

## ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE *ALLIUM GLANDULOSUM* LINK & OTTO (AMARYLLIDACEAE: ALLIOIDEAE) EN MÉXICO

ABRAHAM HERNÁNDEZ-DE LA ROSA, JESÚS ALEJANDRO RUIZ-VALENCIA Y MONSERRAT VÁZQUEZ-SÁNCHEZ\*

Programa de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.

\*Autor para la correspondencia: [vazquez.monserrat@colpos.mx](mailto:vazquez.monserrat@colpos.mx)

### Resumen

**Antecedentes:** *Allium glandulosum* Link & Otto se distribuye ampliamente desde el sur de Estados Unidos, México y Centroamérica. En México se distribuye en 27 estados, en ambientes contrastantes. Sin embargo, no se ha estudiado si su patrón de distribución se refleja en una amplia variación morfológica.

**Pregunta y/o Hipótesis:** ¿La variación morfológica vegetativa y floral en *Allium glandulosum* a lo largo de su distribución en México permite diferenciar entre poblaciones de esta especie?

**Especie de estudio:** *Allium glandulosum* Link & Otto.

**Sitio y fechas de estudio:** Poblaciones de *Allium glandulosum* con distribución en el Eje Volcánico Transmexicano y la Altiplanicie Mexicana, durante el 2020.

**Métodos:** Se determinaron y midieron caracteres morfológicos cualitativos y cuantitativos de ejemplares herborizados y de especímenes recolectados en campo. Se emplearon métodos estadísticos univariados y multivariados para describir y sintetizar la variabilidad de las recolecciones de campo y materiales herborizados.

**Resultados:** El análisis de componentes principales mostró que 14 caracteres representan el 51.29 % de la variación total acumulada en los primeros tres componentes. El análisis discriminante lineal resultó en la formación de cuatro grupos y el porcentaje de clasificación de los individuos fue de 71.53 %. El análisis de conglomerados mostró cuatro agrupaciones, diferenciados por caracteres cuantitativos y cualitativos.

**Conclusiones:** La variación morfológica vegetativa y floral de *Allium glandulosum* permite diferenciar entre las poblaciones de la especie a lo largo de su distribución en México.

**Palabras clave:** ACP, ADL, análisis multivariado, GLM, variación morfológica

### Abstract

**Background:** *Allium glandulosum* Link & Otto is widely distributed in America, extending from the southern United States to Mexico and Central America. In Mexico, its distribution encompasses 27 states, with contrasting habitats. However, whether this distribution pattern corresponds to a wide morphological variation has not been studied.

**Research question and/or Hypothesis:** Is it possible to distinguish populations of *Allium glandulosum* along its Mexican distribution based on the morphological variations observed in its flowers and vegetative components?

**Species under study:** *Allium glandulosum* Link & Otto.

**Study site and dates:** Populations of *Allium glandulosum* distributed across the Volcanic Axis and the Mexican Plateau, during 2020.

**Methods:** Morphological traits, both qualitative and quantitative, were identified and measured from herbarium specimens and field-collected samples. Univariate and multivariate statistical methods were employed to characterize and summarize the variability observed in the field-collected specimens and herbarium materials.

**Results:** The principal component analysis revealed that 14 traits accounted for 51.29 % of the total accumulated variation across the first three components. The linear discriminant analysis resulted in the formation of four groups, with a classification rate of 71.53 % for individuals. The cluster analysis identified four distinct groupings characterized by both quantitative and qualitative traits.

**Conclusions:** Variations in vegetative and floral morphology in *Allium glandulosum* allow for population differentiation across its Mexican distribution.

