAE, CACTACEAE) realizada por el alumno: Gabriel Arroyo Cosultchi bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

Consejero

---

Dr. Lauro López Mata

Director de tesis

---

Dra. Teresa Terrazas Salgado

Asesor

---

Dr. Salvador Arias Montes

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Teresa Terrazas que estuvo siempre orientándome y apoyándome durante todo el trabajo. Además, por su apoyo académico y su amistad.

Al Dr. Salvador Arias por su confianza, orientación y sugerencias para la realización de este trabajo, además por enseñarme algo nuevo cada día.

Al Dr. Lauro López Mata por sus comentarios y por compartir su amplia experiencia y conocimientos.

Agradezco al Dr. Edmundo García Moya, Dr. Oswaldo Téllez, al Dr. Cesar Flores y a Ulises Guzmán por su valiosa colaboración en algunos detalles de este trabajo.

Al Dr. Cesario Catalán, Dra. Dorismilda Martínez, Dr. Andrés Orduño, M. en C. Loraine Matias Palafox, a quienes me apoyaron en el trabajo de campo y de laboratorio. Además de mis amigos de Guerrero y Michoacán Agustín y Leobardo Sánchez, por guiarme y ayudarme en el trabajo de campo. Al personal de la “Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán”.

A mis amigos y compañeros que siempre me llenaron de alegría y me enseñaron algo nuevo cada día: Dalia, Didier, Martín, Karina, Alín y Sebastián, Mireya, Juliana, Efrén y Emmanuel. A la familia García Maya por brindarme su apoyo y ser parte de mi vida, principalmente Ana Victoria y Gissel por espinarse al coleccionar conmigo.

En memoria de mi profesor Biol. Antonio Meyrán (+), que me mostró el maravilloso mundo de los cactus y por alentarme a volar más alto.

Finalmente agradezco al Colegio de Postgraduados y al Instituto de Biología (UNAM) donde realicé la presente tesis de maestría. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de maestría (190345) para poder concluir la presente investigación.

## DEDICATORIA

Esta obra esta dedicada a mis dos grandes amores de mi vida, mi mamá **Ana Cosultchi Marcu** y mi esposa **Yadira García Maya** por su amor y apoyo incondicional.

*“Los genes de la inteligencia” no pueden funcionar en el vacío; necesitan una estimulación ambiental para desarrollarse.*

*Matt Ridley, Genoma*

# CONTENIDO

	página
ÍNDICE DE CUADROS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
2.1 Estudios de variación morfológica	3
2.2 Variación en la familia Cactaceae	6
2.3 El género <i>Neobuxbaumia</i>	10
2.4 Problemática de las especies a estudiar	12
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODO</b>	<b>17</b>
4.1 Trabajo de campo	17
4.2 Trabajo de laboratorio	20
4.3 Parámetros edáficos y climáticos	23
4.4 Análisis estadístico	24
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>27</b>
5.1 Caracterización física de las localidades	27
5.1.1 Suelo	27
5.1.2 Clima	29
5.2 Estadística descriptiva para las especies y poblaciones	32
5.2.1 Vegetativos	32
5.2.2 Flor	38
5.2.3 Fruto	44
5.2.4 Semilla	49
5.3 Análisis multivariados	51
5.3.1 Análisis de componentes principales (ACP)	51
5.3.2 Análisis de componentes global (ACPG)	51
5.3.3 Análisis de varianza	56
5.3.4 Análisis canónico discriminante (CANDISC) entre especies por población	57
5.3.5 Análisis de varianza entre especies	61
<b>6. DISCUSIÓN</b>	<b>63</b>
6.1 Variación de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i>	63
6.2 Caracteres morfométricos de <i>N. mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i>	65
6.3 Delimitación de las especies de <i>Neobuxbaumia</i> estudiadas	71
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>8. LITERATURA CITADA</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

		página
1	Distribución de las especies del género <i>Neobuxbaumia</i> (Bravo-Hollis, 1978; Anderson, 2001; Guzmán <i>et al.</i> , 2003).	12
2	Comparación de caracteres entre las tres variedades de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> (Dawson, 1948).	13
3	Comparación de caracteres entre cuatro poblaciones de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> (Bravo-Hollis, 1978).	14
4	Localización geográfica de las poblaciones de las cuatro especies de <i>Neobuxbaumia</i> estudiadas. Un ejemplar de respaldo de cada localidad fue depositado en los herbarios CHAPA y MEXU.	18
5	Caracteres morfométricos vegetativos evaluados en los individuos de las poblaciones estudiadas.	20
6	Caracteres morfométricos de la flor evaluados en los individuos de las poblaciones estudiadas.	22
7	Caracteres morfométricos del fruto y semilla evaluados en los individuos de las poblaciones estudiadas.	22
8	Parámetros climáticos para las poblaciones de <i>N. mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> .	24
9	Características químicas de los suelos en las diferentes poblaciones de <i>N. mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> muestreadas. Las poblaciones se ordenaron latitudinalmente. *Walkley y Black **Kjeldahl.	27
10	Características físicas de los suelos en las diferentes poblaciones de <i>N. mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> muestreadas. Las poblaciones se ordenaron latitudinalmente. En negritas los porcentajes más altos.	28
11	Valores de BIOCLIM de las diferentes poblaciones de <i>N. mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> . Las poblaciones se ordenaron latitudinalmente. Los valores extremos en negritas (los acrónimos se presentan en el cuadro 8).	31
12	Valores de la media $\pm$ error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres vegetativos de las poblaciones de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> . ver cuadros 4 y 5 para acrónimos).	37
13	Valores de la media $\pm$ error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres de las espinas de las poblaciones de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> , ver cuadro 4 y 5 para acrónimos).	38
14	Valores de la media $\pm$ error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de las flores de las poblaciones de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> , ver cuadro 4 y 6 para acrónimos).	41
15	Valores de la media $\pm$ error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de las flores de las poblaciones de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> , ver cuadro 4 y 6 para acrónimos).	43
16	Valores de la media $\pm$ error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de los frutos de las poblaciones de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> . ver cuadro 4 y 7 para acrónimos).	48
17	Valores de la media $\pm$ error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de las semillas de las poblaciones de	50

	<i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> . ver cuadro 4 y 7 para acrónimos).	
18	Valor característico del análisis de componentes principales de 46 caracteres de las poblaciones de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> . (Ver acrónimos en los Cuadros 5, 6 y 7) Los valores mayores se resaltan con negritas.	52
19	Valor característico del análisis de componentes principales global de las poblaciones de <i>N. mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> . (Ver acrónimos en Cuadro 5, 6, 7, 8). Los valores mayores se resaltan con negritas.	53
20	Componentes de varianza (%) para los caracteres vegetativos para <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> . (Ver acrónimos en el Cuadro 5).	57
21	Análisis discriminante entre las poblaciones de las cuatro especies de <i>Neobuxbaumia</i> con base en variables morfológicas, ver acrónimos en los Cuadros 5, 6 y 7). Los valores mayores se resaltan con negritas.	58
22	Porcentaje y (número de individuos) clasificados correctamente por un análisis clasificatorio discriminante, de las especies <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> (M), <i>N. multiareolata</i> (U), <i>N. polylopha</i> (P) y <i>N. squamulosa</i> (S).	59
23	Distancias de Mahalanobis entre especies (P<0.001).	60
24	Comparación de los resultados obtenidos en trabajos previos para los caracteres morfométricos de <i>N. mezcalaensis</i> obtenidos en el análisis de varianza Anidado.	68
25	Comparación de los resultados obtenidos en trabajos previos para los caracteres morfométricos de <i>N. multiareolata</i> obtenidos en el análisis de varianza Anidado.	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

		página
1	Distribución geográfica de las 13 poblaciones de las cuatro especies de <i>Neobuxbaumia</i> . Las letras corresponden a las poblaciones ver cuadro 4.	19
2	Diagramas que muestran los caracteres medidos de flor y fruto de <i>Neobuxbaumia</i> . <b>A.</b> Vista exterior de flor, <b>B.</b> Vista interior de flor y <b>C.</b> Vista exterior de fruto maduro. (Acrónimos en los cuadros 6 y 7; modificado de Dawson, 1952; Bravo-Hollis, 1978).	21
3	Representación grafica del porcentaje de espinas radiales por posición en aréolas de <i>N. mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> .	36
4	Frutos de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> y <i>N. multiareolata</i> .	47
5	Semillas maduras de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> (a) y <i>N. multiareolata</i> (b).	50
6	Representación grafica de los componentes 1, 2 y 3 que explican el 71.06% de la varianza de <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> (M) y <i>N. multiareolata</i> (U).	54
7	Representación grafica de las dos funciones canónicas 1 y 2 a partir de una análisis discriminante canónico por población de de <i>N. mezcalaensis</i> (M), <i>N. multiareolata</i> (U), <i>N. polylopha</i> (P) y <i>N. squamulosa</i> (S).	61
8	Valores de la media y un error estándar para 14 caracteres morfométricos de las cuatro especies de <i>Neobuxbaumia</i> . Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).	62



## RESUMEN

En este trabajo se evaluó la variación morfométrica a través de 46 caracteres vegetativos y reproductivos mediante análisis multivariados en dos especies de cactáceas columnares, *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. Los resultados revelaron que existe variación entre especies y entre poblaciones, especialmente para los caracteres vegetativos. Además una variación clinal para los parámetros geográficos, edáficos y climáticos con los caracteres: altura de individuo, distancia entre costillas, número de espinas centrales, longitud de espinas centrales, de flor, del pericarpelo, de escama de flor, diámetro de lóbulo del estigma, diámetro de fruto, relación longitud/diámetro de fruto, volumen de fruto, longitud de espina de fruto, número de aréolas y relación largo / ancho de semilla en *N. mezcalaensis*. La variación de los caracteres morfométricos vegetativos de las poblaciones de *N. mezcalaensis* es igual de variable como en *N. multiareolata*. El análisis discriminante separó a los individuos de *N. mezcalaensis*, *N. multiareolata*; así como de *N. polylopha*, especie que nunca ha sido confundida con ninguna de las anteriores y *N. squamulosa* especie segregada de *N. mezcalaensis*. Se reconocieron 14 caracteres con valor diagnóstico que permiten distinguir a los cuatro taxones: número de costillas, tamaño de aréola, disposición de espinas y longitud de espina central; así como longitud de flor, del tubo, del estilo, forma del fruto, longitud del tubérculo del fruto y tamaño de la semilla. Se confirma con base en los análisis multivariados que *N. multiareolata* es una entidad bien definida y diferente de *N. mezcalaensis*.

## ABSTRACT

In the present study the morphometric variation of two species of columnar cacti, *Neobuxbaumia mezcalaensis* and *N. multiareolata*, was evaluated by 46 vegetative and reproductive characters through multivariate analyses. The results revealed the existence of variation between species and among populations, especially for vegetative characters. Moreover, a clinal variation for geographic, edaphic and climatic parameters related to the following characters: high of the plant, distance between ribs, number of central spine, length of central spine, flower length, pericarp length, floral scale length, stigma lobule diameter, fruit diameter, fruit length / diameter ratio, fruit volume, fruit spine length, number of areole and seed length/wide ratio for *N. mezcalaensis*. Morphometric vegetative characters of *N. mezcalaensis* populations show similar variation as *N. multiareolata*. Discriminant analysis separated individuals of *N. mezcalaensis* from those of *N. multiareolata*, as well as individuals of *N. polylopha*, species never confounded with any of the two mentioned and individuals of *N. squamulosa*, species segregated from *N. mezcalaensis*. Fourteen characters were recognized with diagnostic value, because they allow to distinguishing the four taxa: number of ribs, areole size, spine arrangement, central spine length, flower, floral tube and style lengths, fruit shape, fruit tubercle length, and seed size. The multivariate analyses confirmed the distinction between *N. multiareolata* and *N. mezcalaensis*.

# 1. INTRODUCCIÓN

La variación morfológica ha sido ampliamente descrita y estudiada desde los primeros naturalistas (Briggs, 1969). Pero más allá de conocer la variación de un organismo, se desprenden varias preguntas, ¿qué parte de la variación se debe a la variación genética, y cuál depende de la ambiental?, ¿cómo la variación se encuentra distribuida en el espacio?, ¿cuál es la causa de su distribución? y finalmente ¿con que parámetros ambientales está correlacionada?

La variación morfológica en plantas está estrechamente relacionada con parámetros ambientales (López-Mata, 1987; Ransonm *et al.*, 1998; Schoettle y Rochelle, 2000; Keiper y Mc Conchie, 2001; Myster, 2005). Diversos estudios han demostrado que la variación morfológica está asociada positiva o negativamente con la temperatura, la humedad, la distribución latitudinal, longitudinal, altitudinal o con los parámetros edáficos (Zobel y Van Buijtenen, 1989; Begon *et al.*, 1990).

Con base en estudios morfométricos se puede resolver problemas a diferentes niveles taxonómicos en varios grupos de plantas (Orozco, 1991; Francisco-Ortega *et al.*, 1993; Gil y Cubero, 1993; Kores *et al.*, 1993; Leht y Paal, 1998; Selin, 2000; Sweeney y Price, 2001; Ellison *et al.*, 2004; Henderson, 2004; Otieno *et al.*, 2006).

En la actualidad existen pocos estudios sobre variación morfológica en la familia Cactaceae, donde se han centrado en varios enfoques: en la contribución a la sistemática a nivel supra-específico e infra-específico y a la variación de los caracteres morfológicos en relación a su localización geográfica (Arias, 1989; Chamberland, 1997; Baker y Johnson, 2000; Aguilar, 2004; Muñoz, 2004;

Schmalzen *et al.*, 2004), para explicar la variación de frutos y semillas (Ávila, 2003; Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Loza, 2004) o para explicar los procesos de domesticación (Colunga-García *et al.*, 1984; Pimienta-Barrios, 1994; Pimienta-Barrios y Nobel 1994; Nobel y Pimienta-Barrios, 1995; Casas *et al.*, 1999; Luna-Morales y Aguirre, 2001; Cruz y Casas, 2002; Arellano y Casas, 2003; Carmona y Casas, 2005; Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

La variación se ha estudiado en especies que cuentan con una amplia distribución geográfica, con la finalidad de entender como se modifican dichos atributos en función de la altitud, latitud y longitud, pero en pocas ocasiones se consideran los parámetros edáficos o climáticos (Zobel y Van Buijtenen, 1989; Oyama, 1994; Sugiyama, 2003; Ellison *et al.*, 2004). Estos estudios integrativos son escasos en la familia Cactaceae (Hernández, 2005).

Entre las cactáceas columnares de América del Norte (Pachycereae), dos especies estrechamente emparentadas son *Neobuxbaumia mezcalaensis*, de distribución amplia, y *N. multiareolata* de distribución restringida. Considerando esta notable diferencia en la amplitud de su distribución, se consideraron apropiados para apoyar o refutar la siguiente hipótesis: la variación morfométrica presente en especies de amplia distribución es mayor que la presente en especies de distribución restringida. Además de evaluar la variación entre sus poblaciones y conocer la posible variación clinal o ecotípica, se evalúa la influencia de la latitud, longitud, altitud, parámetros edáficos y climáticos sobre los atributos morfométricos de ambas especies.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Estudios de variación morfológica

Los métodos numéricos han sido utilizados para analizar los patrones de variación entre poblaciones y el parentesco entre especies (Duncan y Baum, 1981). Además, han permitido manejar y analizar grandes bases de datos por medio de los procesadores personales, así como un mayor número de muestras representativas de los taxones (Sneath y Sokal, 1973).

Una ventaja que tiene el empleo de la estadística univariada y multivariada en la estimación de la variación, es que conducen al taxónomo a proporcionar la definición de los caracteres, así como la generación de datos que otros investigadores puedan utilizar al revalorar la clasificación (Jones, 1988).

Se han realizado durante principios de este siglo diversos estudios con el objetivo de medir la variación morfológica en poblaciones de plantas silvestres (Romero *et al.*, 2000; Selin, 2000; Martínez, 2002; Henderson, 2004; Hornug-Leoni y Sosa, 2006; Mizianty, 2006; Otieno *et al.*, 2006; Tyler, 2006).

Las plantas que presentan una amplia distribución natural, muestran variación espacial, tanto en las características morfológicas como fisiológicas por un lado, y por otro que gran parte de esta variación (intraespecífica) puede estar correlacionada con las diferencias de hábitat (Turesson 1922). Esta variación se debe tanto a la respuesta plástica de la planta hacia el ambiente, como a la acción de la selección natural que moldea poblaciones localmente adaptadas, tomando como base el acervo de variación genética contenida en las especies (Heslop-Harrison, 1964). Se piensa que la variación es mucho más grande en aquellas

especies cuya distribución natural es muy amplia, que en especies de distribución restringida. Turesson (1922) afirmó: “la rareza de ciertas especies se debe en gran medida a un poderoso decremento de respuesta genotípica a diferencias de hábitat, climáticas y edáficas, dentro de su área de distribución”

Briggs (1969) señala que existen dos tipos de variación de las especies: una relacionada con la variación continua de caracteres morfométricos correlacionados con gradientes geográficos o ambientales (variación clinal) y otra relacionada con la variación discontinua o discreta, caracterizada por cambios abruptos de sus características de una población a otra y produciendo una diferenciación de las poblaciones en respuesta a parámetros ambientales o bióticos (Wright, 1964).

La variabilidad es la responsable de la mayor o menor capacidad que tiene una especie para sobrevivir, dispersarse y/o ampliar su distribución. Los factores ambientales tienden a influir más sensiblemente sobre los caracteres vegetativos que sobre los reproductivos (Jones, 1988).

Varios autores han propuesto que el tamaño de las semillas es una de las características morfológicas más estables en las plantas (Harper, 1977). Es el producto directo de la reproducción sexual (la cual confiere a la progenie variabilidad y mayores posibilidades de adaptación) como por ser el principal medio para la dispersión de la especie, un tipo de selección estabilizadora debería favorecer la constancia en el tamaño de las semillas dentro de una misma especie (Harper *et al.*, 1970). Sin embargo, diversos estudios prueban que el tamaño de las semillas puede variar dentro de las poblaciones y dentro de plantas

en una misma especie (Janzen, 1977, Cavers y Steel, 1984, Winn y Gross, 1993, Sakai y Sakai, 1995, Sakai y Sakai, 1996; Loza, 2004).

Aunque son pocos los estudios comparativos con especies de diferentes amplitudes en su distribución geográfica, en plantas se sabe que las especies con una distribución geográfica restringida (Kruckerberg y Rabinowitz, 1985) llegan a presentar patrones de variación bajos, comparados con especies que presentan una distribución más amplia (Karron, 1987; Waller, *et al.*, 1987). Por ejemplo, Pleasants y Wendel (1989) encontraron que *Erythronium albinum* presenta mayor variación genética que la especie endémica *E. propullans*. Sin embargo, existen excepciones en las que se observa mayor variación genética en especies con distribución restringida, como por ejemplo en los estudios realizados por Sysmsma y Schaal (1985) con cuatro especies de hábitat restringido y una de amplia distribución del género *Lisianthus*, ellos encontraron que las especies restringidas presentan mayor variabilidad en términos polimorfos, con respecto a las especies de amplia distribución en la que no se detectó variación.

La familia Cactaceae se distingue por tener pocas especies de amplia distribución geográfica y existe un número alto de especies que presentan distribución restringida, de ahí el alto número de endemismos locales. En la familia es común encontrar grupos de especies emparentadas que difieren en su distribución geográfica; estos son de interés en este contexto pues se trata de especies que hasta cierto punto son similares, con un origen común y cuya divergencia podrían deberse a cambios evolutivos recientes, cuyo efecto tal vez puede ser dilucidado en poblaciones actuales (Bevill y Loyuda, 1999 en Esparza-Olguín, 2004).

## 2.2 Variación en la familia Cactaceae

Dentro de la familia, la entidad especie es muy variable. Esta variación, que en muchas ocasiones no se reconoce, se ha determinado que formas geográficas, híbridos, cultivares y aún deformaciones de orígenes diversos, hayan sido consideradas como especies. Es necesario por lo tanto, un amplio estudio de campo para conocer la variación de las especies y su relación con el medio ambiente donde se desarrolla, lo que permitirá la tipificación adecuada de las especies (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

La variabilidad presente en especies silvestres, cultivadas y domesticadas en esta familia ha sido relacionada con fenómenos como la hibridación asociada a un incremento de poliploidia y aislamiento geográfico (Gibson y Nobel, 1986; Muñoz, 2004).

Además existen trabajos que muestran la gran riqueza de variantes que existen en las cactáceas silvestres y con diferentes grados de manejo, desde las recolectadas o plantadas como cercos vivos y las propias de solares hasta las plantaciones comerciales (Colunga-García *et al.*, 1986; Muñoz, 2004; Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

Se han estudiado los patrones de variación morfológica como resultado de diferencias ambientales y/o formas de manejo en especies de cactáceas, en especies del género *Opuntia* (Colunga-García *et al.*, 1984; Pimienta-Barrios, 1994; Reyes-Agüero *et al.*, 2005), *Escontria chiotilla* (Arellano y Casas, 2003), *Polaskia chende* (Cruz y Casas, 2002), *P. chichipe* (Carmona y Casas, 2005). *Stenocereus pruinosus* (Luna-Morales y Aguirre, 2001), *S. queretaroensis* (Pimienta-Barrios y



Nobel, 1994, Nobel y Pimienta-Barríos, 1995) y *S. stellatus* (Casas *et al.*, 1999, Luna-Morales y Aguirre, 2001).

Los trabajos que han estudiado la variación de los caracteres morfológicos en plantas silvestres sin manipulación humana son escasos y se mencionan a continuación.

Niering *et al.* (1963) indican que *Carnegiea gigantea* aumenta en diámetro de sur a norte en su amplitud, lo que podría estar relacionado con la relación de agua de sus tejidos y la disminución de la precipitación anual hacia la parte norte.

Felger y Lowe (1967) documentan el incremento en el diámetro del tallo de *Lophocereus schottii* de los 28° a 32° latitud N. este incremento se correlacionó con el decremento de la temperatura media anual y el promedio de lluvias en la parte norte a lo largo de su transecto desde Sonora hasta Arizona.

Moore (1967) estudió la morfología del complejo *Echinocereus enneacanthus-dubius-stramineus* e identificó a las especies que lo conforman con base en la forma, tamaño y arreglo de las espinas. *E. enneacanthus* se divide en tres formas con base en los caracteres de la espina y su hábitat.

Arias (1989) realizó un estudio sobre la variación morfológica en *Astrophytum ornatum* en cuatro poblaciones en zonas áridas de Querétaro e Hidalgo. Con base en un análisis multivariado define el grado de variación de 20 caracteres de la morfología vegetal y reproductiva. Resuelve que ninguno de los caracteres son estables intra e interpoblacional, es decir existe una variación heterogénea, por lo que no son significativos para definir variedades.

Chamberland (1997) estudió el complejo *Echinocactus polycephalus* que incluye a *E. parryi*, *E. polycephalus* var. *polycephalus* y *E. polycephalus* var.

*xeranthemoides*, estas dos variedades han llegado a considerarse como especies por algunos taxónomos; sin embargo, existen caracteres que no apoyan el reconocimiento a nivel de especie y se mantienen como variedades de *E. polycephalus* por la morfología de sus semillas.

Baker y Johnson (2000) realizan un análisis morfométrico de *Escobaria guadalupensis*, *Escobaria sneedii* var. *sneedii* y *E. sneedii* var. *leei*, en el cual utilizan un análisis discriminante para predecir la identidad de los individuos, de acuerdo a sus características en algunas poblaciones. La correcta clasificación de los individuos de *E. guadalupensis* indica que este taxón es morfológicamente distinto a los otros dos, sugiriendo su permanencia a nivel de especie y mantienen a los otros taxones como variedades.

Aguilar (2004) evalúa la variación morfológica de *Stenocereus dumortieri*, especie de amplia distribución, en 13 poblaciones con base en 50 caracteres morfométricos. Un análisis de componentes principales, le permite identificar una variación continua a lo largo de la distribución de la especie y, además, encuentra que esta variación se debe a su acervo genético.

Muñoz (2004) evalúa la variación fenotípica en diferentes poblaciones de *Opuntia cantabrigiensis*, *O. leucotricha*, *O. rastrera*, *O. robusta* y *O. streptacantha* separadas entre sí por terrenos agrícolas. Mediante un análisis discriminante evaluó 27 caracteres anatómicos y morfológicos. Este autor encuentra que los individuos de las especies se traslapan en diferentes poblaciones excepto en *O. cantabrigiensis* y considera que la variación clinal responde a los gradientes generados por precipitación pluvial, altitud y temperatura media anual.

Schmalzen *et al.* (2004) valoran los taxones infraespecíficos de *Coryphantha robustispina* analizando 16 caracteres vegetativos. Encuentran una variación clinal para cuatro caracteres de la espina. El análisis de componentes principales no reveló distinción entre las poblaciones muestreadas a lo largo de su distribución Este-Oeste. Estas evidencias les permite reconocer que no hay subespecies dentro de *C. robustispina*.

Son pocos los estudios que han documentado el número de semillas por fruto en cactáceas, el cuál varía entre especies (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000; Godínez, 2000; Loza, 2004), y entre individuos de la misma especie (León de la Luz y Domínguez-Cadena, 1991; Pérez, 2004). Por su parte, Loza (2004) analiza caracteres morfológicos de semillas en seis especies de la tribu Pachycereeae (*Escontria chiotilla*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Neobuxbaumia mezcalaensis*, *N. multiareolata*, *Pachycereus grandis* y *Stenocereus queretaroensis*) y encuentra una alta variación en el número de semillas por fruto a nivel intra e interespecífico. Para el número de semillas por fruto, peso y tamaño de semilla se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las especies, pero no entre *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*.

Ávila (2003) reconoce para un población de *Stenocereus beneckeii*, especie de distribución restringida, que la variación en el tamaño y número de semillas por fruto no se relaciona con el tamaño de la planta. Esta autora señala que *S. beneckeii* presenta frutos pequeños y semillas grandes y en consecuencia menor número de semillas por fruto. Ayala-Cordero *et al.* (2004) estudian la misma especie y detectan una correlación positiva con el tamaño del fruto y

número de semillas, además encuentran que la variación del tamaño de la semilla es importante para la germinación y supervivencia de las plántulas.

Otros trabajos son los de variación de caracteres anatómicos en cactáceas columnares, entre ellos destacan los de Arias y Terrazas (2001), quienes evalúan la variación del xilema secundario de *Pachycereus pecten-aboriginum* con relación a la latitud, altitud y altura del individuo y encuentran que la longitud de fibras, el número y diámetro de vasos tuvieron una asociación con la latitud.

Hernández (2005) analiza la variación de la madera de *Myrtillocactus geometrizans* a lo largo de su gradiente Norte-Sur en 57 individuos presentes en 24 poblaciones y encuentra una asociación entre la latitud y altitud con la altura de radios cortos, altura de radios e Índice de vulnerabilidad. Además, el análisis de componentes principales revela que cinco caracteres edáficos junto con la latitud, explican la variación de seis caracteres de la madera de los individuos muestreados.

### **2.3 El género *Neobuxbaumia***

*Neobuxbaumia* es un género propuesto por Backeberg (1938) y comprende nueve especies (Hunt, 1999; Anderson 2001; Guzmán *et al.*, 2003) y la especie tipo es *Pilocereus tetetzo* Weber. El género fue nombrado en honor a Franz Buxbaum, con el prefijo neo, debido a que *Buxbaumia* es un género de musgos.

De acuerdo con Arias y Terrazas (2006), el género *Neobuxbaumia* se resuelve como un grupo monofilético, definido por dos novedades evolutivas, los cristales prismáticos en las células hipodérmicas y los radios del xilema con altura de 3 a 5 mm. Arias *et al.* (2003), en su estudio sobre *Pachycereus* y géneros

afines, basado en secuencias nucleótidas de dos regiones en el ADN de cloroplastos (intron *trnL*, espaciador *trnL-F* y el intron *rp16*) y uno nuclear (ITS), encuentran que *Neobuxbaumia* y *Cephalocereus* forman un clado monofilético, hermano de *Pachycereus fulviceps*.

Flores (2004) realiza la quimiotaonomía del género *Neobuxbaumia*, confirmando la monofilia del género basado en caracteres morfológicos y químicos (alcaloides e isoenzimas).

El género agrupa a especies columnares sin ramificación o con ramas escasas o numerosas, tallo cilíndrico con numerosas costillas usualmente pocas; flores tubulares-campanuladas o tubulares-funeliformes que nacen en el ápice o a lo largo del tallo, nocturnas; frutos ovoides con espinas, restos de perianto persistentes, dehiscencia vertical en forma de estrella y pulpa blanca y semi-seca; semillas negras, lustrosas y lisas (Bravo-Hollis, 1978; Barthlott y Hunt, 1993; Anderson, 2001; Hunt, 2006).

Las especies del género *Neobuxbaumia* se distribuyen en ambientes secos y semi-húmedos en parte de la Depresión del Balsas, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en la vertiente del Pacífico desde el sur de Jalisco hasta Oaxaca y la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas hasta la mitad norte de Veracruz (Cuadro 1). Las especies muestran, en términos generales, preferencias por los sustratos calizos, aunque pueden encontrarse en otros tipos de sustratos. Se asocian con diferentes comunidades vegetales, principalmente los bosques tropicales caducifolios, los bosques espinosos y los matorrales xerófilos.

**Cuadro 1.** Distribución de las especies del género *Neobuxbaumia* (Bravo-Hollis, 1978; Anderson, 2001; Guzmán *et al.*, 2003).

Espece	Distribución geográfica
<i>Neobuxbaumia euphorbioides</i> (Haw.)Buxb.ex Bravo.	Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz
<i>N. laui</i> (P.V.Heath) D.R.Hunt.	Oaxaca
<i>N. macrocephala</i> (F.A.C.Weber ex K.Schum.) E.Y.Dawson.	Puebla
<i>N. mezcalaensis</i> (Bravo) Backeb.	Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán Morelos, Oaxaca, Puebla
<i>N. multiareolata</i> (E.Y.Dawson) Bravo, Scheivar & Sánchez-Mej.	Guerrero
<i>N. polylopha</i> (DC.) Backeb.	Hidalgo, Guanajuato, Querétaro, San Luís Potosí
<i>N. scoparia</i> (Poselg.) Backeb.	Oaxaca y Veracruz
<i>N. squamulosa</i> Scheivar & Sánchez-Mej.	Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca
<i>N. tetetzo</i> (F.A.C.Weber) Backeb.	Oaxaca y Puebla

#### 2.4 Problemática de las especies a estudiar

Bravo-Hollis (1932) describe una especie que se distribuye en el río Mezcala y Cañón del Zopilote, a la que llama *Cephalocereus mezcalaensis*, más tarde Backeberg (1941) la transfiere a *Neobuxbaumia*, tomando en cuenta los podarios del pericarpelo gruesos y carnosos. Adicionalmente, Bravo-Hollis (1932) menciona que cerca del puente del Río Papagayos existe una especie semejante a *N. mezcalaensis*, pero con otro arreglo en la disposición de las espinas y provistas de flores de color púrpura, pero no la describe.

Dawson (1948) propone una división de *Neobuxbaumia mezcalaensis* en tres variedades, con base en un conjunto de cuatro caracteres del tallo (Cuadro 2). *N. mezcalaensis* var. *robusta* incluye las plantas con los valores más altos en los

caracteres analizados y que crecen en el Río Atoyac, Puebla, *N. mezcalaensis* var. *mezcalaensis* para la población del río Mezcala, Guerrero y *N. mezcalaensis* var. *multiareolata* para la población de plantas con los menores valores en sus caracteres y que se localiza en Acahuizotla, Guerrero.

**Cuadro 2.** Comparación de caracteres entre las tres variedades de *Neobuxbaumia mezcalaensis* (Dawson, 1948).

Caracteres	var. <i>robusta</i>	var. <i>mezcalaensis</i>	var. <i>multiareolata</i>
Altura de planta (m)	Mayor a 12	5 – 7	Menor a 5
Diámetro de planta (cm)	Mayor a 40	15 – 30	Mayor de 30
Distancia entre aréolas (cm)	2.5	2	1
Altura costilla (cm)	2.5	2	1.2

Unos años después, Bravo-Hollis *et al.* (1972) elevan a *N. mezcalaensis* (Bravo) Backeb var. *multiareolata* (Daws) Daws, a nivel de especie con base en diferencias de la flor, fruto y semilla. Sin embargo, Hunt (2006), en la propuesta de clasificación más reciente, no reconoce a *N. multiareolata*, pero si a la variedad *N. mezcalaensis* var. *multiareolata*.

Bravo-Hollis (1978) menciona que *N. mezcalaensis* es la especie con mayor variación morfológica y de más amplia distribución; característica que se ha mantenido hasta la fecha ya que se registra desde Jalisco hasta Oaxaca (Guzmán *et al.*, 2003). Bravo-Hollis (1978) describió las plantas de varias poblaciones de *N. mezcalaensis* en los estados de Guerrero y Puebla (Cuadro 3). Además observó en una población entre la ciudad de Colima y Armería individuos columnares con escamas cartáceas, largamente triangulares y acuminadas en la flor, sin embargo no observó el fruto y mantuvo su identidad como *N. mezcalaensis* (Cuadro 3).

Años más tarde, Scheinvar y Sánchez-Mejorada (1990) con base en un mayor número de colectas en los estados de Colima, Guerrero y Michoacán, la describen como una nueva especie, *Neobuxbaumia squamulosa* por presentar tallos ramificados y escamas papiráceas en sus flores y frutos, rasgos que la diferencian de *N. mezcalaensis*.

**Cuadro 3.** Comparación de caracteres entre cuatro poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* (Bravo-Hollis, 1978).

Caracteres	Chichihualco, Guerrero	Acatlán, Puebla	Zapotilán, Puebla	Armería- Colima, Colima
Altura de planta (m)	7-14	9-12	14-17	7-10
Diámetro de planta (cm)	14-18	25-45	20-30	14-18
Número de costillas	13-20	18-24	13-20	13-20
Altura costilla (mm)	20-24	18-25	20-24	11-14
Espesor costilla (mm)	8-12	15-20	22-24	8-12
Distancia entre aréolas (mm)	8-18	15-18	12-20	8-12
Longitud aréola (mm)	5-7	6	5-7	5-7
Diámetro aréola (mm)	4-6	4	4-6	4-6
Número de espinas radiales	7-9	9-12	7-9	3-5
Longitud espinas radiales (mm)	8-22	6-12	-	4-18
Número de espinas centrales	3	3-5	3	-
Longitud espinas centrales (mm)	21-35	18-20	21-35	-
Longitud flor (mm)	55-65	-	50-55	42-48
Escama de la flor	Triangulares cortas carnosas	-	Triangulares cortas	Triangulares largas cartáceas
Diámetro fruto (cm)	3-4	-	3-4	-

El presente estudio se basa en las siguientes suposiciones:



a) *Neobuxbaumia mezcalaensis* presenta una mayor variación en los caracteres morfométricos que *N. multiareolata* en virtud de que la primera presenta una distribución geográfica amplia y la segunda una distribución restringida.

b) Se espera encontrar variación en sus caracteres morfométricos asociados tanto con la latitud, longitud y altitud, como con los parámetros edáficos y con los climáticos.

c) En un siguiente nivel, se espera encontrar caracteres diagnósticos al comparar ambas especies con dos especies más: *N. polylopha*, porque nunca ha sido confundida con ninguna de las anteriores y *N. squamulosa* por ser una especie también segregada de *N. mezcalaensis*.

### 3. OBJETIVOS

#### Objetivo general:

- Evaluar y comparar la variación morfométrica de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*.
- Reconocer los caracteres diagnósticos de ambas especies.

#### Objetivos particulares:

- Analizar si existen diferencias morfométricas entre poblaciones y entre ambas especies.
- Determinar cómo influyen la localización geográfica y los parámetros edáficos y climáticos en la variación de los caracteres morfométricos en *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*.
- Valorar la importancia relativa de los caracteres morfométricos en la caracterización de cada especie; *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* al comparar sus atributos con los de *N. polylopha* y *N. squamulosa*.

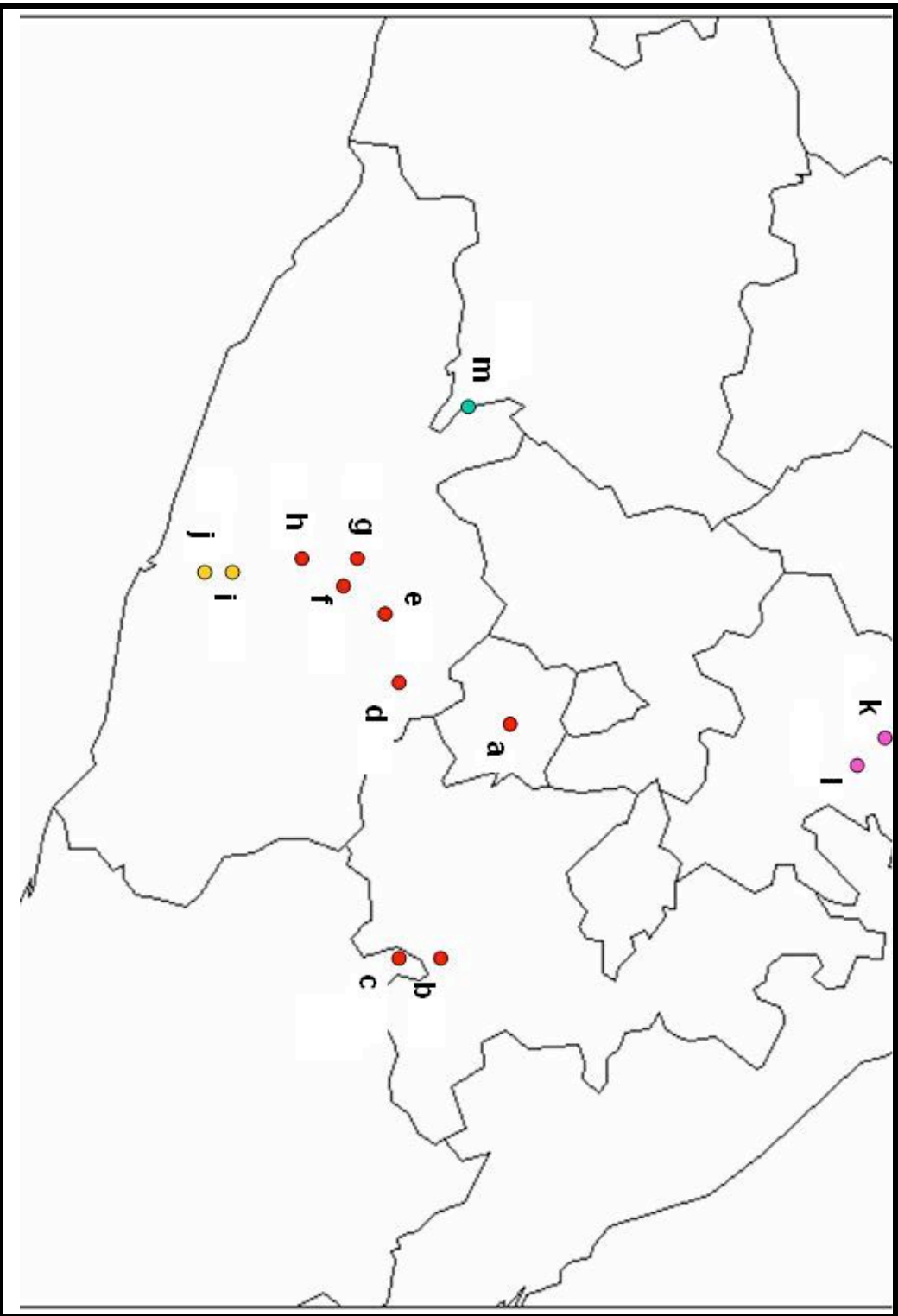
## 4. MATERIALES Y MÉTODO

### 4.1 Trabajo de campo

Se conformó una lista de las localidades donde se distribuyen las especies, empleando las bases de datos de CONABIO. Posteriormente, con la ayuda de mapas fisiográficos se planificaron salidas exploratorias a los estados de Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Oaxaca y Puebla para establecer las poblaciones a estudiar. Se seleccionaron ocho poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis*, las cuales están geográficamente ubicadas entre los 18° y 17° N y entre los 97° y 99° O; la población que está reportada para Jalisco fue descartada porque corresponde a *N. squamulosa* (Arias, comunicación personal). Además se seleccionaron dos poblaciones de *N. multiareolata*, una población de *N. squamulosa* y dos poblaciones de *N. polylopha* (Cuadro 4, Figura 1). En las 13 poblaciones se tomaron los parámetros de localización geográfica latitud, longitud y altitud con un GPS. En cada población, se seleccionaron 20 individuos maduros que presentaran estructuras reproductivas. Los individuos fueron marcados para su fácil identificación en visitas posteriores y cuantificar *in situ* 14 caracteres (Cuadro 5). La altura de la planta, el perímetro del tallo y el número de costillas se evaluaron una sola vez. El grosor y profundidad de las costillas, la distancia entre costillas y entre aréolas y la longitud y diámetro de las aréolas, se midieron en diez posiciones del tallo a una altura mayor a 1.50 m con la ayuda de una escalera. El número de espinas centrales y radiales y la longitud de las mismas fueron cuantificados de cinco aréolas.

**Cuadro 4.** Localización geográfica de las poblaciones de las cuatro especies de *Neobuxbaumia* estudiadas. Un ejemplar de respaldo de cada localidad fue depositado en los herbarios CHAPA y MEXU.

Especie	Colecta	Localidad	Identificador Población	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (ms.n.m.)	Municipio y Estado
<i>N. mezcalaensis</i> (M)	Arroyo 26	Las Estacas	a	18°43'	99°06'	945	Tlaltzapán, Mor.
	Arroyo 27	Col. San Martín	b	18°19'	97°38'	1 896	Zapotitlán Salinas, Pue.
	Arroyo 28	Santiago Chazumba	c	18°10'	97°40'	1 700	Huajuapán de León, Oax.
	Arroyo 20	Atenango del Río	d	18°07'	99°05'	638	Atenango del Río, Gro.
	Arroyo 16	Mezcala	e	17°55'	99°35'	486	Eduardo Neri, Gro.
	Arroyo 17	Casa Verde	f	17°48'	99°33'	742	Eduardo Neri, Gro.
	Arroyo 15 <sup>a</sup>	Xochipala	g	17°47'	99°37'	884	Eduardo Neri, Gro.
	Arroyo 28	Zumpango del Río	h	17°35'	99°30'	1 092	Eduardo Neri, Gro.
<i>N. multireolata</i> (U)	Arroyo 8	Tierra Colorada	i	17°10'	99°35'	450	Juan R. Escudero, Gro.
	Arroyo 30	La Venta	j	17°08'	99°31'	192	Juan R. Escudero, Gro.
<i>N. polylopha</i> (P)	Arroyo 25	Almolón	k	20°44'	98°48'	960	Eloxochitlán, Hgo.
	Arroyo 22	Chilaco	l	20°40'	98°48'	1 290	Metztlitlán, Hgo.
<i>N. squamulosa</i> (S)	Arroyo 15	El Aguacate	m	18°37'	100°41'	638	Cutzamala de Pinzón, Gro.



**Figura 1.** Distribución geográfica de las 13 poblaciones de las cuatro especies de *Neobuxbaumia*. Las letras corresponden a las poblaciones ver cuadro 4.

Además, se tomó en cuenta la disposición de las espinas radiales en las aréolas, siguiendo el sentido de las manecillas del reloj. Todos los caracteres fueron evaluados con un calibrador electrónico Serie 500, una cinta métrica o por conteo directo. De tres a cinco flores y frutos fueron recolectados por individuo y se preservaron en frascos con una solución de glicerina-alcohol-agua (GAA 1:1:1) hasta su procesamiento en el laboratorio.

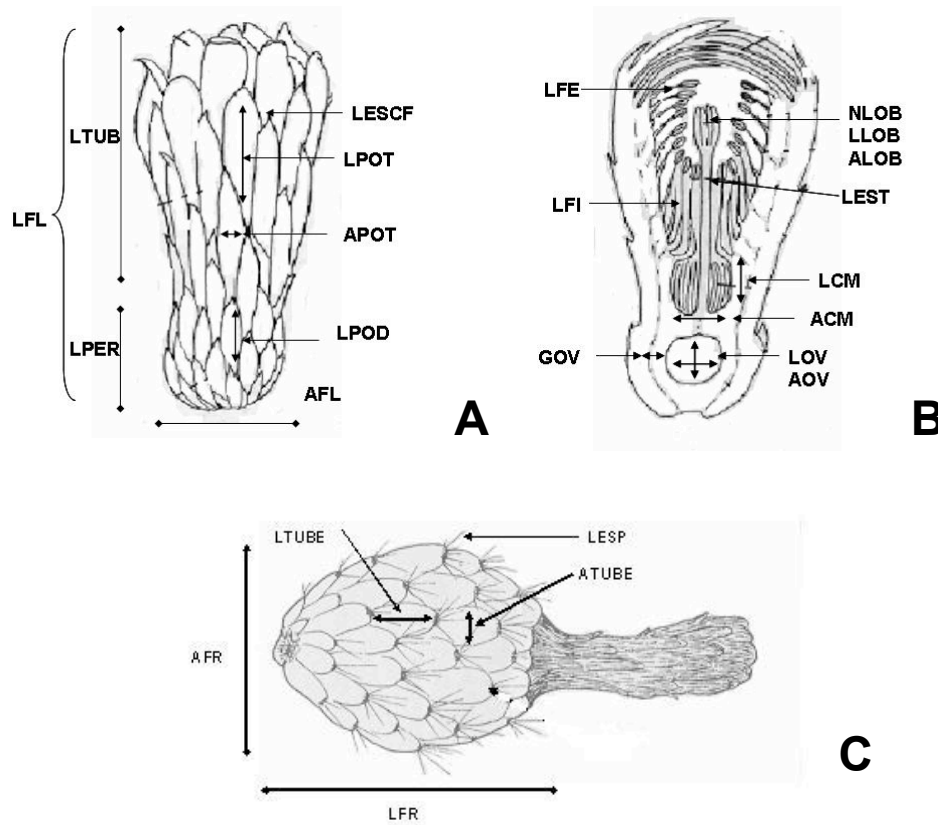
**Cuadro 5.** Caracteres morfométricos vegetativos evaluados en los individuos de las poblaciones estudiadas.

<b>Carácter Tallo</b>	<b>acrónimo</b>	<b>Carácter Espina</b>	<b>acrónimo</b>
Altura de la planta (m)	ALT	Número de espinas centrales	NESC
Perímetro de la planta (cm)	PERI	Longitud de espina central (cm)	LESC
Número de costillas	NCOST	Número de espinas radiales	NESR
Altura de costilla (cm)	ACOST	Longitud de espina radiales (cm)	LESR
Grosor de costilla (cm)	GCOST		
Distancia entre costillas(cm)	DCOST		
Distancia entre aréolas (cm)	DAREO		
Longitud de aréola (cm)	LAREO		
Ancho de aréola (cm)	AAREO		
Longitud/diámetro de aréola	LAAREO		

#### 4.2 Trabajo de laboratorio

A las flores y frutos recolectados de cada individuo se les midieron 19 caracteres (Cuadro 6) y ocho caracteres (Cuadro 7), respectivamente, en el laboratorio con un calibrador electrónico Serie 500 de acuerdo a como se muestra en el diagrama de la figura 2. Solamente se realizaron mediciones múltiples (4 a 5) para los siguientes caracteres de la flor: longitud del tubérculo del tubo,

diámetro del tubérculo del tubo, longitud de podario, longitud de filamento interno, longitud de filamento externo, longitud y diámetro del lóbulo del estigma y longitud de escama de la flor y del fruto: longitud de espina en fruto, longitud de tubérculo y diámetro del tubérculo.