**Keywords:** GLM, LDA, morphological variation, multivariate analysis, PCA

**A** *llium glandulosum* Link & Otto, es una especie con amplia distribución geográfica, que ocupa ambientes contrastantes en Norte América, desde el sur de Estados Unidos, hasta Centroamérica (Traub 1968, Espejo-Serna & López-Ferrari 2003, Galván 2010). Dado el patrón de distribución geográfica y la presencia en diferentes condiciones ambientales de esta especie, se espera que *A. glandulosum* presente variación morfológica vegetativa y floral, como ocurre en otros grupos taxonómicos con patrones de distribución similares, como algunos miembros de Boraginaceae (Cavieres 2000); Cactaceae (Vázquez-Benítez *et al.* 2016); Pinaceae (Reyes-Hernández *et al.* 2005, Sáenz-Romero *et al.* 2012) y Taxaceae (Ramírez-Sánchez *et al.* 2011). En la última revisión taxonómica de *Allium* para México (Traub 1968), existe incertidumbre sobre los caracteres útiles para la identificación de las especies. Esta situación ha generado que actualmente existan especímenes mal identificados bajo el nombre de *A. glandulosum*. Esta especie carece de estudios que permitan documentar su variación morfológica a través de métodos objetivos. Los análisis morfométricos son estudios respaldados con técnicas multivariadas, que han demostrado su utilidad para la delimitación y reconocimiento de taxones con amplia variación morfológica en familias de monocotiledóneas como Amaryllidaceae (Díaz-Lifante & Andrés-Camacho 2007, El-Hadidy *et al.* 2012), Arecaceae (Henderson 2002), Asparagaceae (Preston 2013, Gutiérrez *et al.* 2017), Bromeliaceae (Pinzón *et al.* 2011), Orchidaceae (Pedersen 2010) y Potamogetonaceae (Kaplan & Marhold 2012). Eudicotiledóneas como Asteraceae (Villareal-Quintanilla *et al.* 2020), Cactaceae (Arroyo-Cosultchi *et al.* 2010, Sánchez *et al.* 2013, Vázquez-Benítez *et al.* 2016), Fagaceae (Martínez-Cabrera *et al.* 2011), Polygonaceae (Ancona *et al.* 2019) y Solanaceae (Castillo-Batista *et al.* 2017). Además de monilophytas (Hernández-Hernández *et al.* 2009, Pérez-Atilano *et al.* 2017).

Para el estudio de *Allium* se han utilizado métodos típicos de análisis morfométricos, como el análisis de componentes principales y de conglomerados; que se han utilizado con el objetivo de agrupar y delimitar especies relacionadas (El-Gadi & Elkington 1977, Badr & Elkington 1978, Jacobsen 1979). El-Gadi & Elkington (1977), así como Badr & Elkington (1978) utilizaron caracteres citológicos, morfológicos y químicos para estudiar las relaciones fenéticas entre especies de los subgéneros *Rhizirideum* (G. Don ex Koch) Wendelbo y *Molium* Koch (Wendelbo). Jacobsen (1979) analizó la morfología floral y vegetativa, así como la fenología, hábitat y distribución geográfica para esclarecer los límites taxonómicos entre *Allium cernuum* Roth y *A. stellatum* Nutt ex Ker Gawl. Con base en los antecedentes de trabajos morfométricos, que son relevantes para la taxonomía de *Allium* y otros grupos, así como la amplia distribución de *A. glandulosum*, el objetivo de esta investigación es determinar mediante análisis multivariados, si estructuras vegetativas y florales de *A. glandulosum* presentan variación morfológica significativa entre poblaciones, con el fin de determinar el o los caracteres morfológicos que permitan el reconocimiento de poblaciones de esta especie.

## Materiales y métodos

*Selección de poblaciones representativas.* La revisión preliminar de la distribución geográfica de *A. glandulosum* en México, permitió obtener sitios de recolecta a partir de ejemplares depositados en los herbarios CHAPA y UAMIZ (Thiers 2023) y de registros de bases de datos (GBIF 2022, DGRU 2023). Se recolectaron 50 ejemplares en ocho estados de la república mexicana en 15 sitios en los que se identificó la presencia de *A. glandulosum* (Tabla 1), durante los meses de agosto y septiembre de 2020.

En el trabajo de campo se consideró la localidad tipo de la especie, registrada en las cercanías de la Ciudad de México (Espejo-Serna & López-Ferrari 1993), también se incluyeron las áreas de distribución naturales cercanas a la misma. Conjuntamente se consideraron las localidades tipo de *A. kunthii* G. Don. (Guanajuato, entre Santa Cruz de la Sierra y monte El Gigante) y *A. longifolium* (Kunth) Spreng (Querétaro, creciendo entre Arroyozarco y San Juan del Río), ya que se tiene registro que estas especies son consideradas como sinónimos de *A. glandulosum* (POWO; TPL; Tropicos; Espejo-Serna & López-Ferrari, 2003, Galván 2010 Ownbey 1947, 1950, Traub 1967, 1968). Finalmente, todos los especímenes recolectados en campo, fueron identificados con base en Traub (1967, 1968), para confirmar que el material recolectado pertenece a la especie bajo estudio.