**Figura 2.** Diagramas que muestran los caracteres medidos de flor y fruto de *Neobuxbaumia*. **A.** Vista exterior de flor, **B.** Vista interior de flor y **C.** Vista exterior de fruto maduro. (Acrónimos en los cuadros 6 y 7; modificado de Dawson, 1952; Bravo-Hollis, 1978).

Se determinó también el volumen (ml) del fruto por el método de desplazamiento de agua en un vaso de precipitado de 100 ml; además se cuantificó el número de lóbulos del estigma en las flores y el número de aréolas en los frutos por conteo directo. Finalmente, se calculó la relación longitud / diámetro y con ella se asignó la forma del fruto.

**Cuadro 6.** Caracteres morfométricos de la flor evaluados en los individuos de las poblaciones estudiadas.

<b>Carácter</b>	<b>acrónimo</b>	<b>Carácter</b>	<b>acrónimo</b>
Longitud total de la flor (cm)	LFL	Número de lóbulos del estigma	NLOB
Diámetro de la flor (cm)	AFL	Longitud lóbulo del estigma (cm)	LLOB
Longitud pericarpelo (cm)	LPER	Diámetro lóbulo del estigma (cm)	ALOB
Longitud tubérculo del tubo (cm)	LPOT	Longitud cámara nectarial (cm)	LCM
Diámetro del tubérculo de tubo (cm)	APOT	Diámetro cámara necarial (cm)	ACM
Longitud tubo (cm)	LTUB	Longitud ovario (cm)	LOV
Longitud podario (cm)	LPOD	Diámetro ovario (cm)	AOV
Longitud filamentos interno (cm)	LFI	Grosor de pared del ovario (cm)	GOV
Longitud filamentos externo (cm)	LFE	Longitud escama de la flor (cm)	LESCF
Longitud estilo (cm)	LEST		

**Cuadro 7.** Caracteres morfométricos del fruto y semilla evaluados en los individuos de las poblaciones estudiadas.

<b>Carácter Fruto</b>	<b>acrónimo</b>	<b>Carácter Semilla</b>	<b>acrónimo</b>
Longitud del fruto (cm)	LFR	Largo de semilla (mm)	LSEM
Diámetro del fruto (cm)	AFR	Ancho de semilla (mm)	ASEM
Longitud/diámetro del fruto	RLAF	Relación largo / ancho semilla	RLAS
Volumen fruto (ml)	VFR	Área de semilla (mm <sup>2</sup> )	AREA
Longitud espina (cm)	LESP		
Longitud tubérculo (cm)	LTUBE		
Diámetro del tubérculo (cm)	ATUBE		
Número de aréolas	NARE		
Número de semillas	NSEM		

Una vez finalizada la medición de los frutos, se llevó a cabo su disección con la finalidad de obtener las semillas. Las semillas se lavaron con agua corriente para eliminar restos de la pulpa y el mucílago del fruto y se contaron. Las semillas se colocaron inmediatamente en papel absorbente hasta que se secaron. De cada



fruto se seleccionaron diez semillas al azar. A cada semilla se le midió un total de tres caracteres: largo (mm), ancho (mm) y área (mm<sup>2</sup>). Además, se calculó la relación largo / ancho (Cuadro 7). Las mediciones de las semillas se hicieron con un analizador de imágenes (Image-Pro Plus versión 3.1, Media Cybernetics, 1997) adaptado a un microscopio estereoscópico Olympus SZ-CTV.

Los especímenes colectados se depositaron en los herbarios del Colegio de Postgraduados (CHAPA) y en el Herbario Nacional (MEXU) (Cuadro 4).

### **4.3 Parámetros edáficos y climáticos**

Se tomaron muestras de suelo en las diez poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*, extrayendo 1 kg de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm. Los análisis de suelo fueron realizados en el laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados. Se determinó el pH con un potenciómetro y la conductividad eléctrica (C.E.) (1:5 mmhos/cm dS<sup>m</sup>) promedio con un salinómetro. La determinación del porcentaje de materia orgánica (M.O.) fue hecha por el método Walkley-Black. El nitrógeno (N) total se cuantificó a través del método Kjeldahl. Se usó el método Olsen para determinar el fósforo (P) disponible y el potasio (K) (NH<sub>4</sub>O Ac1N pH 7 Meq/100g). Se evaluó la textura del suelo (porcentaje de arena, limo y arcillas) usando el método Boyoucos (Etchevers, 1988).

Con los datos de localización geográfica para cada localidad y las estaciones meteorológicas más cercanas, se generaron 17 parámetros climáticos (Cuadro 8) con el sistema BIOCLIM versión 2.0 (Busby, 1986) en UBIPRO, FES-Iztacala, UNAM.

**Cuadro 8.** Parámetros climáticos para las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*.

<b>Parámetros climáticos</b>	<b>Acrónimo</b>
1. Temperatura promedio anual (°C)	<b>TPA</b>
2. Oscilación diurna de la temperatura (°C)	<b>ODT</b>
3. Isothermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)	<b>ISO</b>
4. Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	<b>ET</b>
5. Temperatura máxima promedio del periodo más calido (°C)	<b>TMMPC</b>
6. Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	<b>TMPPF</b>
7. Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetro 5 y 6)	<b>OAT</b>
8. Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	<b>TPCLL</b>
9. Temperatura del cuatrimestre más seco (°C)	<b>TPCS</b>
10. Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	<b>TPC</b>
11. Temperatura del cuatrimestre más frío (°C)	<b>TPF</b>
12. Precipitación anual (mm)	<b>PA</b>
13. Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	<b>PPLL</b>
14. Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	<b>EP</b>
15. Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	<b>PCLL</b>
16. Precipitación del cuatrimestre más cálido	<b>PCC</b>
17. Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	<b>PCF</b>

#### **4.4 Análisis estadístico**

Para cada especie, población y para cada uno de los caracteres se calcularon los parámetros de la estadística descriptiva básica (media, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación) mediante el procedimiento PROC MEANS. Para conocer si los datos de cada variable se ajustaban a una distribución normal, se utilizó el procedimiento PROC UNIVARIATE que permite conocer la normalidad de los caracteres. Todos los datos fueron transformados con logaritmo natural para las variables con datos continuos y raíz cuadrada para las variables que presentan conteos con la finalidad de cumplir con uno de los supuestos requeridos antes de practicar los análisis multivariados.

Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) incluyendo los 46 caracteres morfométricos con la finalidad de identificar cuál o cuáles de ellos contribuyen significativamente a explicar el mayor porcentaje de variación de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*.

Los caracteres morfométricos resultantes como los más importantes en ACP, los parámetros de localización geográfica (3), los edáficos (9) y los climáticos (17), se incluyeron en un análisis de componentes principales denominado global (ACPG) con la finalidad de identificar cuál o cuáles de ellos contribuyen significativamente a explicar la mayor proporción de la variación.

Para estudiar el efecto a nivel de especie (*Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*), población e individuo, se efectuó un análisis de varianza, a los caracteres obtenidos por el ACPG, mediante un diseño de efectos aleatorios en un arreglo jerárquico usando el procedimiento PROC NESTED.

Se realizó un análisis de correlación de Spearman (PROC CORR) entre los caracteres vegetativos, de flor y fruto-semilla por separado para ambas especies.

Posterior a estos análisis se realizó un análisis discriminante (PROC CANDISC) con los 46 caracteres morfométricos pero ahora con cuatro especies: *Neobuxbaumia mezcalaensis*, *N. multiareolata*, *N. polylopha* y *N. squamulosa*. Este análisis tuvo la finalidad de identificar un subconjunto de caracteres que separan a las especies al máximo e identifican la contribución relativa de cada carácter a la separación de éstas.

Se aplicó el análisis discriminante clasificatorio (PROC DISCRIM) con los mismos caracteres utilizados en el CANDISC para corroborar si los individuos

están correctamente asignados en los grupos (especies) formados *a priori* (Johnson y Wichern, 1982).

Se practicó un análisis de varianza para detectar diferencias entre las cuatro especies sólo para aquellos caracteres morfométricos que resultaron con mayor peso en el CANDISC seguido de un análisis de comparación medias de Tukey (al 95% de probabilidad), para detectar diferencias significativas entre las cuatro especies.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1989).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Caracterización física de las localidades

#### 5.1.1 Suelo

En los cuadros 9 y 10 se sintetizan las características edáficas de las poblaciones muestreadas de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. Todas las poblaciones de *N. mezcalaensis* presentaron suelos moderadamente alcalinos con valores de pH entre 7.8 y 8.0, en tanto que para las poblaciones de *N. multiareolata* tuvieron suelos moderadamente ácidos, con valores de pH entre 6.6 y 6.8 (Cuadro 9). En las poblaciones de *N. mezcalaensis* la conductividad eléctrica (C.E.) presentó valores  $\leq 0.31$  mmhos/cm  $dS^{-m}$  y las poblaciones de *N. multiareolata* tuvieron valores de 0.32 y 0.35 mmhos/cm  $dS^{-m}$  (Cuadro 9). Las poblaciones de *N. multiareolata* tuvieron porcentajes de materia orgánica cinco a diez veces mayor a los que presentaron las poblaciones de *N. mezcalaensis* (Cuadro 9). Las poblaciones de *N. mezcalaensis* tuvieron porcentajes de nitrógeno bajos  $\leq 0.17$ , con excepción de la población de Santiago Chazumba con 0.32; mientras que para las poblaciones de *N. multiareolata* presentaron porcentajes superior a 0.29% (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Características químicas de los suelos en las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata* muestreadas. Las poblaciones se ordenaron latitudinalmente. \*Walkley y Black \*\*Kjeldahl.

Espece	Población	pH	CE 1:5 mmhos/cm $dS^{-m}$	M.O. * %	N** %	P OLSEN ppm	K NH <sub>4</sub> OAc1NpH7 Meq/100g
<i>N. mezcalaensis</i>	Las Estacas	8.1	0.16	10.9	0.04	3	1.0
	Col. San Martín	8.2	0.15	4.6	0.05	4	0.8
	Santiago Chazumba	8.0	0.17	7.9	0.32	9	0.7
	Atenango del Río	7.9	0.22	6.3	0.16	2	0.9
	Mezcala	7.9	0.31	7.1	0.06	5	1.0
	Casa Verde	8.0	0.22	7.6	0.15	5	0.6
	Xochipala	7.8	0.23	14.9	0.14	5	1.2
	Zumpango del Río	8.3	0.18	8.9	0.17	3	0.9
<i>N. multiareolata</i>	Tierra Colorada	6.6	0.32	31.1	0.29	42	0.7
	La Venta	6.8	0.35	53.1	0.30	32	0.5

Con relación al contenido de fósforo, las poblaciones de *N. mezcalaensis* tuvieron < 9 ppm; mientras que para las poblaciones de *N. multiareolata* el contenido de fósforo fue superior a 30 ppm (Cuadro 9). Se encontró que en las poblaciones Mezcala, Xochipala, Atenango del Río y Las Estacas presentaron valores altos de contenido de potasio (>0.9) y el resto de las poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* presentaron una cantidad baja de potasio (Cuadro 9).

Los análisis de suelos indicaron que la fracción “arena” fue predominante, siendo superior al 38% para una población de *N. multiareolata* y cuatro poblaciones de *N. mezcalaensis*. La fracción “limo” predominó con un valor superior a 43% para dos poblaciones de *N. mezcalaensis*. La fracción “arcillas” fue predominante, siendo superior al 39% para otras dos poblaciones de *N. mezcalaensis* (Cuadro 10). Cuatro poblaciones de *N. mezcalaensis* presentaron suelos franco-arcilloso, seguidos de franco y franco-arenoso en las dos poblaciones de *N. multiareolata* (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Características físicas de los suelos en las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata* muestreadas. Las poblaciones se ordenaron latitudinalmente. En negritas los porcentajes más altos.

<b>Especie</b>	<b>Población</b>	<b>Clase</b>	<b>Arena %</b>	<b>Limo %</b>	<b>Arcilla %</b>
<i>N. mezcalaensis</i>	Las Estacas	Franco-arcilloso	<b>38</b>	29	33
	Col. San Martín	Arcilla-limosa	10	41	<b>49</b>
	Santiago Chazumba	Franco	<b>44</b>	30	26
	Atenango del Río	Arcilla-arenosa	<b>48</b>	17	35
	Mezcala	Franco-arcilloso	22	<b>45</b>	33
	Casa Verde	Franco-arcilloso	<b>42</b>	27	31
	Xochipala	Franco-arcilloso	28	33	<b>39</b>
	Zumpango del Río	Franco-arcilloso-limoso	20	<b>43</b>	37
	<i>N. multiareolata</i>	Tierra Colorada	Franco-arenoso	<b>57</b>	27
La Venta		Franco	37	39	24

### 5.1.2 Clima

De acuerdo con García (1973) el clima en las poblaciones donde se distribuye *Neobuxbaumia mezcalaensis* predominante es el semi-seco (BS). Mientras que *N. multiareolata* se localizó en un clima clasificado como semi-cálido A (C) w<sub>2</sub> a sub-húmedo (A)C(w<sub>2</sub>)x'.

En el cuadro 11 se muestran los valores de los parámetros climáticos de las poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*. La temperatura promedio anual tuvo como máximo 28.3 °C en la población Mezcala y como mínimo de 19.7 °C en Santiago Chazumba. Las poblaciones de *N. multiareolata* presentaron temperaturas promedio anual de 27 °C (Cuadro 11). La oscilación diurna de temperatura decreció con la latitud, con un valor máximo 17 °C en las poblaciones más norteñas (Las Estacas y San Martín) y como valor mínimo la población más sureña (Zumpango del Río) con 14°C y las dos poblaciones de *N. multiareolata* con los valores más bajos (Cuadro 11). Los valores de la isothermalidad fluctuaron de los 0.63°C en Atenango del Río a los 0.73°C en Tierra Colorada. La estacionalidad de la temperatura mostró una tendencia a ser más variable hacia latitudes norteñas. En Las Estacas, población más norteña, presento un coeficiente de variación de 0.69 mientras que la Venta la más sureña fue de 0.29, excepto Atenango del Río presento el coeficiente de variación más alto (Cuadro 11).

Los valores más altos de temperatura máxima promedio del periodo más cálido fue de 39.9 °C en Mezcala y el más bajo fue de 30.9 °C en Santiago Chazumba. Para la temperatura máxima promedio del periodo más frío, Santiago Chazumba presentó un valor de 8.1 °C como el más bajo y La Venta con un valor de 18.6 °C como el más alto. En la oscilación anual de

temperatura mostró que la población con el valor más alto fue Atenango del Río con 26.7 °C y el más bajo con 18.1 °C fue La Venta.

Los valores más altos y bajos de la temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso, la temperatura promedio del cuatrimestre más seco, la temperatura promedio del cuatrimestre más cálido y la temperatura promedio del cuatrimestre más frío fueron para la población de Mezcala y Santiago Chazumba, respectivamente (Cuadro 11).

Los valores más altos y bajos para la precipitación anual, la precipitación del periodo más lluvioso, la estacionalidad de la precipitación y la precipitación del cuatrimestre más lluvioso, los tuvieron a la población Tierra Colorada y Santiago Chazumba respectivamente (Cuadro 11).

Para la precipitación del cuatrimestre más cálido la población con el valor más alto fue Tierra Colorada con 332 mm y la población con el valor bajo fue Mezcala con 144 mm. La precipitación del cuatrimestre más frío presento como valor máximo de 28 mm en Xochipala y como mínimo de 12 mm en San Martín (Cuadro 11).



**Cuadro 11.** Valores de BIOCLIM de las diferentes poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multireolata*. Las poblaciones se ordenaron latitudinalmente. Los valores extremos en negritas (los acrónimos se presentan en el cuadro 8).

<b>Especie</b>	<b>Población</b>	TPA	ODT	ISO	ET	TMMPC	TMPPF	OAT	TPCLL	TPCS	TPC	TPF	PA	PPLL	EP	PCLL	PCC	PGF
	Las Estacas	23.3	17.0	0.66	0.69	36.0	10.3	<b>25.7</b>	24.0	21.1	26.0	20.6	919	53	109	573	241	18
	Col. San Martín	23.4	<b>17.1</b>	0.68	0.65	35.7	10.6	25.0	24.3	21.1	25.7	20.7	654	39	101	359	181	<b>12</b>
	Santiago Chazumba	<b>19.7</b>	15.2	0.67	0.63	<b>30.9</b>	<b>8.1</b>	22.8	<b>21.2</b>	<b>17.1</b>	<b>21.9</b>	<b>17.1</b>	<b>559</b>	<b>37</b>	<b>100</b>	<b>295</b>	238	16
<i>N. mezcalaensis</i>	Atenango del Río	26.1	16.9	<b>0.63</b>	<b>0.75</b>	38.9	12.2	26.7	26.8	23.1	29.1	23.1	830	47	108	518	218	13
	Mezcala	<b>28.3</b>	15.1	0.65	0.60	<b>39.9</b>	16.6	23.3	<b>28.2</b>	<b>28.9</b>	<b>30.9</b>	<b>26.2</b>	799	43	106	490	<b>144</b>	19
	Casa Verde	26.5	14.8	0.68	0.52	37.2	15.5	21.7	26.6	26.4	28.6	24.5	823	44	105	504	145	22
	Xochipala	23.9	14.5	0.69	0.51	34.4	13.4	21.0	24.2	22.5	25.9	21.9	768	41	102	467	171	28
	Zumpango del Río	22.9	14.0	0.69	0.51	33.0	12.6	20.3	23.5	22.4	24.7	20.8	810	45	105	506	202	<b>25</b>
	<i>N. multireolata</i>	Tierra Colorada	27.0	<b>13.5</b>	<b>0.73</b>	0.30	36.1	17.5	18.6	27.2	27.5	28.2	25.8	<b>1400</b>	<b>88</b>	<b>118</b>	<b>909</b>	<b>332</b>
La Venta		27.6	12.9	0.72	<b>0.29</b>	36.7	<b>18.6</b>	<b>18.1</b>	27.7	27.5	28.9	<b>26.6</b>	1218	75	116	784	293	18

## 5.2 Estadística descriptiva para las especies y poblaciones

Se generaron 46 caracteres morfométricos (vegetativos y reproductivos) para 260 individuos, de *Neobuxbaumia mezcalaensis*, *N. multiareolata*, *N. polylopha* y *N. squamulosa*.

### 5.2.1 Vegetativos

El cuadro 12 sintetiza la media, error estándar y coeficiente de variación para diez caracteres vegetativos por población estudiada de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*. Se encontró que los individuos de las poblaciones de *N. mezcalaensis*, de la Col. San Martín y Santiago Chazumba tuvieron las tallas más bajas con el menor valor de la media de 4.83 m de alto, mientras que los individuos de las poblaciones sureñas de Xochipala y Zumpango del Río, presentaron más de 7 m de alto (Cuadro 12). Los individuos de *N. multiareolata* tuvieron la menor altura en comparación con los individuos de *N. mezcalaensis*, pero los coeficientes de variación más altos (Cuadro 12). La altura de los individuos de *N. multiareolata* se correlacionó significativamente con el perímetro del tallo ( $r=0.53$ ,  $P<0.0001$ ), el grosor de costilla ( $r=0.67$ ,  $P<0.0001$ ) y la distancia entre costillas ( $r=0.69$ ,  $P<0.0001$ ).

Los valores más bajos para el perímetro de tallo se presentaron en individuos de Mezcala, localidad tipo de *N. mezcalaensis*, con 51.55 cm, seguido por los individuos de *N. multiareolata* con 52.00 cm de perímetro y los individuos de Santiago Chazumba presentaron la media del perímetro del tallo más alto con 80.45 cm (Cuadro 12). El perímetro del tallo de *N. mezcalaensis* se correlacionó significativamente con el número de costillas ( $r=0.58$ ,  $P<0.0001$ ), el grosor de costilla ( $r=0.64$ ,  $P<0.0001$ ), la distancia entre costillas

( $r=0.60$ ,  $P<0.0001$ ), el largo de aréola ( $r=0.56$ ,  $P<0.0001$ ) y el diámetro de aréola ( $r=0.63$ ,  $P<0.0001$ ).

Los individuos de *N. mezcalaensis* tuvieron un número de costillas que fluctuó de 14 costillas en Mezcala a 18 en Santiago Chazumba; mientras que los individuos de *N. multiareolata* presentaron 20 costillas. Este carácter presentó coeficientes de variación (CV) menores a 13.22 (Cuadro 12).

La variable altura de costilla presentó los CV más altos en comparación con las otras variables evaluadas (Cuadro 12) y sus valores fluctuaron de 0.55 cm en Zumpango del Río a 1.75 cm en Santiago Chazumba, intervalo para ambas especies. Los valores más bajos de la media (3.14 cm) para el grosor de costilla se presentó en Atenango del Río y Mezcala y el valor más alto (3.83 cm) lo tuvo Santiago Chazumba. Los individuos de *N. multiareolata* presentaron valores promedio inferiores a los obtenidos en las poblaciones de *N. mezcalaensis* (Cuadro 12).

El grosor de costilla se correlacionó significativamente con la distancia entre costillas en *N. mezcalaensis* ( $r=0.93$ ,  $P<0.0001$ ) y en *N. multiareolata* ( $r=0.95$ ,  $P<0.0001$ ). La distancia entre costillas fue menor (2.28 cm) en las poblaciones de *N. multiareolata* que en las poblaciones de *N. mezcalaensis*, donde la distancia entre costillas tuvo valores de la media de 3.51 cm en Mezcala hasta 4.24 cm en Santiago Chazumba (Cuadro 12).

La distancia entre aréolas fue menor ( $\leq 1.45$  cm) en las poblaciones de *N. multiareolata* que en *N. mezcalaensis*, donde varió de 1.52 cm en San Martín hasta 1.99 cm en Atenango del Río. La longitud y diámetro de aréola presentó como valores mínimos de la media 0.37 cm de longitud y 0.30 de diámetro en Mezcala y como valores máximos 0.63 cm de longitud y 0.55 cm

de diámetro en Santiago Chazumba (Cuadro 12). La longitud de aréola se correlacionó significativamente con el diámetro de aréola en *N. mezcalaensis* ( $r=0.93$ ,  $P<0.0001$ ) y en *N. multiareolata* ( $r=0.90$ ,  $P<0.0001$ ); además se correlacionó significativamente con el número de espinas centrales ( $r=0.67$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud de espinas centrales ( $r=0.61$ ,  $P<0.0001$ ) y con el número de espinas radiales ( $r=0.52$ ,  $P<0.0001$ ). El diámetro de aréola de *N. mezcalaensis* se asoció significativamente con el número ( $r=0.58$ ,  $P<0.0001$ ) y longitud de espinas centrales ( $r=0.55$ ,  $P<0.0001$ ). La relación longitud/diámetro de aréola permitió definir que las poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* tuvieron una aréola de forma ligeramente ovalada.

Los CV de los caracteres de tallo entre las poblaciones de *N. mezcalaensis* presentaron por lo común el doble de variación entre poblaciones (Cuadro 12). La altura de los individuos y la altura de costilla fueron las variables con los CV más altos en todas las poblaciones (Cuadro 12); mientras que el perímetro del tallo, el número de costillas y longitud de aréola fueron las variables con los CV más bajos en todas las poblaciones (Cuadro 12). Las poblaciones de Santiago Chazumba, Zumpango del Río, Las Estacas y La Venta presentaron los CV más altos para los caracteres del tallo (Cuadro 12).

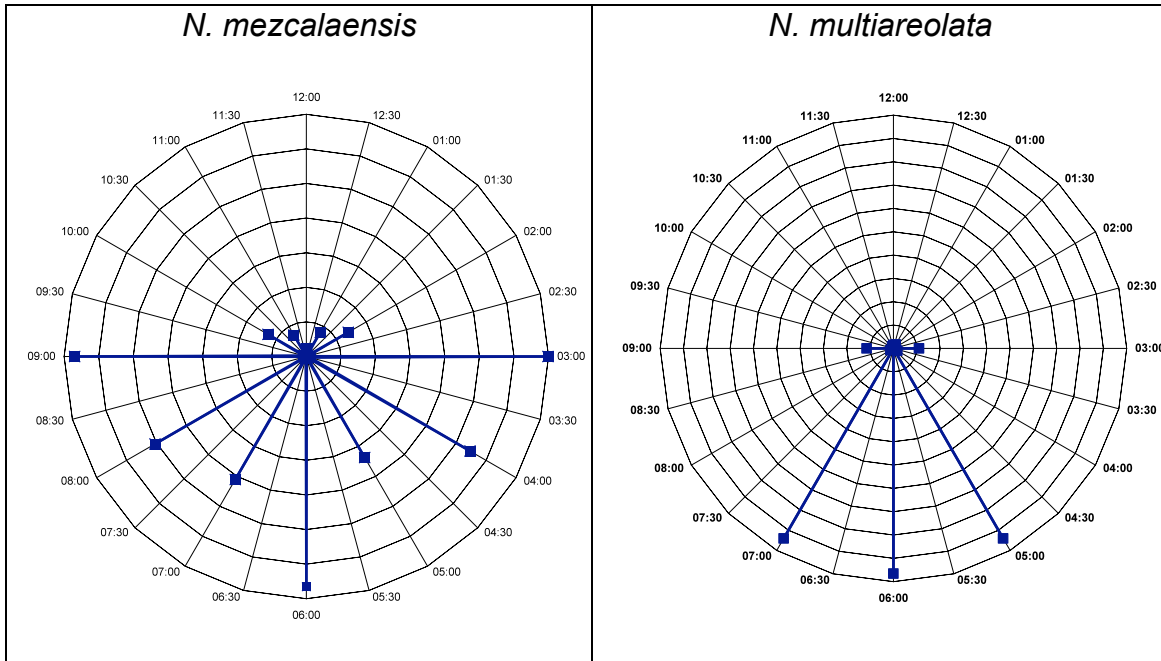
Para el número de espinas centrales se observó poca variación. Por ejemplo, se encontró una moda de 1 en ocho poblaciones y una moda de 3 en Col. San Martín y Santiago Chazumba (Cuadro 13). El número de espinas centrales de *N. mezcalaensis* se correlacionó significativamente con la longitud de espina central ( $r=0.70$ ;  $P<0.0001$ ) y con el número de espinas radiales ( $r=0.78$ ,  $P<0.0001$ ). El número de espinas centrales en *N. multiareolata* se

asoció significativamente solo con la longitud de las espinas radiales ( $r=0.69$ ,  $P<0.0001$ ). La longitud de la espina central tuvo un valor promedio mínimo de 1.11 cm en Casa Verde y un máximo de 2.71 cm en Santiago Chazumba. La longitud de espinas centrales en *N. mezcalaensis* se asoció significativamente con el número de espinas radiales ( $r=0.55$ ,  $P<0.0001$ ). El número de espinas radiales presentó una moda de 5 espinas para cuatro poblaciones de *N. mezcalaensis*; sin embargo, se encontraron poblaciones con una moda de 8 para Col. San Martín y 7 en Santiago Chazumba. Las dos poblaciones de *N. multiareolata* tuvieron una moda de 3, además esta especie fue la que presentó el menor número de espinas radiales (Cuadro 13).

Se cuantificaron en total 4, 316 espinas radiales en las ocho poblaciones de *N. mezcalaensis*. Para esta especie el patrón de distribución de las espinas en la aréola, siguiendo el sentido de las manecillas del reloj, es de la siguiente forma: a las 3:00 con 679 (16 %), a las 4:00 con 546 (13 %), a las 6:00 con 665 (15 %), a las 8:00 con 505 (12 %) y a las 9:00 con 669 (15 %) y el resto de las horas tomadas juntas tuvieron 1,252 (29 %). *N. mezcalaensis* presenta un patrón básico de 5 espinas (Figura 3), que se arreglan de la siguiente forma: un par de espinas radiales en posición lateral perpendicular al tallo y un par de espinas radiales en la parte inferior con una espina solitaria paralela al tallo y en medio de las dos espinas inferiores.

Para *N. multiareolata* se cuantificaron 631 espinas radiales de las dos poblaciones y se distribuyeron principalmente a las 5:00 con 188 (30 %), a las 6:00 con 193 (31 %), a las 7:00 con 188 (30 %) y 62 espinas radiales se distribuyeron en el resto de las horas (9 %; Figura 3). Las espinas de *N. multiareolata* presentan un patrón distinto al de *N. mezcalaensis*. El número de

espinas radiales son 3 y se arreglan de la siguiente forma: un par de espinas radiales en la parte inferior de la aréola, con una espina solitaria paralela al tallo y en medio de las dos espinas (Figura 3) La longitud de la espina radial en las poblaciones de *N. mezcalaensis* mostró que Casa Verde fue la que tuvo los promedios más bajos con 1.24 cm mientras que la que tuvo los valores más altos fue Santiago Chazumba con 1.59 cm (Cuadro 13).



**Figura 3.** Representación grafica del porcentaje de espinas radiales por posición en aréolas de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*.

Los CV de los caracteres de espinas entre las poblaciones de *N. mezcalaensis* presentaron por lo común el doble o triple del valor del CV entre poblaciones (Cuadro 13). El valor del coeficiente de variación del largo de la espina central en Atenango del Río fue el triple que Col. San Martín. La población con el coeficiente de variación más alto para el número de espinas centrales, longitud de la espina central y longitud de la espina radial fue Atenango del Río y la que presento los valores más bajos fue Mezcala (Cuadro 13).

**Cuadro 12.** Valores de la media  $\pm$  error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres vegetativos de las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. ver cuadros 4 y 5 para acrónimos).

id	ALT (m)	PERI (cm)	NCOST	ACOST (cm)	GCOST (cm)	DCOST (cm)	DAREO (cm)	LAREO (cm)	AAREO (cm)	LAAREO
a	6.18 $\pm$ 0.11	72.30 $\pm$ 0.99	16.00 $\pm$ 0.08	1.32 $\pm$ 0.03	3.71 $\pm$ 0.06	4.14 $\pm$ 0.06	1.65 $\pm$ 0.02	0.43 $\pm$ 0.01	0.38 $\pm$ 0.01	1.15 $\pm$ 0.01
	(24.34)	<b>(19.31)</b>	(6.83)	(33.56)	(21.71)	(18.88)	(16.94)	<b>(19.77)</b>	(22.42)	(12.96)
	4.53 $\pm$ 0.02	74.00 $\pm$ 1.18	17.00 $\pm$ 0.15	1.37 $\pm$ 0.10	3.48 $\pm$ 0.13	3.93 $\pm$ 0.11	1.53 $\pm$ 0.05	0.48 $\pm$ 0.01	0.42 $\pm$ 0.01	1.17 $\pm$ 0.03
b	<b>(2.80)</b>	<b>(8.76)</b>	<b>(4.89)</b>	(39.57)	<b>(29.20)</b>	(15.90)	(17.62)	<b>(9.40)</b>	<b>(10.72)</b>	(13.44)
	4.83 $\pm$ 0.12	80.45 $\pm$ 1.00	18.00 $\pm$ 0.11	1.75 $\pm$ 0.04	3.83 $\pm$ 0.06	4.24 $\pm$ 0.06	1.79 $\pm$ 0.02	0.63 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.01	1.17 $\pm$ 0.01
c	<b>(35.61)</b>	(17.55)	(8.50)	(31.94)	(21.57)	(20.24)	(15.89)	(16.77)	(19.01)	<b>(15.85)</b>
	5.50 $\pm$ 0.09	58.87 $\pm$ 0.58	16.00 $\pm$ 0.09	1.28 $\pm$ 0.03	3.14 $\pm$ 0.04	3.69 $\pm$ 0.04	1.99 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.00	0.35 $\pm$ 0.00	1.22 $\pm$ 0.01
d	(23.65)	(13.83)	(7.92)	(34.56)	(19.83)	(16.09)	(17.22)	(13.36)	(15.12)	(13.15)
	4.85 $\pm$ 0.09	51.55 $\pm$ 0.09	14.00 $\pm$ 0.07	1.16 $\pm$ 0.02	3.14 $\pm$ 0.04	3.51 $\pm$ 0.04	1.84 $\pm$ 0.03	0.37 $\pm$ 0.00	0.30 $\pm$ 0.00	1.23 $\pm$ 0.01
e	(27.04)	(12.69)	(6.55)	<b>(26.94)</b>	(18.77)	(17.10)	<b>(23.32)</b>	(12.37)	(13.22)	(13.67)
	6.29 $\pm$ 0.11	56.94 $\pm$ 0.57	15.00 $\pm$ 0.09	0.70 $\pm$ 0.02	3.45 $\pm$ 0.05	3.80 $\pm$ 0.06	1.80 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.00	0.36 $\pm$ 0.00	1.18 $\pm$ 0.01
f	(25.17)	(14.19)	<b>(8.75)</b>	(38.13)	(19.83)	<b>(20.49)</b>	<b>(12.83)</b>	(15.48)	(16.55)	<b>(11.97)</b>
	8.17 $\pm$ 0.09	64.10 $\pm$ 0.69	16.00 $\pm$ 0.09	0.73 $\pm$ 0.02	3.60 $\pm$ 0.03	3.84 $\pm$ 0.03	1.70 $\pm$ 0.02	0.43 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.01	1.09 $\pm$ 0.01
g	(15.95)	(15.18)	(8.09)	(32.06)	(13.32)	<b>(11.27)</b>	(15.34)	(17.50)	(22.32)	(13.36)
	7.21 $\pm$ 0.10	72.35 $\pm$ 0.64	17.00 $\pm$ 0.10	0.55 $\pm$ 0.02	3.82 $\pm$ 0.03	4.06 $\pm$ 0.04	1.64 $\pm$ 0.02	0.44 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.01	1.09 $\pm$ 0.01
h	(20.48)	(12.60)	(8.16)	<b>(45.76)</b>	<b>(12.69)</b>	(12.24)	(21.03)	(18.07)	<b>(23.01)</b>	(12.09)
	3.74 $\pm$ 0.08	52.30 $\pm$ 0.73	20.00 $\pm$ 0.11	0.86 $\pm$ 0.02	1.95 $\pm$ 0.04	2.22 $\pm$ 0.03	1.23 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.00	0.30 $\pm$ 0.00	1.15 $\pm$ 0.01
i	(29.53)	<b>(19.81)</b>	(7.31)	(31.09)	(25.34)	(18.81)	(16.23)	(14.26)	(15.14)	(13.40)
	3.78 $\pm$ 0.10	52.43 $\pm$ 0.63	20.00 $\pm$ 0.19	0.94 $\pm$ 0.02	1.98 $\pm$ 0.04	2.28 $\pm$ 0.04	1.45 $\pm$ 0.02	0.39 $\pm$ 0.00	0.34 $\pm$ 0.01	1.18 $\pm$ 0.01
j	(36.25)	(16.99)	<b>(13.22)</b>	<b>(25.65)</b>	(27.39)	<b>(23.04)</b>	(20.27)	(17.53)	<b>(24.85)</b>	(15.78)

**Cuadro 13.** Valores de la media  $\pm$  error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres de las espinas de las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*, ver cuadro 4 y 5 para acrónimos).

Especie	Población	NESC	LESC (cm)	NESR	LESR (cm)
<i>N. mezcalaensis</i>	a	1.00 $\pm$ 0.00 (0.00)	1.91 $\pm$ 0.05 (27.71)	4.00 $\pm$ 0.11 <b>(26.05)</b>	1.46 $\pm$ 0.06 (20.82)
	b	3.00 $\pm$ 0.10 (10.20)	2.02 $\pm$ 0.08 <b>(12.52)</b>	8.00 $\pm$ 0.33 (12.76)	1.32 $\pm$ 0.07 <b>(15.97)</b>
	c	3.00 $\pm$ 0.06 (19.16)	2.71 $\pm$ 0.08 (30.71)	7.00 $\pm$ 0.17 (22.18)	1.59 $\pm$ 0.05 <b>(25.33)</b>
	d	1.00 $\pm$ 0.08 (56.38)	1.40 $\pm$ 0.05 <b>(37.78)</b>	5.00 $\pm$ 0.08 (14.97)	1.36 $\pm$ 0.03 (21.03)
	e	1.00 $\pm$ 0.00 (0.00)	1.47 $\pm$ 0.03 (18.39)	5.00 $\pm$ 0.05 <b>(9.56)</b>	1.44 $\pm$ 0.03 (20.93)
	f	1.00 $\pm$ 0.00 (0.00)	1.11 $\pm$ 0.04 (34.69)	4.00 $\pm$ 0.07 (16.29)	1.20 $\pm$ 0.03 (23.10)
	g	1.00 $\pm$ 0.00 (0.00)	1.23 $\pm$ 0.04 (28.30)	5.00 $\pm$ 0.11 (23.18)	1.24 $\pm$ 0.03 (19.69)
	h	1.09 $\pm$ 0.05 (38.58)	1.37 $\pm$ 0.04 (28.42)	5.00 $\pm$ 0.10 (18.61)	1.51 $\pm$ 0.04 (22.81)
	i	1.00 $\pm$ 0.00 (0.00)	1.22 $\pm$ 0.04 (27.64)	3.00 $\pm$ 0.03 <b>(8.73)</b>	1.45 $\pm$ 0.04 (26.43)
	<i>N. multiareolata</i>	j	1.00 $\pm$ 0.00 (0.00)	1.62 $\pm$ 0.04 (22.81)	3.00 $\pm$ 0.08 (23.83)

### 5.2.2 Flor

En los cuadros 14 y 15, se presentan los valores de la media, el error estándar y el coeficiente de variación para los 19 caracteres de la flor. La longitud promedio de la flor fue de 2.97 cm y 2.99 cm para las dos poblaciones de *N. multiareolata*. Para las poblaciones de *N. mezcalaensis* valores de la media fueron mayores 4.00 cm (Cuadro 14). La longitud de la flor en *N. mezcalaensis* se correlacionó significativamente con la longitud del podario del tubo ( $r=0.66$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del tubo ( $r=0.87$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del filamento interno ( $r=0.59$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del estilo ( $r=0.65$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud de la cámara necatarial ( $r=0.66$ ,  $P<0.0001$ ) y con la longitud del ovario ( $r=0.63$ ,  $P<0.0001$ ). En la longitud de la flor en *N.*



*multiareolata* se asoció significativamente con la longitud del pericarpelo ( $r=0.72$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del tubérculo del tubo ( $r=0.68$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del tubo ( $r=0.78$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del podario ( $r=0.50$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del filamento interno ( $r=0.55$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del filamento externo ( $r=0.61$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del estilo ( $r=0.50$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud de la cámara nectarial ( $r=0.70$ ,  $P<0.0001$ ), con el diámetro de la cámara nectarial ( $r=0.57$ ,  $P<0.0001$ ) y con la longitud de ovario ( $r=0.58$ ,  $P<0.0001$ ).

El diámetro de la flor tuvo los valores de la media más bajos ( $<1.42$  cm) para las poblaciones de *N. multiareolata*, mientras que fueron mayores a  $1.52$  cm en las poblaciones de *N. mezcalaensis*. Para la longitud del pericarpelo, la longitud del tubérculo del tubo, las poblaciones de *N. mezcalaensis* tuvieron valores más altos que no se traslapan con los de *N. multiareolata* (Cuadro 14). La longitud del tubérculo del tubo en *N. mezcalaensis* se correlacionó significativamente con la longitud del tubo ( $r=0.66$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud de filamentos internos ( $r=0.58$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del estilo ( $r=0.56$ ,  $P<0.0001$ ) y con la longitud de la cámara nectarial ( $r=0.58$ ,  $P<0.0001$ ). En cambio, en *N. multiareolata* la longitud del tubérculo del tubo se asoció significativamente solo con la longitud del tubo ( $r=0.76$ ,  $P<0.0001$ ) y con la longitud del podario ( $r=0.61$ ,  $P<0.0001$ ).

Para el diámetro del tubérculo del tubo el valor máximo de  $0.39$  cm lo tuvieron los individuos de Atenango del Río y el valor mínimo de  $0.29$  cm en La Venta. La longitud máxima de tubo fue superior a  $3.02$  cm en las poblaciones de *N. mezcalaensis* excepto en Santiago Chazumba ( $2.83$  cm) y con valores  $<2.29$  cm en las poblaciones de *N. multiareolata*. La longitud del tubo en *N.*

*mezcalaensis* se correlacionó significativamente con la longitud del filamento interno ( $r=0.62$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del estilo ( $r=0.71$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud de la cámara nectarial ( $r=0.64$ ,  $P<0.0001$ ) y con la longitud del ovario ( $r=0.53$ ,  $P<0.0001$ ). En *N. multiareolata* se asoció significativamente solo con la longitud del estilo ( $r=0.64$ ,  $P<0.0001$ ).

La longitud de podarios presentó variación reducida entre las poblaciones (Cuadro 14). El valor promedio más alto fue de 0.42 cm en Atenango del Río y 0.37 cm para Zumpango del Río y Santiago Chazumba como los valores más bajos de las poblaciones de ambas especies (Cuadro 14). La longitud del podario en *N. multiareolata* se correlacionó significativamente con la longitud de la cámara nectarial ( $r=0.59$ ,  $P<0.0001$ ).

La longitud máxima del filamento interno fue de 1.09 cm en Xochipala y 0.89 cm como longitud mínima en la Col. San Martín, mientras que las poblaciones de *N. multiareolata* presentaron valores menores a 0.86 cm (Cuadro 14). La longitud del filamento interno en *N. mezcalaensis* se asoció significativamente con la longitud del estilo ( $r=0.60$ ,  $P<0.0001$ ). En *N. multiareolata* se asoció con la longitud del filamento externo ( $r=0.65$ ,  $P<0.0001$ ). La longitud del filamento externo se registró en Las Estacas con un mínimo de 0.27 cm y en Santiago Chazumba con un máximo de 0.34 cm (Cuadro 14). La longitud del filamento externo en *N. multiareolata* se asoció significativamente con la longitud del lóbulo del estigma ( $r=0.62$ ,  $P<0.0001$ ).

**Cuadro 14.** Valores de la media  $\pm$  error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de las flores de las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*, ver cuadro 4 y 6 para acrónimos).

Id	LFL (cm)	AFL (cm)	LPER (cm)	LPOT (cm)	APOT (cm)	LTUB (cm)	LPOD (cm)	LFI (cm)	LFE (cm)	
<i>N. mezcalaensis</i>	a	4.50 $\pm$ 0.04 <b>(2.50)</b>	1.68 $\pm$ 0.03 <b>(4.79)</b>	1.64 $\pm$ 0.10 <b>(16.95)</b>	1.48 $\pm$ 0.03 <b>(6.66)</b>	0.31 $\pm$ 0.01 <b>(7.79)</b>	3.02 $\pm$ 0.07 <b>(6.37)</b>	0.41 $\pm$ 0.02 <b>(11.91)</b>	0.97 $\pm$ 0.03 <b>(10.06)</b>	0.27 $\pm$ 0.01 <b>(15.33)</b>
	b	4.15 $\pm$ 0.09 <b>(17.24)</b>	1.79 $\pm$ 0.03 <b>(13.62)</b>	1.44 $\pm$ 0.03 <b>(16.90)</b>	1.55 $\pm$ 0.04 <b>(21.29)</b>	0.39 $\pm$ 0.01 <b>(17.73)</b>	3.07 $\pm$ 0.08 <b>(20.73)</b>	0.38 $\pm$ 0.01 <b>(13.66)</b>	0.89 $\pm$ 0.02 <b>(16.80)</b>	0.30 $\pm$ 0.01 <b>(25.96)</b>
	c	4.00 $\pm$ 0.06 <b>(13.50)</b>	1.69 $\pm$ 0.02 <b>(10.92)</b>	1.40 $\pm$ 0.02 <b>(14.75)</b>	1.68 $\pm$ 0.03 <b>(17.41)</b>	0.37 $\pm$ 0.01 <b>(15.99)</b>	2.83 $\pm$ 0.05 <b>(15.90)</b>	0.37 $\pm$ 0.01 <b>(17.70)</b>	0.92 $\pm$ 0.02 <b>(15.14)</b>	0.34 $\pm$ 0.01 <b>(28.44)</b>
	d	4.56 $\pm$ 0.05 <b>(13.20)</b>	1.66 $\pm$ 0.02 <b>(13.12)</b>	1.54 $\pm$ 0.02 <b>(16.18)</b>	1.83 $\pm$ 0.02 <b>(15.83)</b>	0.39 $\pm$ 0.01 <b>(18.65)</b>	3.16 $\pm$ 0.04 <b>(14.29)</b>	0.42 $\pm$ 0.01 <b>(16.14)</b>	1.00 $\pm$ 0.01 <b>(17.10)</b>	0.30 $\pm$ 0.01 <b>(25.12)</b>
	e	4.74 $\pm$ 0.01 <b>(5.86)</b>	1.52 $\pm$ 0.01 <b>(7.90)</b>	1.38 $\pm$ 0.01 <b>(8.33)</b>	1.90 $\pm$ 0.02 <b>(8.75)</b>	0.35 $\pm$ 0.00 <b>(9.08)</b>	3.58 $\pm$ 0.02 <b>(5.61)</b>	0.41 $\pm$ 0.01 <b>(8.57)</b>	1.08 $\pm$ 0.01 <b>(7.25)</b>	0.28 $\pm$ 0.01 <b>(10.73)</b>
	f	4.73 $\pm$ 0.03 <b>(9.89)</b>	1.50 $\pm$ 0.01 <b>(9.80)</b>	1.35 $\pm$ 0.01 <b>(13.51)</b>	1.91 $\pm$ 0.02 <b>(14.64)</b>	0.37 $\pm$ 0.00 <b>(18.56)</b>	3.55 $\pm$ 0.02 <b>(9.83)</b>	0.41 $\pm$ 0.00 <b>(17.17)</b>	1.06 $\pm$ 0.01 <b>(12.75)</b>	0.28 $\pm$ 0.00 <b>(21.03)</b>
	g	4.62 $\pm$ 0.02 <b>(7.28)</b>	1.54 $\pm$ 0.01 <b>(8.43)</b>	1.36 $\pm$ 0.01 <b>(10.50)</b>	1.82 $\pm$ 0.02 <b>(13.38)</b>	0.34 $\pm$ 0.00 <b>(16.11)</b>	3.47 $\pm$ 0.02 <b>(7.61)</b>	0.39 $\pm$ 0.00 <b>(17.03)</b>	1.09 $\pm$ 0.01 <b>(11.93)</b>	0.30 $\pm$ 0.00 <b>(19.62)</b>
	h	4.25 $\pm$ 0.02 <b>(8.11)</b>	1.57 $\pm$ 0.01 <b>(11.01)</b>	1.24 $\pm$ 0.01 <b>(14.53)</b>	1.74 $\pm$ 0.02 <b>(13.19)</b>	0.35 $\pm$ 0.00 <b>(17.46)</b>	3.15 $\pm$ 0.02 <b>(8.34)</b>	0.37 $\pm$ 0.00 <b>(15.23)</b>	1.07 $\pm$ 0.01 <b>(11.77)</b>	0.29 $\pm$ 0.00 <b>(16.20)</b>
	i	2.99 $\pm$ 0.02 <b>(10.94)</b>	1.42 $\pm$ 0.02 <b>(15.57)</b>	0.96 $\pm$ 0.01 <b>(18.70)</b>	1.44 $\pm$ 0.02 <b>(15.06)</b>	0.33 $\pm$ 0.00 <b>(16.18)</b>	2.29 $\pm$ 0.02 <b>(9.81)</b>	0.38 $\pm$ 0.00 <b>(16.11)</b>	0.82 $\pm$ 0.01 <b>(17.15)</b>	0.21 $\pm$ 0.00 <b>(29.80)</b>
	j	2.97 $\pm$ 0.03 <b>(12.00)</b>	1.36 $\pm$ 0.01 <b>(10.44)</b>	0.99 $\pm$ 0.01 <b>(17.76)</b>	1.35 $\pm$ 0.02 <b>(15.70)</b>	0.29 $\pm$ 0.00 <b>(14.08)</b>	2.15 $\pm$ 0.02 <b>(12.21)</b>	0.38 $\pm$ 0.00 <b>(16.33)</b>	0.86 $\pm$ 0.01 <b>(17.67)</b>	0.24 $\pm$ 0.00 <b>(23.10)</b>
<i>N. multiareolata</i>										

La longitud del estilo presentó una media superior a 2.64 cm en todas las poblaciones de *N. mezcalaensis*, mientras que la media de las poblaciones de *N. multiareolata* fueron < 1.90 cm. La longitud del estilo en *N. mezcalaensis* se correlacionó significativamente con la longitud de la cámara nectarial ( $r=0.53$ ,  $P<0.0001$ ).