**Tabla 1.** Sitios de recolecta de material vegetal de *Allium glandulosum* Link & Otto.

Estado	Municipio	Tipo de vegetación	Altitud (m snm)
Durango	Durango	Bosque de <i>Quercus</i> perturbado	2080
	Vicente Guerrero	Matorral xerófilo	1976
Guanajuato	San José Iturbide	Bosque de <i>Quercus</i> perturbado	2308
	León	Bosque de <i>Quercus</i>	2570
Hidalgo	Epazoyucan	Bosque de encino	2812
	San Miguel Regla	Bosque de encino	2039
México	Ozumba	Bosque de pino encino	2365
	Tepotzotlán	Matorral	2753
	Texcoco	Vegetación secundaria	2334
Puebla	Coxcatlán	Vegetación secundaria de <i>Pinus patula</i>	2582
Querétaro	Jalpan de Serra	Bosque de <i>Juniperus</i>	1526
	Pinal de Amoles	Bosque de encino	2323
San Luis Potosí	Guadalcázar	Matorral submontano	1261
Zacatecas	Saín Alto	Vegetación secundaria	2172
	Villa Insurgentes	Bosque de encino perturbado	2147

*Análisis morfométrico.* Se midieron 20 caracteres cuantitativos de órganos vegetativos y florales (Material suplementario [Tabla S1](#)) utilizando una regla metálica convencional, un vernier digital y un microscopio estereoscópico (Carl Zeiss, ZEISS, Jena, Alemania), empleando un ocular con reglilla graduada en milímetros. Se determinaron 22 caracteres cualitativos (Material suplementario [Tabla S1](#)) de órganos vegetativos y florales. Todos los caracteres se obtuvieron a partir de 40 ejemplares depositados en los herbarios CHAPA, SLPM y UAMIZ (Thiers 2023), así como de 50 ejemplares recolectados en campo.

*Análisis estadístico.* Se obtuvieron los estadísticos descriptivos de las 20 variables cuantitativas (Material suplementario [Tabla S2](#)). A la base de datos resultante, se le realizó una prueba de correlación de Spearman, ya que los conjuntos de datos no cumplieron con el supuesto de normalidad multivariada (Winter *et al.* 2016). Esta prueba se utilizó para determinar si existían caracteres altamente correlacionados ( $> 0.60$ , Altman & Krzywinsky 2015) y eliminarlos de análisis posteriores (Palacio *et al.* 2020).

Las variables fueron transformadas con logaritmo base 10 con la finalidad de cumplir con el supuesto de normalidad multivariada, posteriormente se empleó un análisis de componentes principales (ACP), para reducir la dimensionalidad del grupo de datos e identificar las variables que contribuyen a explicar la variación morfológica de *A. glandulosum* (Palacio *et al.* 2020). A las variables con mayor peso se les aplicó un modelo lineal generalizado con distribución gaussiana (GLM), el cual permite evaluar si existen diferencias significativas entre los ejemplares de las distintas poblaciones. La elección de esta técnica estadística se basó en el hecho de que las variables no cumplieron con los supuestos de la normalidad y homocedasticidad (Bolker *et al.* 2009).

A través de un análisis discriminante lineal (ADL) se obtuvieron las funciones discriminantes para identificar los caracteres morfológicos vegetativos y florales que contienen la información útil para la diferenciación de las poblaciones. Este análisis se realizó empleando la librería MASS v. 7.3-58.4 (Venables & Ripley 2002). La evaluación del modelo se realizó mediante la matriz de confusión, que permite visualizar la proporción de correctas clasificaciones realizadas por el ADL (Palacio *et al.* 2020).

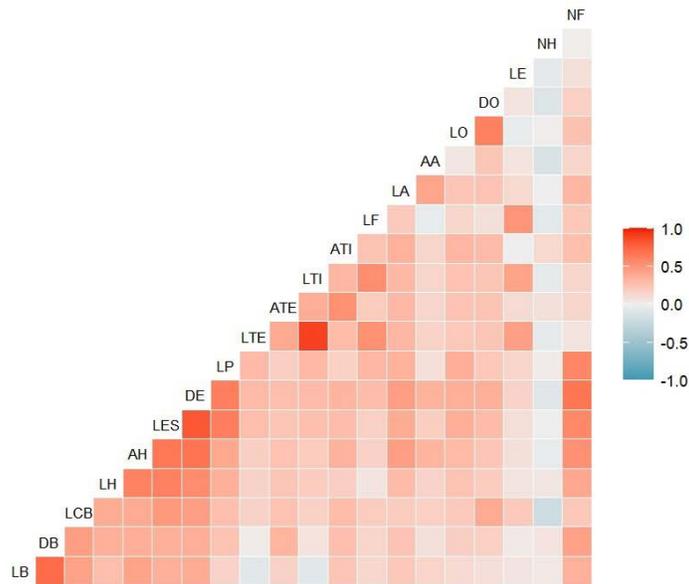
Finalmente, se realizó un análisis de conglomerados con el método de Ward (Palacio *et al.* 2020), empleando una matriz estandarizada con las variables cuantitativas que resultaron con alto valor informativo en el ADL y seis caracteres cualitativos ([Tabla S3](#)); el objetivo fue determinar el grado de similitud entre las poblaciones estudiadas. Todos los análisis estadísticos fueron ejecutados en el paquete estadístico R 4.2.1 (R Core Team 2020).