El número de lóbulos del estigma tuvo CV bajos (Cuadro 15), teniendo una moda de 5 lóbulos en las poblaciones occidentales y de 6 en las poblaciones orientales de *N. mezcalaensis* como de *N. multiareolata*. El número de lóbulos del estigma en *N. mezcalaensis* se correlacionó con la longitud de lóbulos del estigma ( $r=0.54$ ,  $P<0.0001$ ). La longitud del lóbulo del estigma tuvo como máximo 0.37 cm en Santiago Chazumba y como mínimo 0.17 cm en Tierra Colorada. La longitud de los lóbulos en *N. multiareolata* se asoció significativamente con el diámetro del lóbulo del estigma ( $r=0.68$ ,  $P<0.0001$ ). El diámetro de lóbulo del estigma tuvo un promedio de 0.04 cm para todas las poblaciones de *N. mezcalaensis* y de 0.03 cm para las poblaciones de *N. multiareolata* (Cuadro 15).

La longitud de la cámara nectarial presentó valores de la media superior a 0.94 cm en las poblaciones de *N. mezcalaensis* y de 0.69 cm en *N. multiareolata*. Para el diámetro de la cámara nectarial el valor promedio mínimo fue de 0.41 cm en Las Estacas y el máximo de 0.73 cm en la Col. San Martín (Cuadro 15). El diámetro de la cámara nectarial de *N. mezcalaensis* se correlacionó significativamente con el diámetro de ovario ( $r=0.80$ ,  $P<0.0001$ ) y en *N. multiareolata* se asoció con el diámetro de ovario ( $r=0.53$ ,  $P<0.0001$ ).

**Cuadro 15.** Valores de la media  $\pm$  error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de las flores de las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*, ver cuadro 4 y 6 para acrónimos).

Id	LEST (cm)	NLOB	LLOB (cm)	ALOB (cm)	LCM (cm)	ACM (cm)	LOV (cm)	AOV (cm)	GOV (cm)	LESCF (cm)
a	2.84 $\pm$ 0.01	5.00 $\pm$ 0.00	0.22 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.00	1.01 $\pm$ 0.00	0.41 $\pm$ 0.02	0.40 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.00	0.16 $\pm$ 0.01
	<b>(1.00)</b>	(0.00)	<b>(10.40)</b>	(0.00)	<b>(1.06)</b>	(10.43)	<b>(5.35)</b>	<b>(2.61)</b>	(0.00)	<b>(11.15)</b>
b	2.67 $\pm$ 0.01	6.00 $\pm$ 0.09	0.34 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.00	0.99 $\pm$ 0.03	0.73 $\pm$ 0.02	0.35 $\pm$ 0.01	0.40 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.00	0.14 $\pm$ 0.00
	<b>(24.95)</b>	(10.00)	(25.16)	(10.22)	<b>(22.46)</b>	(19.95)	(31.63)	(17.07)	(15.17)	(17.76)
c	2.64 $\pm$ 0.04	6.00 $\pm$ 0.08	0.37 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.00	1.04 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.02	0.38 $\pm$ 0.02	0.36 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.00	0.12 $\pm$ 0.00
	(11.42)	(11.00)	(22.68)	(10.63)	(14.18)	<b>(21.37)</b>	<b>(40.27)</b>	<b>(28.29)</b>	(24.20)	(20.06)
d	2.83 $\pm$ 0.04	6.00 $\pm$ 0.06	0.35 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.00	1.13 $\pm$ 0.01	0.56 $\pm$ 0.01	0.46 $\pm$ 0.01	0.33 $\pm$ 0.01	0.07 $\pm$ 0.00	0.14 $\pm$ 0.00
	(16.02)	(10.80)	<b>(26.44)</b>	(11.95)	(14.82)	(20.93)	(27.07)	(20.83)	(19.18)	(17.24)
e	3.13 $\pm$ 0.02	5.00 $\pm$ 0.04	0.29 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.00	1.23 $\pm$ 0.01	0.65 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.00	0.10 $\pm$ 0.00
	(7.17)	(7.32)	(15.91)	(9.16)	(9.81)	<b>(10.19)</b>	(21.01)	(11.86)	(9.34)	(21.96)
f	3.09 $\pm$ 0.02	5.00 $\pm$ 0.03	0.28 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.00	1.22 $\pm$ 0.01	0.63 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.01	0.33 $\pm$ 0.00	0.08 $\pm$ 0.00	0.10 $\pm$ 0.00
	(11.86)	(9.73)	(17.92)	(7.83)	(13.30)	(16.19)	(29.60)	(15.71)	(13.58)	(21.15)
g	3.09 $\pm$ 0.02	5.00 $\pm$ 0.04	0.29 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.00	1.15 $\pm$ 0.01	0.63 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.00	0.09 $\pm$ 0.00	0.10 $\pm$ 0.00
	(10.33)	(10.97)	(19.55)	(13.49)	(12.15)	(14.08)	(23.64)	(14.61)	(13.31)	<b>(30.40)</b>
h	2.81 $\pm$ 0.02	5.00 $\pm$ 0.02	0.30 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.00	0.94 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.01	0.37 $\pm$ 0.01	0.31 $\pm$ 0.00	0.09 $\pm$ 0.00	0.12 $\pm$ 0.00
	(12.03)	(6.66)	(19.16)	(9.21)	(15.62)	(18.40)	(24.55)	(18.35)	(13.11)	(18.52)
i	1.90 $\pm$ 0.03	6.00 $\pm$ 0.05	0.17 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.00	0.69 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.01	0.34 $\pm$ 0.01	0.32 $\pm$ 0.00	0.07 $\pm$ 0.00	-
	(17.75)	(9.94)	<b>(30.15)</b>	(19.95)	(17.89)	(15.87)	(22.51)	(17.57)	(15.37)	-
j	1.82 $\pm$ 0.03	6.00 $\pm$ 0.06	0.22 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.00	0.69 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.01	0.32 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.00	0.07 $\pm$ 0.00	-
	(17.84)	(11.88)	(24.27)	(16.30)	(20.67)	(20.13)	(24.05)	(17.67)	(15.74)	-



El grosor de la pared del ovario presentó un comportamiento similar con los valores promedios máximos y mínimos en *N. mezcalaensis*. El diámetro de ovario en *N. mezcalaensis* se asoció con el grosor de su pared ( $r=0.66$ ,  $P<0.0001$ ). Para la longitud de la escama en la flor se registró un promedio máximo de 0.16 cm en Las Estacas y 0.10 cm como longitud promedio mínima en tres poblaciones de *N. mezcalaensis* (Cuadro 15). *Neobuxbaumia multiareolata* no desarrolla escamas cartáceas.

En las poblaciones de *N. mezcalaensis* los CV fueron del doble o menores para la mayoría de los caracteres de la flor. Destacan la longitud y diámetro de la flor, longitud del tubo, número de lóbulos del estigma y diámetro de lóbulo del estigma que tuvieron los CV más bajos entre poblaciones. Mientras que los caracteres con los CV superiores a 20 fueron longitud del ovario y longitud del filamento externo (Cuadro 14 y 15).

Las poblaciones con los valores de coeficiente de variación más altos y en mayor número fueron Santiago Chazumba, Atenango del Río y Col. San Martín.

### **5.2.3 Fruto**

La variación en la media de la longitud del fruto para las poblaciones de *N. mezcalaensis* fue de 2.52 cm en Casa Verde y de 3.34 cm en Atenango del Río. Mientras en las poblaciones de *N. multiareolata* se registraron valores inferiores a 2.47 cm (Cuadro 16). La longitud del fruto en *N. mezcalaensis* se correlacionó significativamente con el diámetro del fruto ( $r=0.72$ ,  $P<0.0001$ ), con el volumen de fruto ( $r=0.76$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del tubérculo ( $r=0.67$ ,  $P<0.0001$ ), con el diámetro del tubérculo ( $r=0.60$ ,  $P<0.0001$ ) y con el

número de aréolas ( $r=0.54$ ,  $P<0.0001$ ). En *N. multiareolata* se asoció la longitud del fruto con la relación longitud/diámetro del fruto ( $r=0.66$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del tubérculo ( $r=0.63$ ,  $P<0.0001$ ) y con el número de semillas ( $r=0.67$ ,  $P<0.0001$ ). Se aprecia una ligera tendencia en el diámetro de los frutos a ser angostos hacia el occidente y más anchos hacia el oriente de la distribución de *N. mezcalaensis*. En la población de Santiago Chazumba se registraron los frutos con una media máxima de 2.55 cm de diámetro. La población de Casa Verde mostró los frutos con una media de 1.52 cm de diámetro (Cuadro 16).

El diámetro de fruto en *N. mezcalaensis* se asoció significativamente con la relación longitud/diámetro del fruto ( $r=0.84$ ,  $P<0.0001$ ), con el volumen de fruto ( $r=0.88$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud de la espina del fruto ( $r=0.63$ ,  $P<0.0001$ ), con la longitud del tubérculo ( $r=0.57$ ,  $P<0.0001$ ), con el diámetro del tubérculo ( $r=0.72$ ,  $P<0.0001$ ) y con la longitud de semilla ( $r=0.54$ ,  $P<0.0001$ ). En *N. multiareolata* se asoció con el volumen de fruto ( $r=0.76$ ,  $P<0.0001$ ) y con el número de semillas ( $r=0.68$ ,  $P<0.0001$ ).

La relación longitud/diámetro de fruto mostró un promedio máximo para las poblaciones occidentales de *N. mezcalaensis* como son Zumpango del Río y Xochipala con 1.72 y 1.71 presentando un fruto de forma ovalada, mientras que la población más oriental Col. San Martín fue el más bajo con 1.18. Las poblaciones de *N. multiareolata* con valores promedio de 1.03 y 1.10 presentaron un fruto de forma casi circular (Figura 4). La relación longitud / diámetro de fruto en *N. mezcalaensis* se correlacionó con el volumen de fruto ( $r=0.64$ ,  $P<0.0001$ ), con el diámetro del tubérculo ( $r=0.56$ ,  $P<0.0001$ ) y con la longitud de semilla ( $r=0.53$ ,  $P<0.0001$ ).

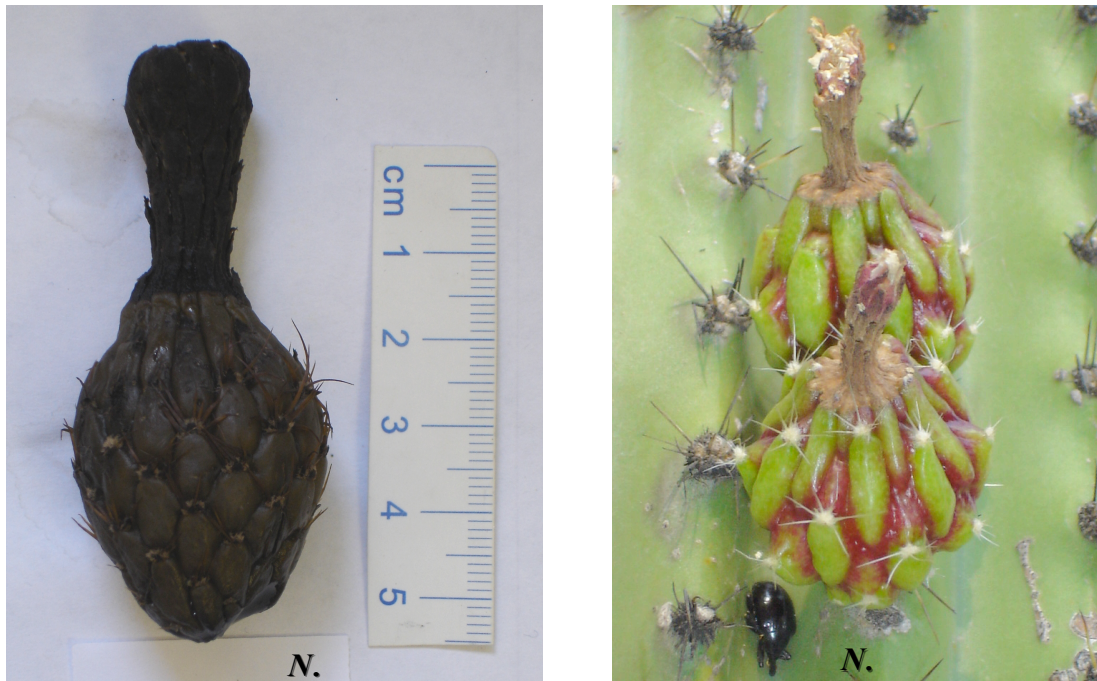


Para el volumen de fruto se obtuvo una media máxima de 11.22 ml en Atenango del Río y de 6.19 ml como la media mínima en Zumpango del Río. Se percibe una ligera tendencia a disminuir el volumen de oriente a occidente. Los promedios de las poblaciones de *N. multiareolata* quedaron incluidas dentro de la variación de *N. mezcalaensis* (Cuadro 16). El volumen se asoció significativamente con la longitud del tubérculo ( $r=0.59$ ,  $P<0.0001$ ) y con el diámetro de tubérculo ( $r=0.63$ ,  $P<0.0001$ ). En *N. multiareolata* se asoció con el número de semillas ( $r=0.64$ ,  $P<0.0001$ ).

Para el largo de espina de fruto se encontró que la media mínima fue de 0.42 cm en Zumango del Río y Xochipala y de 0.87 cm como máxima en Santiago Chazumba.

La longitud de espina del fruto en *N. mezcalaensis* se asoció con el diámetro del tubérculo ( $r=0.55$ ,  $P<0.0001$ ). En la longitud de tubérculo los valores de la media fueron inferiores a 1.09 cm en las poblaciones de *N. mezcalaensis* y de 1.19 cm para las poblaciones de *N. multiareolata* (Cuadro 16). Se correlacionó la longitud del tubérculo significativamente con el diámetro del tubérculo ( $r=0.50$ ,  $P<0.0001$ ) en *N. mezcalaensis* y en *N. multiareolata* ( $r=0.61$ ,  $P<0.0001$ ).

Para el diámetro del tubérculo de fruto los valores de la media se yuxtaponen entre las poblaciones de ambas especies, aunque el valor mínimo de 0.23 cm lo presentaron Zumpango del Río y Xochipala y los frutos de la población La Venta tuvieron una media de 0.48 cm para el diámetro del tubérculo. El diámetro del tubérculo se asoció significativamente con el número de semillas ( $r=0.62$ ,  $P<0.0001$ ) en *N. multiareolata*.



**Figura 4.** Frutos de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*.

El número de aréolas por fruto presentó una moda mínima de 36 en Casa Verde y de 45 en Santiago Chazumba. En cambio en estas poblaciones la moda en *N. multiareolata* fue de 18 y 25 respectivamente (Cuadro 16).

Finalmente, para el número de semillas por fruto la moda más baja fue de 136 en Mezcala y Xochipala, y de 259 la más alta en San Martín. Los valores de la moda para las poblaciones de *N. multiareolata* se encontraron dentro de la amplitud de *N. mezcalaensis*. (Cuadro 16).

Los CV de los caracteres de fruto entre las poblaciones de *N. mezcalaensis* presentaron valores menores a 10 para longitud y diámetro de fruto en Col. San Martín y Zupango del Río; mientras que los valores del CV más altos fueron para el volumen del fruto, la longitud de la espina y el número de semillas por fruto en todas las poblaciones (Cuadro 16). Además, para todas las variables evaluadas del fruto, Casa Verde presentó los CV más altos (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Valores de la media  $\pm$  error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de los frutos de las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. ver cuadro 4 y 7 paraacrónimos).

<b>Id</b>	<b>LFR</b> (cm)	<b>AFR</b> (cm)	<b>RLAF</b> (cm)	<b>VFR</b> (ml)	<b>LESP</b> (cm)	<b>LTUBE</b> (cm)	<b>ATUBE</b> (cm)	<b>NARE</b>	<b>NSEM</b>
<b>a</b>	2.86 $\pm$ 0.06 (11.62)	1.85 $\pm$ 0.05 (15.38)	1.56 $\pm$ 0.03 (10.76)	6.97 $\pm$ 0.24 (20.71)	0.51 $\pm$ 0.02 <b>(28.71)</b>	0.87 $\pm$ 0.02 <b>(13.38)</b>	0.34 $\pm$ 0.01 (12.57)	44 $\pm$ 0.96 (13.23)	152 $\pm$ 4.10 (27.00)
	2.98 $\pm$ 0.04 (9.42)	2.55 $\pm$ 0.03 <b>(9.55)</b>	1.18 $\pm$ 0.02 (11.12)	10.62 $\pm$ 0.28 <b>(20.60)</b>	0.87 $\pm$ 0.01 <b>(12.14)</b>	1.07 $\pm$ 0.03 (19.82)	0.46 $\pm$ 0.01 (12.89)	45 $\pm$ 1.13 (19.48)	259 $\pm$ 14.11 <b>(40.69)</b>
<b>c</b>	2.81 $\pm$ 0.05 (14.48)	2.32 $\pm$ 0.04 (12.41)	1.22 $\pm$ 0.02 (11.43)	9.05 $\pm$ 0.37 <b>(30.63)</b>	0.76 $\pm$ 0.02 (20.06)	0.83 $\pm$ 0.02 (18.03)	0.46 $\pm$ 0.01 (12.56)	39 $\pm$ 0.85 (16.21)	196 $\pm$ 6.10 (31.00)
	3.34 $\pm$ 0.05 (11.43)	2.52 $\pm$ 0.04 (12.38)	1.34 $\pm$ 0.02 (12.23)	11.22 $\pm$ 0.39 (24.31)	0.50 $\pm$ 0.01 (20.39)	1.09 $\pm$ 0.02 (14.39)	0.45 $\pm$ 0.01 (15.65)	44 $\pm$ 1.39 <b>(19.92)</b>	156 $\pm$ 6.00 (38.00)
<b>e</b>	2.55 $\pm$ 0.03 (14.34)	1.57 $\pm$ 0.01 (12.04)	1.63 $\pm$ 0.00 <b>(9.90)</b>	6.39 $\pm$ 0.17 (27.00)	0.47 $\pm$ 0.01 (23.31)	0.80 $\pm$ 0.01 (18.06)	0.24 $\pm$ 0.00 (14.58)	39 $\pm$ 0.05 (13.97)	136 $\pm$ 3.40 (25.00)
	2.52 $\pm$ 0.07 <b>(21.04)</b>	1.52 $\pm$ 0.04 <b>(17.09)</b>	1.66 $\pm$ 0.03 (13.89)	6.33 $\pm$ 0.25 (28.36)	0.49 $\pm$ 0.02 (25.72)	0.80 $\pm$ 0.02 (20.85)	0.25 $\pm$ 0.01 <b>(21.02)</b>	36 $\pm$ 0.77 (15.37)	213 $\pm$ 3.90 <b>(18.00)</b>
<b>g</b>	2.62 $\pm$ 0.04 (11.47)	1.55 $\pm$ 0.03 (13.30)	1.71 $\pm$ 0.03 <b>(13.39)</b>	6.53 $\pm$ 0.21 (22.99)	0.42 $\pm$ 0.01 (20.76)	0.80 $\pm$ 0.02 (17.41)	0.23 $\pm$ 0.01 (15.54)	42 $\pm$ 0.85 (14.22)	136 $\pm$ 3.40 (25.00)
	2.62 $\pm$ 0.01 <b>(6.49)</b>	1.54 $\pm$ 0.01 (9.65)	1.72 $\pm$ 0.00 (10.44)	6.19 $\pm$ 0.14 (23.07)	0.42 $\pm$ 0.00 (16.28)	0.84 $\pm$ 0.01 <b>(21.06)</b>	0.23 $\pm$ 0.00 <b>(9.42)</b>	42 $\pm$ 0.04 <b>(11.11)</b>	172 $\pm$ 6.00 (35.00)
<b>i</b>	2.19 $\pm$ 0.04 (12.26)	2.15 $\pm$ 0.03 (11.95)	1.03 $\pm$ 0.02 (12.30)	6.37 $\pm$ 0.34 <b>(40.89)</b>	0.56 $\pm$ 0.01 (19.42)	1.19 $\pm$ 0.02 (13.69)	0.41 $\pm$ 0.01 (14.02)	18 $\pm$ 0.45 (18.23)	164 $\pm$ 6.11 (27.90)
	2.47 $\pm$ 0.07 (12.30)	2.26 $\pm$ 0.06 (11.14)	1.10 $\pm$ 0.03 (10.81)	7.85 $\pm$ 0.33 (19.06)	0.48 $\pm$ 0.02 (14.21)	1.19 $\pm$ 0.04 <b>(13.35)</b>	0.48 $\pm$ 0.01 (11.59)	25 $\pm$ 0.51 (9.11)	207 $\pm$ 4.70 (21.59)

#### 5.2.4 Semilla

En *N. mezcalaensis* la longitud de la semilla tuvo una media mínima de 3.65 mm en Xochipala y un máximo de 4.53 mm en Santiago Chazumba. El largo de semilla *N. mezcalaensis* se correlacionó con el ancho de semilla ( $r=0.63$ ,  $P<0.0001$ ) y con el área de semilla ( $r=0.81$ ,  $P<0.0001$ ). En *N. multiareolata* también se asoció positivamente con ambas variables (ancho de semilla:  $r=0.92$ ,  $P<0.0001$  y área de semilla:  $r=0.96$ ,  $P<0.0001$ ). El ancho de semilla, presentó una media mínima de 2.71 mm en Las Estacas y una media máxima de 3.10 mm en Atenango del Río. Se correlacionó el ancho de la semilla positivamente con su área en *N. mezcalaensis* ( $r=0.90$ ,  $P<0.0001$ ) y en *N. multiareolata* ( $r=0.98$ ,  $P<0.0001$ ). La relación largo/ancho de semilla registró un valor máximo de 1.57 en Atenango del Río y un valor mínimo de 1.31 en Xochipala, valores que permiten clasificarlas como de forma ovalada y ovoide, respectivamente (Figura 5). El área de semilla en Zumpango del Río y Xochipala fue de 7.69 mm<sup>2</sup> y Atenango del Río fue de 9.79 mm<sup>2</sup>. Para las cuatro variables evaluadas de la semilla, los valores de la media más bajos fueron para *N. multiareolata* (Cuadro 17).

Los CV de los caracteres de semilla entre las poblaciones de *N. mezcalaensis* tuvieron valores menores a 20 en todos los casos. La variable área de la semilla presentó los CV más altos (Cuadro 17). La población con los coeficientes de variación más bajos fue Zumpango del Río y los más altos los presentó Santiago Chazumba.

**Cuadro 17.** Valores de la media  $\pm$  error estándar y del coeficiente de variación (CV) (para los caracteres morfológicos de las semillas de las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. ver cuadro 4 y 7 para acrónimos).

	<b>LSEM (mm)</b>	<b>ASEM (mm)</b>	<b>RLAS</b>	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	
<b><i>N. mezcalaensis</i></b>	<b>a</b>	3.62 $\pm$ 0.03 (6.16)	2.71 $\pm$ 0.03 (7.82)	1.35 $\pm$ 0.01 (8.72)	7.24 $\pm$ 0.10 (11.90)
	<b>b</b>	3.93 $\pm$ 0.02 (10.09)	2.97 $\pm$ 0.01 <b>(10.91)</b>	1.33 $\pm$ 0.00 (7.44)	8.72 $\pm$ 0.06 <b>(17.25)</b>
	<b>c</b>	4.53 $\pm$ 0.02 <b>(10.51)</b>	2.92 $\pm$ 0.01 (10.25)	1.57 $\pm$ 0.01 <b>(13.42)</b>	8.94 $\pm$ 0.07 (17.16)
	<b>d</b>	4.09 $\pm$ 0.01 (7.30)	3.10 $\pm$ 0.01 (8.49)	1.32 $\pm$ 0.00 (7.45)	9.79 $\pm$ 0.06 (13.57)
	<b>e</b>	3.72 $\pm$ 0.00 (2.06)	2.80 $\pm$ 0.00 <b>(1.00)</b>	1.33 $\pm$ 0.00 (2.16)	7.77 $\pm$ 0.01 <b>(2.45)</b>
	<b>f</b>	3.78 $\pm$ 0.03 (6.39)	2.78 $\pm$ 0.03 (8.70)	1.37 $\pm$ 0.01 (8.44)	7.73 $\pm$ 0.10 (10.16)
	<b>g</b>	3.65 $\pm$ 0.03 (6.53)	2.80 $\pm$ 0.02 (5.91)	1.31 $\pm$ 0.01 (7.20)	7.69 $\pm$ 0.11 (10.11)
	<b>h</b>	3.70 $\pm$ 0.00 <b>(1.69)</b>	2.79 $\pm$ 0.00 (1.00)	1.33 $\pm$ 0.00 <b>(1.91)</b>	7.86 $\pm$ 0.02 (2.87)
<b><i>N. multiareolata</i></b>	<b>i</b>	3.42 $\pm$ 0.01 (6.72)	2.68 $\pm$ 0.01 (7.49)	1.28 $\pm$ 0.00 (6.89)	6.62 $\pm$ 0.04 (11.96)
	<b>j</b>	3.31 $\pm$ 0.02 (6.26)	2.63 $\pm$ 0.01 (6.11)	1.26 $\pm$ 0.00 (5.11)	6.40 $\pm$ 0.05 (10.19)



**Figura 5.** Semillas maduras de *Neobuxbaumia mezcalaensis* (a) y *N. multiareolata* (b).

## **5.3 Análisis multivariados**

### **5.3.1 Análisis de componentes principales (ACP)**

El análisis de componentes principales mostró que tres componentes explican el 59.83 % de la variación total de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. El primer componente explicó el 34.88 % de la varianza total y las variables que tuvieron mayor peso fueron 16 caracteres con eigenvalor superior a 0.179 (Cuadro 18). El segundo componente explicó el 16.77 % de la varianza residual, en donde ocho caracteres tuvieron eigenvalor superior a 0.214 y cinco de ellos corresponden al fruto. En el tercer componente solo cuatro variables presentaron eigenvalor superior a 0.252, tres de ellos pertenecen a la flor y explicaron el 8.18% de la varianza residual (Cuadro 18).

### **5.3.2 Análisis de componentes global (ACPG)**

Este análisis de componentes principales incluye, a los 28 caracteres morfométricos con mayor carga en el ACP previo además de la latitud, longitud y altitud, nueve parámetros edafológicos y 17 climáticos pertenecientes a las diez poblaciones estudiadas de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*. Los tres componentes explican el 71.06 % de la varianza total (Cuadro 19).

El primer componente explicó el 46.29 % de la varianza total, donde 25 caracteres presentaron los eigenvalores más altos; de ellos diez correspondieron al clima, cuatro al suelo, nueve fueron morfométricos, más la latitud y altitud. El segundo componente explicó el 15.41 % de la varianza residual y los caracteres con mayor carga fueron seis: tres del clima, longitud y dos morfométricos (número de espinas centrales y diámetro del fruto). En el tercer componente sólo cuatro caracteres presentaron la mayor carga: el volumen del fruto, el diámetro del tubérculo, así como la isothermalidad y la

variable precipitación del cuatrimestre más frío que explicaron el 9.36% de la varianza remanente (Cuadro 19).

**Cuadro 18.** Valor característico del análisis de componentes principales de 46 caracteres de las poblaciones de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. (Ver acrónimos en los Cuadros 5, 6 y 7) Los valores mayores se resaltan con negritas.

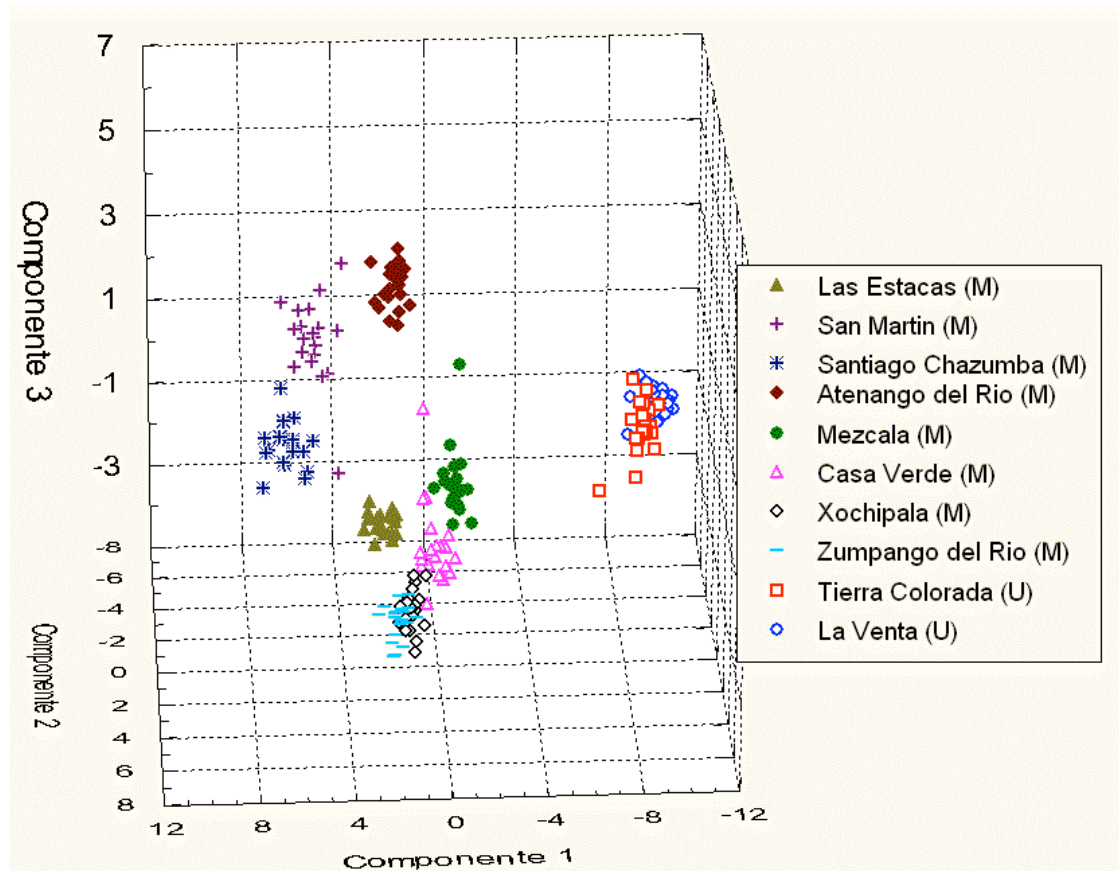
Caracteres	Componentes		
	Prin 1	Prin 2	Prin 3
Variación explicada (%)	<b>34.88</b>	<b>16.77</b>	<b>8.18</b>
Valor característico	<b>16.04</b>	<b>7.71</b>	<b>3.76</b>
<b>TALLO</b>			
ALT	<b>0.197</b>	0.066	0.154
PERI	0.123	0.137	<b>0.252</b>
NCOST	0.132	0.205	-0.027
ACOST	0.079	0.185	0.038
GCOST	<b>0.182</b>	-0.002	-0.207
DCOST	<b>0.192</b>	0.005	0.188
DAREO	0.138	0.028	0.085
LAREO	0.139	<b>0.214</b>	0.128
AAREO	0.123	0.197	0.198
LAAREO	0.127	0.190	0.197
<b>ESPINA</b>			
NESC	0.109	<b>0.266</b>	0.032
LESC	<b>0.216</b>	0.014	-0.127
NESR	0.174	0.157	0.044
LESR	0.065	0.083	-0.158
<b>FLOR</b>			
LFL	<b>0.215</b>	-0.148	0.068
AFL	0.166	0.095	0.048
LPER	<b>0.205</b>	-0.011	0.054
LPOT	0.162	-0.149	0.214
APOT	0.128	0.074	0.162
LTUB	<b>0.197</b>	-0.167	0.083
LPOD	0.037	-0.090	0.116
LFI	0.126	<b>-0.221</b>	0.094
LFE	0.178	0.025	0.076
LEST	<b>0.182</b>	-0.158	0.071
NLOB	0.008	0.168	0.246
LLOB	<b>0.179</b>	0.074	0.157
ALOB	<b>0.188</b>	-0.050	-0.054
LCM	<b>0.184</b>	-0.139	0.143
ACM	0.009	0.087	<b>0.318</b>
LOV	0.108	-0.158	0.208
AOV	0.024	0.089	<b>0.371</b>
GOV	0.073	0.005	<b>0.267</b>
LESCF	<b>0.216</b>	-0.014	-0.127
<b>FRUTO</b>			
LFR	0.133	0.116	0.028
AFR	-0.018	<b>0.303</b>	0.098
RLAF	-0.158	<b>0.225</b>	0.100
VFR	0.061	<b>0.224</b>	0.107
LESP	0.051	<b>0.266</b>	0.021
LTUBE	-0.118	0.159	0.114
ATUBE	-0.040	<b>0.244</b>	0.095
NAREO	<b>0.202</b>	-0.020	-0.046
NSEM	0.004	0.146	0.054
<b>SEMILLA</b>			
LSEM	<b>0.178</b>	0.117	0.052
ASEM	0.139	0.082	0.110
RLAS	<b>0.234</b>	-0.037	-0.074
AREA	<b>0.181</b>	0.078	0.086

**Cuadro 19.** Valor característico del análisis de componentes principales global de las poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*. (Ver acrónimos en Cuadro 5, 6, 7, 8). Los valores mayores se resaltan con negritas.

Caracteres	Prin 1	Prin 2	Prin 3
Variación explicada (%)	<b>46.29</b>	<b>15.41</b>	<b>9.36</b>
Valor característico	26.38	8.78	5.33
<b>CARACTERES MORFOMETRICOS (ACP)</b>			
ALT	<b>0.171</b>	-0.083	-0.127
PERI	0.113	-0.129	-0.063
GCOST	0.144	0.017	-0.080
DCOST	<b>0.150</b>	0.019	-0.045
LAREO	0.119	-0.170	-0.025
NESC	0.103	<b>-0.219</b>	0.058
LESC	<b>0.176</b>	0.056	0.074
LFL	<b>0.149</b>	0.185	0.002
LPER	<b>0.151</b>	0.069	0.128
LTUB	0.134	0.202	-0.039
LFI	0.075	0.204	-0.131
LEST	0.126	0.171	-0.065
LLOB	0.132	-0.032	0.002
ALOB	<b>0.148</b>	0.055	-0.043
LCM	0.121	0.183	0.005
ACM	-0.009	-0.048	-0.056
AOV	0.001	-0.032	-0.019
GOV	0.037	0.024	-0.163
LESCF	<b>0.176</b>	0.056	0.074
AFR	-0.003	<b>-0.226</b>	0.269
RLAF	-0.115	-0.208	0.124
VFR	0.051	-0.126	<b>0.255</b>
LESP	0.056	-0.207	0.111
ATUBE	-0.023	-0.184	<b>0.229</b>
NAREO	<b>0.156</b>	0.078	0.077
LSEM	0.138	-0.088	0.035
RLAS	<b>0.184</b>	0.062	-0.036
AREA	0.134	-0.015	0.099
<b>LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA, SUELO y CLIMA</b>			
LATITUD	<b>0.160</b>	0.021	0.137
LONGITUD	-0.112	<b>0.230</b>	-0.099
ALTITUD	<b>0.171</b>	-0.083	-0.127
pH	<b>0.181</b>	0.085	-0.026
C.E.	<b>-0.167</b>	0.089	0.011
M.O.	<b>-0.173</b>	-0.065	-0.080
N	-0.015	-0.118	-0.183
P	<b>-0.159</b>	-0.145	-0.074
K	-0.086	0.032	0.056
ARENA	-0.079	-0.032	0.025
LIMO	-0.010	0.020	<b>-0.192</b>
ARCILLA	0.144	0.109	0.036
TPA	-0.134	0.197	0.149
ODT	<b>0.147</b>	0.018	0.252
ISO	-0.136	-0.122	<b>-0.209</b>
ET	<b>0.178</b>	0.063	0.133
TMMPC	-0.064	<b>0.221</b>	0.278
TMPPF	<b>-0.163</b>	0.159	-0.010
OAT	<b>0.150</b>	0.050	0.253
TPCLL	-0.132	0.181	0.180
TPCS	<b>-0.145</b>	0.195	0.053
TPC	-0.107	<b>0.221</b>	0.198
TPF	<b>-0.152</b>	0.177	0.098
PA	<b>-0.180</b>	0.031	0.052
PPLL	<b>-0.179</b>	-0.051	0.061
EP	<b>-0.176</b>	-0.002	0.109
PCLL	<b>-0.176</b>	0.060	0.048
PCC	-0.109	<b>-0.222</b>	0.058
PCF	-0.025	0.155	<b>-0.347</b>



En la figura 6 se aprecian la distribución espacial de los individuos de las poblaciones muestreadas para los tres componentes. El componente 1 separaron a los individuos de las poblaciones de ambas especies; a la derecha aparece los individuos de las poblaciones de *N. multiareolata* y hacia la izquierda se ubican las poblaciones de *N. mezcalaensis*.



**Figura 6.** Representación gráfica de los componentes 1, 2 y 3 que explican el 71.06% de la varianza de *Neobuxbaumia mezcalaensis* (M) y *N. multiareolata* (U).

Las poblaciones de *N. multiareolata* se encontraron en una latitud inferior a los 17° 10', altitud menor a los 450 m s.n.m., ubicadas en suelos con pH menor a 6.8, un valor de conductividad eléctrica mayor a 0.32, mayor contenido de materia orgánica de 31.1 % y de fósforo con 32 ppm. Los sitios donde se localizó *N. multiareolata* presentaron además: oscilación diaria de temperatura <13.5 °C, estacionalidad de la temperatura <0.30 %, temperatura mínima del periodo más frío >17.5 °C, temperatura del cuatrimestre más seco >27.5 °C,

precipitación anual >1 218 mm, precipitación del periodo más lluvioso >75 mm, estacionalidad de la precipitación >116 % y precipitación del cuatrimestre más lluvioso >784 mm, e incluyeron individuos que presentaron los valores más bajos para los siguientes caracteres: alturas (3.74 - 3.78 m), distancia entre costillas (2.22 - 2.28 cm), número (1) y longitud de espinas centrales (1.22 – 1.62 cm), longitud de flor (2.97 - 2.99 cm), longitud de pericarpelo (0.96 – 0.99 cm), diámetro del lóbulo del estigma (0.03 cm), diámetro del fruto (2.14 – 2.47 cm), número de aréolas (18 – 25) y relación longitud/ancho de semilla (1.26 - 1.28), que los presentes en los individuos y poblaciones de *N. mezcalaensis*.

Los individuos de *N. mezcalaensis* que tuvieron los valores más informativos en el componente 1 corresponden a la población Mezcala en el Cañón del Zopilote, localizada en una latitud inferior a 18°, longitud superior a 99°, altitud inferior a los 1 000 m s.n.m., presenta suelos con pH <7.9, conductividad eléctrica >0.31, materia orgánica <7.1 % y fósforo <5 ppm, temperatura máxima promedio del periodo más cálido >39.9 °C, temperatura mínimas promedio del periodo más frío >16.6 °C, temperatura promedio del cuatrimestre más cálido >30.9 °C, precipitación anual >799 mm, precipitación del periodo más lluvioso >43 mm, estacionalidad de la precipitación >105 %, precipitación del cuatrimestre más lluvioso >490 mm y precipitación del cuatrimestre más cálido <144 mm, e incluye individuos que presentan: mayor altura de 4.85 m, menor distancia entre costillas 3.51 cm, menor número de espinas centrales 1, menor longitud de la espina central 1.47 cm, mayor longitud de flor 4.74 cm, menor longitud del pericarpelo 1.38 cm, menor longitud de la escama de la flor 0.10 cm, menor diámetro de fruto 1.57 cm y mayor relación largo/ancho de semilla 2.80 mm que los individuos de la población de Santiago Chazumba, Valle de Tehuacán-Cuicatlán distribuida en

latitudes mayores a los 18°, longitudes inferiores a los 97°, altitudes superiores a los 1 000 m s.n.m. y el suelo presento pH >8.0, conductividad eléctrica <0.17, materia orgánica <7.9 %, fósforo > 9ppm, temperatura del máximo promedio del periodo más cálido <30.9 °C , temperatura mínima promedio del periodo más frío <8.1 °C, temperatura del cuatrimestre más seco <17.1 °C, temperatura del cuatrimestre más frío <17.1 °C, temperatura promedio del cuatrimestre más cálido <21.9 °C , precipitación anual <559 mm, precipitación del periodo más lluvioso 37 mm, estacionalidad de la precipitación <100 %, precipitación del cuatrimestre más lluvioso <295 mm, precipitación del cuatrimestre más cálido >238 mm, con individuos que presentaron: menor altura 4.84 m, mayor distancias entre costillas 4.24 cm, mayor longitud de espina central 2.71 cm, mayor número de espinas centrales 3, menor longitud de flor 4.00 cm, mayor longitud del pericarpelo 1.40 cm, mayor longitud de la escama de la flor 0.12 cm, mayor relación largo/ancho de semilla 1.57.

### **5.3.3 Análisis de varianza**

El análisis de varianza anidado reveló que el mayor porcentaje de variación en los caracteres morfométricos obtenidos del ACP global se explica a nivel de especie con un 83.33 %. Los caracteres que contribuyeron a la variación a nivel de especie fueron: la distancia ente costillas, número de espinas centrales, largo de espina central, longitud de flor, longitud de pericarpelo, diámetro de lóbulo, diámetro de fruto, volumen de fruto, diámetro de tubérculo, número de aréolas y relación largo/ancho de semilla (Cuadro 20). Estos diez caracteres contribuyeron a explicar la variación entre *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*.

El carácter que contribuyó a la variación a nivel de población fue el ancho del tubérculo del fruto y a nivel de individuo fue la altura del individuo (Cuadro 20).

**Cuadro 20.** Componentes de varianza (%) para los caracteres vegetativos para *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*. (Ver acrónimos en el Cuadro 5).

	VAR (S) (%)	VAR (L) (%)	VAR (I)(%)
<b>ALT</b>	21.28	0.00	<b>78.72</b>
<b>DCOST</b>	<b>82.94</b>	0.00	17.06
<b>NESC</b>	<b>99.13</b>	0.00	0.87
<b>LESC</b>	<b>69.35</b>	4.06	26.59
<b>LFL</b>	<b>88.13</b>	3.83	8.04
<b>LPER</b>	<b>78.45</b>	7.10	14.44
<b>ALOB</b>	<b>76.80</b>	9.73	13.47
<b>AFR</b>	<b>58.24</b>	1.12	40.64
<b>VFR</b>	<b>55.75</b>	10.94	33.31
<b>ATUBE</b>	0.00	<b>55.31</b>	44.69
<b>NARE</b>	<b>85.58</b>	6.31	8.11
<b>RLAS</b>	<b>99.39</b>	0.00	0.61

VAR (S) = Varianza entre especies; VAR (L)= Varianza entre población; VAR (I)= Varianza entre individuos.

### 5.3.4 Análisis canónico discriminante (CANDISC) entre especies por población

Las tres primeras funciones canónicas explicaron el 100 % de la variación total, siendo un total de 14 variables las que presentaron la mayor contribución relativa (Cuadro 21). Además, estos 14 caracteres contribuyeron significativamente a la separación de las cuatro especies ( $\lambda$  de Wilks' F = 311.81, P < 0.0001, n = 132). La primera función explicó el 63.59 % de la varianza total, la segunda el 24.45 % y la tercera el 11.96 % (Cuadro 21).

**Cuadro 21.** Análisis discriminante entre las poblaciones de las cuatro especies de *Neobuxbaumia* con base en variables morfológicas, ver acrónimos en los Cuadros 5, 6 y 7). Los valores mayores se resaltan con negritas.

Caracteres	Función Canónica		
	1	2	3
Variación explicada (%)	<b>63.59</b>	<b>24.45</b>	<b>11.96</b>
Valor característico	153.26	58.91	28.82
<b>TALLO</b>			
ALT	0.442	0.354	<b>1.681</b>
PERI	0.284	0.289	-0.060
NCOST	<b>0.999</b>	0.241	0.190
ACOST	0.059	0.024	0.140
GCOST	-0.098	0.028	0.138
DCOST	0.309	0.383	0.427
DAREO	-0.146	0.036	0.373
LAREO	<b>-5.307</b>	2.231	0.372
AAREO	-1.348	-0.589	<b>2.737</b>
LAAREO	-0.873	-1.283	<b>-2.534</b>
<b>ESPINA</b>			
NESC	-0.243	-0.271	0.297
LESC	-1.033	<b>-5.704</b>	0.486
NESR	0.110	0.232	0.325
LESR	-0.007	-0.050	0.008
<b>FLOR</b>			
LFL	<b>-1.261</b>	0.877	0.937
AFL	0.199	<b>0.658</b>	-0.246
LPER	0.179	0.107	0.113
LPOT	0.409	<b>0.596</b>	0.235
APOT	0.096	-0.207	0.470
LTUB	<b>0.934</b>	-0.178	0.130
LPOD	0.003	-0.079	-0.204
LFI	0.239	<b>-0.739</b>	-0.442
LFE	0.156	-0.482	-0.308
LEST	<b>-0.523</b>	-0.152	0.001
NLOB	0.054	-0.169	-0.155
LLOB	-0.084	0.060	-0.321
ALOB	-0.028	-0.041	0.445
LCM	-0.067	-0.036	0.613
ACM	-0.021	-0.340	0.035
LOV	0.379	-0.176	-0.271
AOV	0.105	0.080	-0.080
GOV	0.005	-0.237	0.283
LESCF	-0.979	-5.726	0.511
<b>FRUTO</b>			
LFR	0.110	-0.103	0.200
AFR	0.138	<b>0.594</b>	-0.566
RLAF	<b>1.063</b>	-0.096	-0.120
VFR	0.186	-0.294	0.356
LESP	<b>-0.774</b>	-0.287	-0.355
LTUBE	-0.084	0.096	<b>-1.153</b>
ATUBE	0.653	0.231	<b>0.718</b>
NAREO	-0.425	-0.564	0.563
NSEM	0.205	-0.218	-0.650
<b>SEMILLA</b>			
LSEM	2.250	-2.110	<b>-4.148</b>
ASEM	0.921	0.042	-0.880
RLAS	-3.458	2.039	<b>5.149</b>
AREA	-3.042	1.126	<b>3.098</b>

**Cuadro 22.** Porcentaje y (número de individuos) clasificados correctamente por un análisis clasificatorio discriminante, de las especies *Neobuxbaumia mezcalaensis* (M), *N. multiareolata* (U), *N. polylopha* (P) y *N. squamulosa* (S).

	<b>M</b>	<b>U</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Total</b>
<i>N. mezcalaensis</i>	<b>100</b>	0.00	0.00	0.00	<b>(160)</b>
<i>N. multiareolata</i>	0.00	<b>100</b>	0.00	0.00	<b>(40)</b>
<i>N. polylopha</i>	0.00	0.00	<b>100</b>	0.00	<b>(40)</b>
<i>N. squamulosa</i>	0.00	0.00	0.00	<b>100</b>	<b>(20)</b>

La representación gráfica de las dos primeras funciones canónicas permitió verificar la formación de cuatro grupos (Figura 7). La función canónica 1 separó en el lado derecho de la gráfica a los individuos de las poblaciones de *N. polylopha* de los individuos de las tres especies por tener los mayores valores para número de costillas (33), relación longitud/diámetro de aréola (1.43), longitud de flor (4.63 cm) y los más bajos para la longitud (0.26 cm) y diámetro (0.19 cm) de aréola, longitud del tubérculo del fruto (1.54 cm), largo de semilla (2.57 mm), relación largo/ancho de semilla (1.26) y área de semilla (4.01 mm<sup>2</sup>); mientras que la función canónica 2 permitió separar a los individuos de *N. squamulosa* por tener los valores más altos para la longitud de la escama de la flor (0.43 cm).

Los individuos de *N. mezcalaensis* se separaron de *N. multiareolata* por presentar los valores más altos para el longitud (0.46 cm) y diámetro (0.40 cm) de aréola, longitud de espina central (1.70 cm), longitud de la flor (4.30 cm), longitud del tubo floral (3.28 cm), longitud del estilo (2.94 cm), relación longitud/diámetro de fruto (1.43), longitud del tubérculo del fruto (0.92 cm), largo de semilla (4.11 cm), relación largo/ancho de semilla (1.39), área de semilla (8.94 mm<sup>2</sup>) y los más bajos para el número de costillas (16), mientras que los individuos de *N. multiareolata* se separaron de *N. mezcalaensis*, por presentar los valores más altos para el número de costillas (20) y longitud del

tubérculo del tubo (1.19 cm) y los más bajos para el longitud (0.37 cm) y diámetro (0.32 cm) de aréola, longitud de la espina central (1.42 cm), longitud de la flor (2.98 cm), longitud del tubo floral (2.22 cm), longitud del estilo (1.86 cm), relación longitud / diámetro de fruto (1.04 ), largo de semilla (3.39 mm), relación largo / ancho de semilla (1.27) y área de semilla (6.56 mm<sup>2</sup>).

El análisis discriminante clasificatorio mostró que el 100 % de los individuos se clasificaron correctamente en sus respectivas especies (Cuadro 22) y el análisis de comparación de medias de Tukey detectó diferencias significativas para 14 caracteres morfométricos entre algunas especies (Figura 8).

Las distancias cuadradas de Mahalanobis entre los centroides para cada par de especies mostraron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 23).

**Cuadro 23.** Distancias de Mahalanobis entre especies (P<0.001).

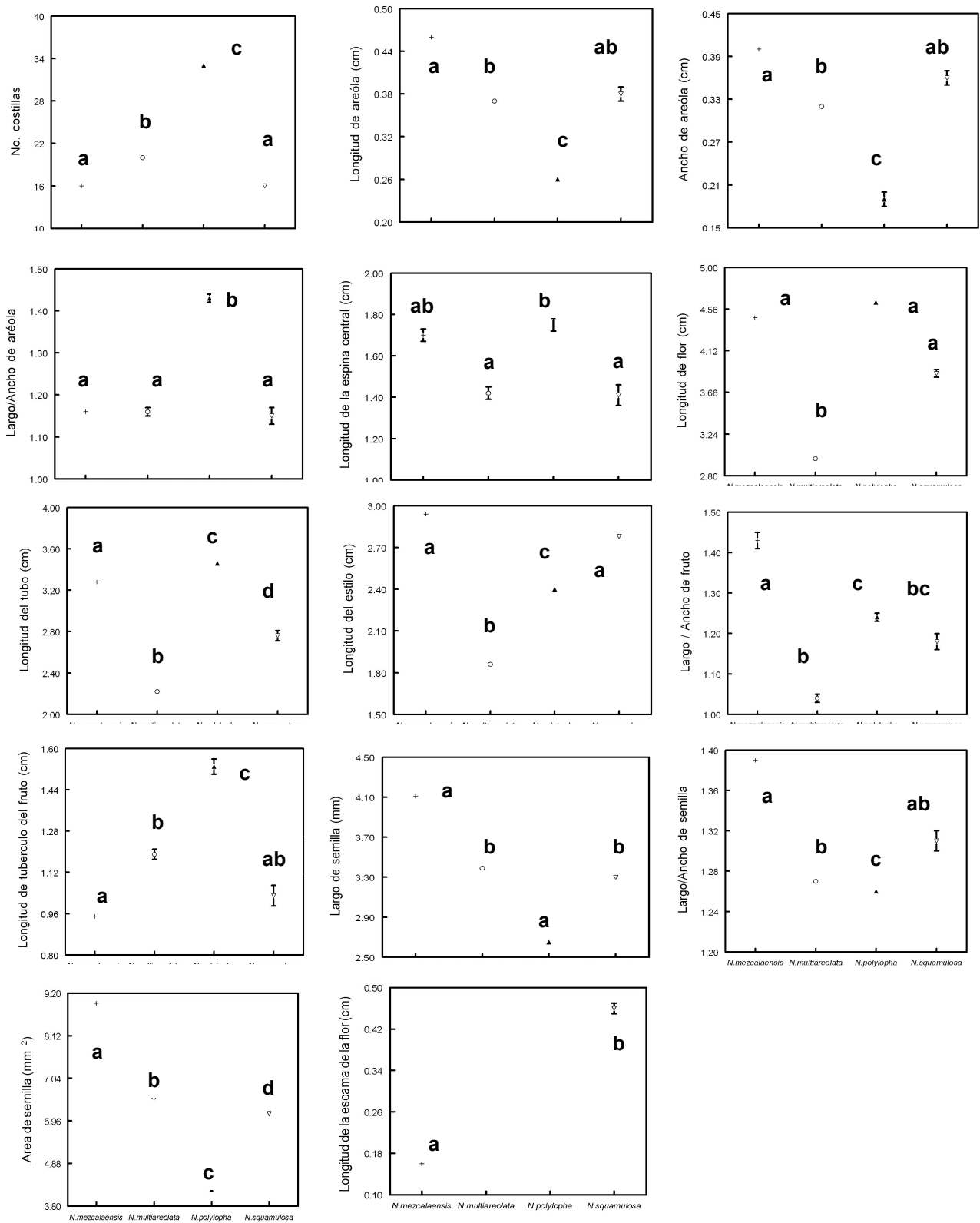
Taxón	<i>N.</i> <i>mezcalaensis</i>	<i>N.</i> <i>multiareolata</i>	<i>N.</i> <i>polylopha</i>	<i>N.</i> <i>squamulosa</i>
<i>N. mezcalaensis</i>	--			
<i>N. multiareolata</i>	177.45	--		
<i>N. polylopha</i>	700.52	328.05	--	--
<i>N. squamulosa</i>	334.63	265.06	313.10	--

**Figura 7.** Representación grafica de las dos funciones canónicas 1 y 2 a partir de una análisis discriminante canónico por población de de *N. mezcalaensis* (M), *N. multiareolata* (U), *N. polylopha* (P) y *N. squamulosa* (S).

### **5.3.5 Análisis de varianza entre especies**

El análisis de varianza que se practico para detectar diferencias significativas entre especies para 14 caracteres morfométricos reconocidos por el CANDISC mostró que todos los caracteres presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) (Figura 8).





**Figuras 8.** Valores de la media y un error estándar para 14 caracteres morfométricos de las cuatro especies de *Neobuxbaumia*. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1 Variación de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata*

Las ocho poblaciones de *N. mezcalaensis* forman parte de un continuo de variación, desde la población Mezcala en el Cañón del Zopilote extendiéndose hasta la población de Santiago Chazumba en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Los individuos de *N. multiareolata* se segregan de los individuos de *N. mezcalaensis*.

Se interpreta una variación clinal para las poblaciones de *N. mezcalaensis*, debido a que se incrementa la altura de los individuos, distancia entre costillas, número de espinas centrales, longitud de la espina central, longitud del pericarpelo, longitud de la escama de la flor, diámetro del fruto y relación longitud/diámetro de semilla y existe una disminución en la longitud de flor, de la población Mezcala a las poblaciones más al oriente que corresponden a la Col. San Martín y Santiago Chazumba. Este incremento en las variables morfométricas señaladas se correlacionó con un decremento en los parámetros climáticos de las temperaturas máximas promedio del periodo más cálido, mínimas promedio del periodo más frío, del cuatrimestre más seco, promedio del cuatrimestre más cálido y del cuatrimestre más frío; así como de las precipitaciones anual, del periodo más lluvioso, estacionalidad y del cuatrimestre más lluvioso y la conductividad eléctrica. La disminución se relacionó con un incremento de los parámetros edáficos (pH, materia orgánica y fósforo) y precipitación del cuatrimestre más cálido.

Las poblaciones de *N. mezcalaensis* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán prefiere los sitios más elevados, bajas temperaturas, con menor precipitación y con mayor contenido de materia orgánica y fósforo, en comparación con las

poblaciones del Cañón del Zopilote que ocupan sitios con baja altitud, altas temperaturas, con mayor precipitación y un menor contenido de materia orgánica y fósforo.

Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Ruedas *et al.* (2006) para algunos parámetros ambientales de los sitios de *N. mezcalaensis* dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Además estos autores mencionan que *N. mezcalaensis* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán prefiere los sitios más lluviosos, fríos y elevados en comparación con los de *N. tetetzo* y *N. macrocephala* que ocupan sitios con valores intermedios de precipitación, temperatura y altitud. En la mayoría de los sitios de *N. mezcalaensis* presentan suelos con textura arenosa, este tipo de suelos con texturas gruesas también se ha asociado a otras especies de cactáceas columnares (Valiente-Banuet *et al.*, 1995, Silva 1996, Medina, 2000; Ortega, 2001).

Específicamente para dos poblaciones de *Myrtillocactus geometrizans* dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, encontró valores de pH ligeramente básico, la conductividad eléctrica presento valores mayores de 0.14, la materia orgánica, con porcentajes de 1.2 – 1.7, el nitrógeno presento porcentajes de 0.06 – 0.08, el fósforo tuvo valores de 6 – 12, el potasio presento valores de 0.9 – 1.0, la fracción arena fue la predominante y la textura franco-arcilloso-arenoso fue más común (Hernández, 2005).

Los parámetros ambientales que se comparten entre las poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* son el nitrógeno, el potasio, las fracciones arena y limo en el suelo, la temperatura promedio anual, temperatura máxima promedio del periodo más cálido, temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso, temperatura del cuatrimestre más seco, temperatura del cuatrimestre

más cálido, temperatura del cuatrimestre más frío y precipitación del cuatrimestre más frío. Esta diferenciación de los parámetros ambientales se refleja en la segregación espacial de ambas especies, ya que prácticamente nunca se les encuentra en simpatría.

## **6.2 Caracteres morfométricos de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata***

Los resultados de la estadística descriptiva, mostraron que los caracteres morfométricos vegetativos fueron más variables que los reproductivos a nivel poblacional y especie. Esto se debe posiblemente a que el tallo, durante toda su desarrollo, se encuentra sujeto a la variación ambiental mientras que las estructuras reproductivas se exponen poco tiempo al ambiente.

Los caracteres con coeficientes de variación más altos (>20 %) fueron: la altura de individuos, altura de costilla, grosor de costilla, distancia entre costillas, distancia entre aréolas, diámetro de aréola, longitud de espinas centrales, número de espinas radiales y longitud de espina radial. Entre los caracteres reproductivos con coeficientes de variación altos fueron: longitud del filamento externo, longitud del lóbulo del estigma, longitud del ovario, volumen de fruto, longitud de espina y número de semillas por fruto.

Estos resultados muestran que tanto *N. mezcalaensis*, la especie de amplia distribución, como *N. multiareolata*, la especie de distribución restringida, presentaron patrones de variación altos para los caracteres vegetativos. No se apoya la hipótesis de que las plantas con una distribución restringida presentan patrones de variación bajos comparados con las especies de amplia distribución (Kruckerberg y Rabinowitz, 1985).

Esparza (2005) comenta que las poblaciones de *N. mezcalaensis* presenta una alta variabilidad y diferenciación genética en comparación con *N. tetetzo* y *N. macrocephala* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Lo que podría sugerir en cierta medida que *N. multiareolata* puede llegar a presentar mayores niveles de variación en comparación con *N. tetetzo* y *N. macrocephala*.

En los análisis de correlación para los caracteres vegetativos y reproductivos de los individuos de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* presentaron correlaciones alométricas positivas. En particular se encontraron altas correlaciones (>80) del grosor de costilla con la distancia entre costillas, al igual que la longitud de aréola con el diámetro de aréola, longitud de flor con la longitud del tubo, largo de semilla con el área de semilla, ancho de semilla con el área de semilla para ambas especies. Únicamente para *N. mezcalaensis* el diámetro de cámara nectarial se correlacionó con el diámetro de ovario y diámetro de fruto con la relación longitud / diámetro de fruto y para *N. multiareolata* se correlacionó el largo de semilla con el ancho de semilla.

La longitud y diámetro de aréola están relacionados alométricamente con el número de espinas tanto centrales como radiales. Ya que las correlaciones fueron altas para las dimensiones de las aréolas con el número y longitud de las espinas tanto centrales como radiales, se piensa que un mayor tamaño de aréola pueda albergar un mayor número de espinas tanto centrales como radiales.

La descripción de la literatura para las espinas radiales no distingue la posición de las espinas en la aréola. La disposición de las espinas radiales en la aréola no ha sido considerada en otros trabajos de variación y taxonómicos en la familia, debido posiblemente a que sólo puede ser evaluada en el campo

o por ser considerada poco relevante. Moore (1967) menciona brevemente que el arreglo de espinas para las plantas del complejo *Echinocereus enneacanthus-dubius-stramineus* ayuda a identificar a sus respectivas especies combinándolos con otros caracteres. Schmalzen *et al.* (2004) encuentran que cuatro caracteres de espinas de *Coryphantha robustispina* exhiben variación clinal, entre las que destaca la curvatura de la espina central.

En este estudio se describe por vez primera el patrón de las espinas radiales en la aréola para *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*. A pesar de que se registró variación en la frecuencia de las espinas en cada posición, la longitud de las espinas centrales y radiales, también variaron entre poblaciones, se mantuvo consistentemente el patrón de espinas para cada especie por lo que es un carácter con valor diagnóstico.

Se evaluaron por vez primera 13 caracteres morfométricos para *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*. Estos fueron: relación longitud/diámetro de aréolas, longitud del filamento interno y externo, diámetro de lóbulo del estigma, grosor de la pared del ovario, longitud de la escama de la flor, diámetro de fruto, relación longitud/diámetro de fruto, volumen de fruto, número de aréolas, número de semillas, relación largo/ancho de semilla y área de semilla, además del patrón de espinación en ambas especies.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza anidado, el mayor porcentaje de variación en los 12 caracteres morfométricos obtenidos del ACPG, se explica a nivel de especie con un 83.33 %. Diez caracteres contribuyeron a la variación entre *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*, principalmente los caracteres reproductivos (Cuadro 24 y 25).

**Cuadro 24.** Comparación de los resultados obtenidos en trabajos previos para los caracteres morfométricos de *N. mezcalaensis* obtenidos en el análisis de varianza Anidado.

<b>Caracteres</b>	<b>Bravo-Hollis (1978)</b>	<b>Arias et al. (1997)</b>	<b>Este trabajo</b>
Altura de individuo (m)	5 – 8 (10)	5 – 8 (10)	2.10 – 12.00
Distancia entre costillas (cm)	-	-	2.00 – 6.70
No. de espinas centrales	1 – 4	1 – 4	1 – 4
Longitud espina central (cm)	1.80 – 3.50	0.70 – 3.50	0.61 – 6.00
Longitud de flor (cm)	4.10 – 5.50	-	2.50 – 6.06
Longitud del pericarpelo (cm)	-	0.80 – 1.20	0.81 – 1.93
Diámetro de lóbulo (cm)	-	-	0.03 – 0.04
Diámetro de fruto (cm)	-	-	1.20 – 3.55
Volumen de fruto (ml)	-	-	3.00 – 20.00
Diámetro de tubérculo (cm)	-	-	0.20 – 1.86
Número de areolas	-	-	17 – 72
Largo /ancho de semilla	-	-	0.44-0.97

**Cuadro 25.** Comparación de los resultados obtenidos en trabajos previos para los caracteres morfométricos de *N. multiareolata* obtenidos en el análisis de varianza Anidado.

<b>Caracteres</b>	<b>Bravo-Hollis et al. (1972)</b>	<b>Este trabajo</b>
Altura de individuo (m)	7.00 – 12.00	2.00 – 6.70
Distancia entre costillas (cm)	0.60 – 0.70	1.18 – 3.76
No. de espinas centrales	1	1
Longitud espina central (cm)	1.20 – 3.50	0.60 – 2.65
Longitud de flor (cm)	2.50 – 4.50	2.27 – 4.00
Longitud del pericarpelo (cm)	0.80 – 1.00	0.54 – 1.44
Diámetro del lóbulo (cm)	-	0.02 – 0.04
Diámetro del fruto (cm)	-	1.74 – 3.10
Volumen de fruto (ml)	-	1.00 – 14.00
Diámetro del tubérculo (cm)	-	0.30 – 0.60
Número de aréolas	-	11 – 29
Largo /ancho de semilla	-	0.63-0.96

Los resultados de los caracteres morfométricos para *N. mezcalaensis* mostraron una mayor amplitud a lo encontrado por Bravo-Hollis (1978) y Arias *et al.* (1997). Para la altura de los individuos de *N. multiareolata* se obtuvo una amplitud de 2.00 - 6.70 m, lo cual difiere de los valores obtenidos por Bravo-Hollis *et al.* (1972) con 7 -12 m. La distancia entre costillas fue de 1.18 - 3.76 cm, la cual no concuerda con lo mencionado por Bravo-Hollis *et al.* (1972) con 0.60 – 0.70 cm (Cuadro 25).

Los promedios para el número de semillas por fruto en poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* registrados por Loza (2004) quedaron incluidos en la amplitud de 85 a 706 semillas por fruto y 46 a 253 semillas por fruto para su respectiva especie. Esta variación se puede presentar posiblemente por las diversas estrategias de los esfuerzos reproductivos de ambas especies (Harper *et al.*, 1970). Estudios de interacción entre tamaño, forma y número de semilla por fruto en muchas especies han mostrado que el tamaño del ovario y consecuentemente el tamaño del fruto puede restringir el espacio en el cual se desarrollan las semillas (Harper *et al.*, 1970; Casas *et al.*, 1999). Este podría ser el caso de *N. multiareolata*, dado que presento una correlación positiva de la longitud y diámetro del fruto con el número de semillas.

El número de semillas por fruto también puede depender de la edad, tamaño de la planta, número de flores producidas así como de la presencia de especies de aves y murciélagos (Valiente-Banuet *et al.*, 1996 y 1997). Esto se ha demostrado para seis especies de la tribu Pachycereeae (Loza, 2004), *Stenocereus stellatus* (Pérez, 2004), *S. gummosus* (León de la Luz y



Domínguez-Cadena, 1991) y *S. thurberi* (Parker, 1987) o también como una respuesta a la heterogeneidad ambiental (Harper *et al.*, 1970).

El largo de semilla de *N. multiareolata* aquí reportado tiene una amplitud de 2.47 – 3.90 mm, valor superior a lo observado por Bravo-Hollis *et al.* (1972) y Loza-Cornejo (2004) con 3.00 - 3.50 mm. El largo de semilla de *N. mezcalaensis* con una amplitud promedio de 2.49 – 5.67 mm es más grande que lo reportado por Bravo-Hollis (1978) y Arias *et al.* (1997) para poblaciones del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y es similar a lo reportado por Loza-Cornejo (2004) con un largo de semilla ( $4.00 \pm 0.29$  mm), las semillas mostraron valores similares, aunque fueron recolectadas en diferentes poblaciones, lo cual es una indicación de la constancia de esta característica.

De acuerdo a Harper *et al.* (1970), el control genético en el tamaño de la semilla es decisivo y la variación más alta en tamaño de semillas ocurre entre especies, contrastando con la menor variación en tamaño de semillas entre individuos de una misma especie. Esta afirmación apoya los resultados obtenidos en esta investigación (Figura 8).

A nivel interespecifico, la relación largo / ancho de la semilla es un carácter poco variable en ambas especies. Por otra parte, la relación largo / ancho permitió describir la forma de la semilla. Las semillas de *N. mezcalaensis* fueron más largas que anchas con forma ovalada, mientras que las semillas de *N. multiareolata* resultaron ser casi redondas (Figura 5).

Por otra parte, *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* presentan las semillas de mayor longitud del género *Neobuxbaumia* (Bravo-Hollis, 1978; Scheinvar y Sánchez-Mejorada, 1990; Lau, 1994; Arias *et al.*, 1997; Barthlott y Hunt, 2000; Arroyo-Cosultchi *et al.*, en prensa).

### 6.3 Delimitación de las especies de *Neobuxbaumia* estudiadas

Los resultados de los análisis multivariados permitieron discriminar entre *N. mezcalaensis*, *N. multiareolata*, *N. polylopha* y *N. squamulosa*. El 100 % de los individuos se clasificaron correctamente en sus respectivas especies. Ambos resultados evidencian que con base en los caracteres morfométricos no hay entidades intermedias. En otros estudios con cactáceas se han descartado también los niveles infraespecíficos con base en el análisis de los caracteres cuantitativos como fue el caso de *Astrophytum ornatum* (Arias, 1989), *Coryphantha rubustispina* (Schmalzen *et al.*, 2004), *Escobaria guadalupensis* (Baker y Johnson 2000), *Opuntia cantabrigiensis* (Muñoz, 2004) y *Stenocereus dumortieri* (Aguilar, 2004).

Los 14 caracteres morfométricos (número de costillas, longitud y diámetro de aréola, relación longitud/diámetro de aréola, longitud de espina central, longitud de flor, longitud del tubo, longitud del estilo, longitud de la escama de la flor, relación longitud/diámetro de fruto, longitud de tubérculo del fruto, largo de semilla, relación largo / ancho de semilla y área de semilla), con los valores de carga más altos en las tres funciones canónicas permiten discriminar entre las especies estudiadas y pueden considerarse en su conjunto como diagnósticos. Es importante resaltar que el tamaño y forma de la aréola y el tamaño de la espina central permiten separar a *N. mezcalaensis* de *N. multiareolata*, ya que pueden confundirse fácilmente en el campo cuando no existen estructuras reproductivas.

En este trabajo se apoya el reconocimiento de *N. mezcalaensis* y de *N. multiareolata* como entidades válidas como ya habían señalado otros autores (Bravo-Hollis *et al.*, 1972; Bravo-Hollis, 1978; Anderson, 2001; Guzmán *et al.*,

2003). Los rasgos longitud de la flor, longitud del tubo floral, el largo y ancho de las semillas, ya habían sido señalados por Bravo-Hollis *et al.* (1972) como los atributos que distinguen a ambas especies y los análisis también reconocen a estas variables como importantes para apoyar dicha distinción. Cabe destacar que además de estos cuatro rasgos, se incorporaron por primera vez para segregar a estos dos taxones el tamaño de la aréola, el patrón de distribución de las espinas radiales en la aréola, la longitud de la espina central, la longitud del estilo, la longitud de la escama de la flor, la relación longitud / diámetro de fruto (forma del fruto), la longitud del tubérculo del fruto, la relación largo / ancho de semilla (forma de semilla) y el área de semilla. Nuestros resultados no apoyan la propuesta de Dawson (1948) de reconocer tres variedades dentro de *N. mezcalaensis*, ni la de Hunt (2006) de reconocer a *N. mezcalaensis* var. *multiareolata*.

Los individuos de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* difieren en los siguientes 14 caracteres morfométricos: número de costillas, distancia entre costillas, grosor de costilla, distancia entre aréolas, número de espinas radiales, longitud de flor, longitud del pericarpelo, longitud del tubo floral, longitud del estilo, longitud de lóbulo, longitud de cámara nectarial, relación longitud / diámetro de fruto, número de aréolas por fruto y área de semilla, para estos caracteres no se presentó traslapeo entre las poblaciones de *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata* (Cuadro 18). Ambas especies comparten el resto de los caracteres morfométricos, nueve caracteres vegetativos, diez florales, siete de fruto y tres de semilla, ya que presentaron traslapeo entre sus poblaciones.

Las individuos de *N. mezcalaensis* tuvieron los siguientes caracteres diagnósticos: costillas jóvenes triangulares agudas, color de tallo verde limón, tricomas en las areólas, color de flor blanco-verdoso y color blanco-crema de las espinas, mientras que los individuos de *N. multiareolata* presentaron una cantidad de tricomas regular, carente de escamas cartáceas en la flor, los valores más bajos para la longitud de flor, longitud de tubo, longitud del estilo y relación longitud / diámetro de fruto.

Los individuos de *N. polylopha* presentaron nectarios extraflorales, carecen de escamas cartáceas en la flor y de espinas en los frutos, presentan los valores más altos para el número de costillas, la relación longitud / diámetro de aréola, longitud de flor y longitud de tubérculo del fruto, pero los más bajos para la longitud y diámetro de aréola longitud del tubo, largo de semilla, relación largo / ancho de semilla y área de semilla.

Scheinvar y Sánchez-Mejorada (1990) mencionan que *N. squamulosa* presenta individuos ramificados, tallo color verde grisáceo, flores blancas e infundibuliformes y escamas cartáceas. Además de estos rasgos se incorporó la longitud de la escama cartácea de la flor como carácter que la segrega de *N. mezcalaensis*.

## 7. CONCLUSIONES

Existe una variación clinal para los caracteres: altura de individuo, distancia entre costillas, número de espinas centrales, longitud de espinas centrales, de flor, del pericarpelo, de escama en flor, diámetro de lóbulo del estigma, diámetro del fruto, relación longitud/diámetro de fruto, volumen de fruto, longitud de espina en fruto, número de aréolas y relación largo / ancho de semilla en *N. mezcalaensis* con los parámetros geográficos, edáficos y climáticos con los caracteres. Se observó que los caracteres evaluados reflejan un incremento o decremento continuo o un cambio gradual a lo largo del transecto geográfico.

Diez caracteres contribuyeron a explicar la variación entre *N. mezcalaensis* y *N. multiareolata*. Los caracteres fueron: distancia entre costillas, número de espinas centrales, longitud de espina central, de flor, del pericarpelo, diámetro de lóbulo del estigma, diámetro del fruto, volumen de fruto, número de aréolas y relación largo / ancho de semilla. Mientras que la altura de individuos contribuyó a la variación entre individuos y el diámetro de tubérculo del fruto contribuyó a la variación entre poblaciones.

La variación para los caracteres morfométricos vegetativos de las poblaciones de *N. mezcalaensis* fue tan variable como la de *N. multiareolata*. Estos resultados rechazan la propuesta de que existe una mayor variación morfométrica para la especie de amplia distribución. Esto además, comprueba que *N. multiareolata* es igual de variable que *N. mezcalaensis*. Se puede comprobar que existe una mayor variación para los caracteres vegetativos que para los reproductivos, tanto en las poblaciones de la misma especie como entre especies.

Los caracteres morfométricos que ayudan a segregar a *N. multiareolata* de *N. mezcalaensis* fueron: número de costillas, longitud de espina central, de la flor, del tubo, del estilo, relación largo/ancho de fruto, longitud del tubérculo del fruto, largo de semilla, relación largo / ancho de semilla y área de semilla. Se describió por vez primera la disposición de las espinas radiales en la aréola, la cual ayuda en el reconocimiento de *N. multiareolata* como especie válida tal como lo propusieron Bravo-Hollis *et al.* (1972).

Los sitios donde habitan estas especies presentaron 11 parámetros edáficos y climáticos que se compartieron y 15 parámetros que fueron diferentes. Esto explica el porque estas especies presentan distribución alopátrica o están segregadas espacialmente.

El análisis canónico discriminante mostró que 14 caracteres morfométricos son los más importantes para distinguir a *N. mezcalaensis*, *N. multiareolata*, *N. polylopha* y *N. squamulosa*. Los caracteres vegetativos fueron: número de costillas, longitud de aréola, diámetro de aréola, relación longitud / diámetro de aréola y longitud de espina central. Los caracteres reproductivos fueron: longitud de flor, del tubo, del estilo, relación longitud / diámetro de fruto, longitud del tubérculo del fruto, largo de semilla, relación largo / ancho de semilla y área de semilla. Se propone como los caracteres diagnósticos para las cuatro especies a la longitud del tubo floral y el área de semilla.

Con base en los análisis multivariados (ACP, CANDISC y DISCRIM) se confirma que *N. multiareolata* está bien definida e independiente de *N. mezcalaensis* como propuso Bravo-Hollis *et al.* (1972). Por lo que se rechazan las propuestas de Dawson (1948) y Hunt (2006) de reconocerla como variedad.

## 8. LITERATURA CITADA

- Aguilar, M, I. 2004. Variación morfológica de *Stenocereus dumortieri* (Cactaceae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Anderson, E. F. 2001. The Cactus Family. Timber Press, Portland Oregon.
- Arellano, E. y Casas, A. 2003. Morphological variation and domestication of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) under silvicultural management in the Tehuacan Valley, Central México. Genetic Resources and Crop Evolution 50: 439-453.
- Arias, S. 1989. Variación morfológica de *Astrophytum ornatum* (DC.) Web. (Cactaceae) en cuatro poblaciones de las zonas áridas Queretana e Hidalguense. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Arias, S. Gama, S, y Guzmán-Cruz, U. 1997. Cactaceae A.L.Juss. En: Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. 146 pp.
- Arias, S. y Terrazas, T. 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 72: 157-169.
- Arias, S. y Terrazas, T. 2006. Análisis cladístico del género *Pachycereus* (Cactaceae) con caracteres morfológicos. Brittonia 58: 197-216.
- Arias, S., Terrazas T. y Cameron, K. 2003. Phylogenetic análisis of *Pachycereus* (Cactaceae, Pachycereeae) based on chloroplast and nuclear DNA sequences. Systematic Botany 28: 547-557.
- Arroyo-Cosultchi. G., Terrazas T. Arias, S. y López-Mata L. En revisión. La morfología de la semilla en *Neobuxbaumia* (Cactaceae). Boletín de la Sociedad Botánica de México.
- Ávila R., M. G. 2003. Patrón de ramificación, dinámica de la floración-fructificación y distribución de *Stenocereus beneckeii* (Ehrenberg) Buxb. (Cactaceae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ayala-Cordero. G., Terrazas, T. López-Mata, L. y Trejo. C. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. Interciencia 29: 692-697
- Backeberg, C. 1938. Blatter fur Kakteenforschung. Bulletin Cactus Research 8: 21.
- Backeberg, C. 1941. Die Kakteen des Zopilote-Cañons (Geierschlucht) in Guerrero (México). Beiträge zur Sukkulantenkunde und pflge 1: 1-7.

- Baker, M. A. y Johnson, R. A. 2000. Morphometric analysis of *Escobaria sneedii* var. *sneedii*, *E. sneedii* var. *leei*, and *E. guadalupensis* (Cactaceae). *Systematic Botany* 25: 577-587.
- Barthlott, W. y Hunt, D. R. 1993. Cactaceae. 161-197. En: Kubitzki K, (Ed.) *The Families and Genera of Vascular Plants. Vol.II. Flowering Plants, Dicotyledons*. Springer-Verlag. Berlin, Alemania.
- Barthlott, W. y Hunt, D. R. 2000. Seed diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae. *Succulent Plant Research* 5: 1-173.
- Begon, H., Harper, J. L. y Townsed, L. R. 1990. *Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades*. 2nd. Blackwell Scientific.
- Bravo-Hollis, H. 1932. Contribución al conocimiento de las cactáceas del estado de Guerrero. *Cactáceas del Cañon del Zopilote. Anales del Instituto de Biología* 3: 383.
- Bravo-Hollis, H. 1978. *Las cactáceas de México. Vol. 1*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. 1991. *Las cactáceas de México. Vol. 3*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Bravo-Hollis, H., Scheinvar, L. y Sanchez-Mejorada, H. 1972. Estudios Comparativo del género *Neobuxbaumia* Backberg. IV *Neobuxbaumia multiareolata*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 18:59-67.
- Briggs, D. 1969. *Plant variation and evolution*. Mc Graw Hill. New York.
- Busby, J. R. 1986. *Bioclimatic Prediction System (BIOCLIM) User's Manual Version 2.0* Australian Biological Resources Study Leaflet.
- Carmona, A. y Casas, A. 2005. Management phenotypic patterns and domestication of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) in the Tehuacan Valley, Central México. *Journal of Arid Environments* 60: 115-132.
- Casas A., Caballero, J. y Valiente-Banuet, A. 1999. Morphological variation and process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in central Mexico. *American Journal of Botany* 86: 522-533.
- Cavers, P. y Steel, M. 1984. Patterns of change in seed weight over time on individual plants. *American Naturalist* 124: 324-335.
- Chamberland, M. 1997. Systematics of the *Echinocactus polycephalus* complex (Cactaceae). *Systematic Botany* 22: 303-313.
- Colunga-García, M. P., Hernández X., E. y Castillo, A. M. 1984. Variación morfológica, manejo agrícola tradicional y grados de domesticación de *Opuntia* spp. en el Bajío guanajuatense. *Agrociencia* 65: 7-49.



- Cruz, M. y Casas, A. 2002. Morphological variation and reproductive biology of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in Central Mexico. *Journal of Arid Environments* 51: 561-576.
- Dawson, E. Y. 1948. New cacti of southern Mexico. Allan Hancock Foundation Publications Occasional papers 1: 1-69.
- Dawson, E. Y. 1952. Notes on *Neobuxbaumia*. *Cactus and Succulent Journal (U.S.)* 24: 167-173.
- Duncan, T. y Baum, B. R. 1981. Numerical phenetics: its uses in botanical systematics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 12: 387-404.
- Ellison, A. M., Buckley, H. L., Miller, T. E. y Gotelli, N. J. 2004. Morphological variation in *Sarracenia purpurea* (Sarraceniaceae): Geographical, environmental, and taxonomic correlates. *American Journal of Botany* 91: 1930-1935.
- Esparza-Olguín, L. 2004. Qué sabemos de la rareza en especies vegetales? Un enfoque genético-demográfico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 17-32.
- Esparza O. L. 2005. Estudio comparativo de tres especies de cactáceas columnares del género *Neobuxbaumia* que difieren en su nivel de rareza: un enfoque genético-demográfico. Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Etchevers, D. J. 1988. Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México.
- Francisco-Ortega, J., Jackson, J., Santos-Guerra, A. y Ford-Lloyd, B. V. 1993. Morphological variation in the *Chamaecytisus proliferus* (L.f.) Link complex (Fabaceae:Genisteae) in the Canary Islands. *Botanical Journal of the Linnean Society* 112: 187-202.
- Felger, R. W. y Lowe, C. H. 1967. Clinal variation in the surface-volume relationships of the columnar cactus *Lophocereus schottii* in the northwestern México. *Ecology* 48: 530-536.
- Flores, C. 2004. Quimiotaxonomía del género *Neobuxbaumia*. Tesis Doctoral. FES-Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Gibson, A. C. y Nobel, P. S. 1986. *The Cactus Primer*. Harvard University Press. Cambridge.
- Gil, J., y Cubero, J.I. 1993. Multivariate analysis of the *Vicia sativa* L. aggregate. *Botanical Journal of the Linnean Society* 113: 389-400.
- Godínez A., H. O. 2000. Dispersión biótica de semillas de *Neobuxbaumia tetetzo* (Coulter) Backeberg en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de

- Doctorado. Unidad Académica de los ciclos profesional y del posgrado del C.C.H. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Guzmán C., U., Arias, S. y Dávila, P. D. 2002. Catálogo de cactáceas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Harper, J. 1977. Population biology of plants. Academic Press, New York.
- Harper, J., Novell, P. y Moore, K. 1970. The shapes and sizes of seeds. Annual Review of Ecology and Systematics 1: 327-356.
- Henderson, A. J. 2004. A multivariate analysis of *Hyospathe* (Palmae). American Journal of Botany 91:953-965.
- Hernández D., M. Y. 2005. Madera, estomas y contenido de clorofila en poblaciones de *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo.
- Heslop-Harrison, J. 1964. Forty years of genecology. Advances in Ecological Research 2: 159-247.
- Hornung-Leoni, C. y Sosa, V. 2006. Morphological variation in *Puya* (Bromeliaceae): an allometric study. Plant Systematic and Evolution 256: 35-53.
- Hunt, D. R. 1999. CITES. Cactaceae checklist. 2<sup>nd</sup>. Edition. Royal Botanic Gardens Kew and International Organization for Succulent Plant Study. Remous Limited. Milborne Port.
- Hunt, D. R. 2006. The new Cactus Lexicon. International Cactaceae Systematics Grup. Milborne Port.
- Janzen, D. 1977. Variation in seed size within a crop of a Costa Rica *Mucuna andreana* (Leguminosae). American Journal of Botany 64: 347-349.
- Jones, S. B. Jr. 1988. Sistemática vegetal. 2<sup>a</sup>. ed. Mc Graw Hill. México, D.F.
- Johnson, R. A. y Wichern, D. W. 1982. Applied multivariate statistical analysis. Printice Hall, USA.
- Karron J. D. 1987. A comparison of levels of genetic polymorphism and self-compatibility in geographically restricted and widespread plant congeners. Evolutionary Ecology 1: 47-58.
- Keiper, F. J. y Mc Conchie, R. 2001. Morphological variation among *Sticherus flabellatus* (Gleicheniaceae) populations of the Sydney region. Australian Journal of Botany 49: 89-105.
- Kores, P. J., Molvray, M. y Darwin, S. P. 1993. Morphometric variation in three species of *Cyrtostylis* (Orchidaceae). Systematic Botany 18: 274-282.
- Kruckerberg A. R. y Rabinowitz, D. 1985. Biological aspects of endemism higher plants. Annual Review of Ecology and Systematics 16: 447-479.
- Lau, A. B. 1994. *Neobuxbaumia sanchezmejoradae* Lau. 1994. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 39: 3-7.

- Leht, M. y Paal, J. 1998. Variation of *Potentilla erecta* (Rosaceae) in Estonia. *Annales Botanici Fennici* 35: 11-19.
- León de la Luz, J. L. y Domínguez-Cadena, R. 1991. Evaluación de la reproducción por semilla de la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*) en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 75-87.
- López-Mata L. 1987. Genecological differentiation in provenances of *Brosimum alicastrum*: A tree of moist tropical forests. *Forest Ecology and Management* 21: 197-208.
- Loza C., S. 2004. Características de semillas, germinación y desarrollo de plántulas de seis especies de Pachycereeae (Cactaceae). Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, México.
- Luna-Morales, C. y Aguirre, J. 2001. Variación morfológica del fruto y domesticación de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* en la Mixteca Baja. México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24: 213-221.
- Martínez C., D. 2002. Variación morfométrica de dos especies de encinos rojos: *Quercus sartorii* Liebmann y *Quercus xalapensis* Humboldt & Bonpland (Fagaceae). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Media Cybernetics. 1997. Image Pro Plus, Reference Guide. Version 3.0 for Windows. Silver Spring.
- Medina S. J. 2000. Determinación del vigor y el estado reproductivo de *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) a lo largo de una cronosecuencia edáfica en un abanico aluvial en Coxcatlán, Valle de Tehuacan. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Mizianty, M. 2006. Variability and structure of natural populations of *Hordeum murinum* L. based on morphology. *Plant Systematic and Evolution* 261: 139-150.
- Moore, W. O. 1967. The *Echinocereus enneacanthus-dubius-stramineus* complex (Cactaceae). *Brittonia* 19: 77-94.
- Muñoz U., A. 2004. Variación fenotípica, aislamiento reproductivo y ecofisiología de poblaciones silvestres de especies de *Opuntia* en la porción sur del Desierto Chihuahuense. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Myster, R. W. 2005. Ecotypic differentiation and plant growth in the Luquillo mountains of Puerto Rico. *Journal of Tropical Forest Science* 17: 163-169.
- Niering, W. A., Whittaker, R. H. y Lowe, C. H. 1963. The saguaro: a population in relation to environment. *Science* 142: 15-23.

- Nobel, P. S. y Pimienta-Barrios, E. 1995. Monthly stem elongation for *Stenocereus queretaroensis*: relationships to environmental conditions, net CO<sub>2</sub> uptake and seasonal variations in sugar content. *Environmental and Experimental Botany* 35: 17-24.
- Orozco, C. I. 1991. Análisis multivariados del complejo de tres especies de *Brunilla* (Brunelliaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 79: 970-994.
- Ortega, B. F. P. 2001. Demografía de la cactácea columnar *Escontria chiotilla*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Otieno, D. F., Balkwill, K. y Paton, A. J. 2006. A multivariate analysis of morphological variation in the *Hemizygia bracteosa* complex (Lamiaceae, Ocimeae). *Plant Systematic and Evolution* 261: 19-38.
- Oyama, K. 1994. Differentiation in phenotypic plasticity among populations of *Arabis serrata* Fr.&Sav. (Brassicaceae). *Biological Journal of the Linnean Society* 51: 417-432.
- Parker, K. C. 1987. Site-related demographic patterns of organ pipe cactus populations in southern Arizona. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 114: 149-155.
- Pérez V., A. 2004. Aspectos demográficos de dos poblaciones de *Stenocereus stellatus*, una cactácea endémica del centro de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Pimienta-Barrios, E. 1994. Prickly pear (*Opuntia spp.*) a valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments* 27: 1-11.
- Pimienta-Barrios, E. y Nobel, P. S. 1994. Pitaya (*Stenocereus spp.*, Cactaceae): an ancient and modern fruit crop of México. *Economic Botany* 48: 76-83.
- Pleasants J. M. y Wendel, J. F. 1989. Genetic diversity in a clonal narrow endemic, *Erythronium propullans*, and its widespread progenitor, *Erythronium albidum*. *American Journal of Botany* 76: 1136-1151.
- Ransom, C. V., Kells, J. J., Wax, L. M. y Orfanedes, M. S. 1998. Morphological variation among hemp dogbane (*Apocynum cannabinum*) populations. *Weed Science* 45: 71-75.
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre, R. J. R. y Flores, F. J. 2005. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. *Interciencia* 30: 476-484.
- Rojas-Aréchiga, M. y Vázquez-Yanes, C. 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44: 85-104.

- Romero, A., Luna, M., García, E. y Passini, M. F. 2000. Phenetic analysis of the mexican piyon pine, *Pinus cembroides* and *Pinus johannis*. Botanical Journal of the Linnean Society 133: 181-194.
- Ruedas, M., Valverde, T. y Zavala-Hurtado, J. A. 2006. Analysis of the factors that affect the distribution and abundance of three *Neobuxbaumia* species (Cactaceae) that differ in their degree of rarity. Acta Oecologica 29: 155-164.
- Sakai, S. y Sakai, A. 1995. Flower-dependent variation in seed size: theory and a test. American Naturalist 145: 918-934.
- Sakai, S. y Sakai, A. 1996. Why is there variation in mean seed among plants within single populations? Test of the fertilization efficiency hypothesis. American Journal of Botany 83: 1454-1457.
- SAS Institute. 1989. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. USA.
- Scheinvar, L. y Sánchez-Mejorada, H. 1990. *Neobuxbaumia squamulosa*. Scheinvar et Sánchez Mejorda sp.nov. Cactaceas y Suculentas Mexicanas 35: 13-18.
- Schmalzen, R. J., Nixon, R. T., Best, A. L. y Tress, J. A. Jr. 2004. Morphometric variation in *Coryphanta robustispina* (Cactaceae). Systematic Botany 29: 553-568.
- Schoettle, A. W. y Rochelle, S. G. 2000. Morphological variation of *Pinus flexilis* (Pinaceae), a bird-dispersed pine, across a range of elevations. American Journal of Botany 87: 1797-1806.
- Selin, E. 2000. Morphometric differentiation between populations of *Papaver radicum* (Papaveraceae) in northern Scandinavia. Botanical Journal of the Linnean Society 133: 263-284.
- Silva, C. 1996. Demografía comparativa de *Pachycereus pringlei* en dos unidades geomórficas contrastantes del paisaje en Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Sneath, P. H y Sokal, R. R. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practices of numerical classification. W.H. Freeman and Company. San Francisco, California.
- Sweeney, W. P. y Price, R. A. 2001. A multivariate morphological analysis of *Cardamine concatenate* alliance (Brassicaceae). Brittonia 53: 82-95.
- Sugiyama, S. 2003. Geographical distribution and phenotypic differentiation in populations of *Dactylis glomerata* L. in Japan. Plant Ecology 169: 295-305.
- Systemsma, K.J. y Schaal, B.A. 1985. Phylogenetics of the *Lisianthus skinneri* (Gentianaceae) species complex in Panama utilizing DNA restriction fragment analysis. Evolution 39:594-608.

- Turesson, G. 1922. The species and the variety as ecological units. *Hereditas* 3: 341-350.
- Tyler, T. 2006. Patterns of morphometric variation and a new supraspecific classification of apomictic taxa of *Hieracium* (Asteraceae) from Denmark and southern Sweden. *Plant Systematic and Evolution* 261: 39-88.
- Valiente-Banuet, A., Dávila, P., Arizmendi, M. C., Rojas-Martínez, A. y Casas, A. 1995. Bases ecológicas del desarrollo sustentable en zonas áridas: el caso de los bosques de cactáceas columnares del Valle de Tehuacan y Baja California Sur, México. En: IV curso sobre desertificación y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe. Colegio de Posgraduados. México.
- Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M. C., Rojas-Martínez, A. y Domínguez-Canseco, L. 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 12: 103-119.
- Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M. C., Rojas-Martínez, A. y Dávila, P. 1997. Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Central Mexico. *American Journal of Botany* 84: 452-455.
- Waller, D. M., O'Malley, D. M. y Gawler, S. C. 1987. Genetic variation in the extreme endemic *Pedicularis furbishiae* (Scrophulariaceae). *Conservation Biology* 1: 335-340.
- Winn, A. y Gross, K. 1993. Latitudinal variation in seed weight and flower number in *Prunella vulgaris*. *Oecología* 93: 55-62.
- Wright, J. W. 1964. Mejoramiento genético de los árboles forestales. Estudio de silvicultura y productos forestales 16:52-69. FAO. Roma.
- Wright, J. W. 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press. New York.
- Zobel, B. J. y J. P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation; its causes and control. Springer-Verlang. New York.