## Resultados

**Selección de poblaciones representativas.** Después de la revisión morfológica, se determinó que los especímenes recolectados en la localidad tipo de *A. kunthii* fueron identificados como *A. glandulosum*. Mientras que aquellos recolectados en San Juan del Río, Querétaro, fueron determinados como *A. aff. kunthii*.

A partir de la revisión de los ejemplares se determinó que poblaciones identificadas como *A. glandulosum* presentan caracteres morfológicos similares entre sí. En todos los casos se encontró la presencia de bulbos solitarios, estambres connados basalmente, los cuales a su vez se encuentran adnados a los tépalos. Las poblaciones también comparten la presencia de nectarios septales. Así mismo, estos caracteres han sido propuestos por otros autores para determinar a *A. glandulosum*.

**Análisis estadístico.** La [Tabla S2](#) muestra la media y la desviación estándar de los 20 caracteres cuantitativos. La prueba de correlación de Spearman reveló que existe correlación entre algunos caracteres analizados ( $> 0.60$ , Altman & Krzywinsky 2015) ([Figura 1](#)). Sin embargo, no existe una alta correlación entre los caracteres, por tanto, se consideraron todas las variables para el análisis de componentes principales (ACP).



**Figura 1.** Matriz de correlación de Spearman para 20 caracteres cuantitativos vegetativos y florales. LB = longitud del bulbo; DB = diámetro del bulbo; LCB = longitud del cuello del bulbo; LH = longitud de la hoja; AH = ancho de la hoja; LES = longitud del escapo; DES = diámetro del escapo; LP = longitud del pedicelo; LTE = longitud del tépalo externo; ATE = ancho del tépalo externo; LTI = longitud del tépalo interno; ATI = ancho del tépalo interno; LF = longitud del filamento; LA = longitud de la antera; AA = ancho de la antera; LO = Longitud del ovario; DO = diámetro del ovario; LE = longitud del estilo; NH = número de hojas; NF = número de flores.

El ACP reveló que 14 caracteres concentran la mayor variación en los primeros tres componentes principales con el 51.29 % de la variación acumulada ([Tabla 2](#)). El modelo lineal generalizado indicó que existen diferencias significativas en los 14 caracteres cuantitativos resultantes del ACP  $P < 0.05$ , por lo que fueron incluidos en el análisis discriminante.

El análisis discriminante lineal (ADL) identificó que 75.04 % de la variación total se explica con las tres primeras funciones discriminantes. El ADL permitió identificar las variables que aportan mayor información para la discriminación ([Tabla 3](#)). La representación gráfica de las tres primeras funciones favoreció el ordenamiento de grupos con base en el diámetro del escapo, longitud del tépalo interno y longitud del bulbo ([Figura 2](#)). La matriz de confusión

**Tabla 2.** Coeficientes del análisis de componentes principales de 20 caracteres cuantitativos vegetativos y florales. \*Caracteres de mayor contribución. Descripción de acrónimos revisar [Tabla S1](#).

	PC1	PC2	PC3
<b>Variación</b>	29.19	14.01	7.99
<b>Variación acumulada (%)</b>	29.19	43.20	51.29
<b>LB</b>	0.194	-0.265	0.379*
<b>DB</b>	0.217	-0.217	0.308*
<b>LCB</b>	0.241	-0.016	0.222
<b>LH</b>	0.235	-0.154	-0.015
<b>AH</b>	0.288*	-0.189	-0.109
<b>LES</b>	0.327*	-0.166	0.004
<b>DES</b>	0.337*	-0.124	-0.079
<b>LP</b>	0.261*	-0.076	0.054
<b>LTE</b>	0.197	0.460*	0.026
<b>ATE</b>	0.196	0.167	-0.153
<b>LTI</b>	0.206	0.444*	0.037
<b>ATI</b>	0.210	0.133	-0.213
<b>LF</b>	0.155	0.340*	0.378*
<b>LA</b>	0.250*	0.087	-0.161
<b>AA</b>	0.130	0.026	-0.243
<b>LO</b>	0.230	0.042	-0.333*
<b>DO</b>	0.201	0.074	-0.324*
<b>LE</b>	0.103	0.316*	0.394*
<b>NH</b>	-0.027	-0.058	-0.095
<b>NF</b>	0.243	-0.292*	0.109

([Tabla 4](#)) mostró que la precisión de la clasificación resultante del ADL fue de 71.53 %. Los individuos de 12 poblaciones presentaron el mayor porcentaje de clasificaciones correctas > 80 %, mientras que el resto de las poblaciones presentaron valores de clasificación < 80 %. El análisis de conglomerados basado en tres caracteres cuantitativos y seis caracteres cualitativos recuperó cuatro grupos principales ([Figura 3](#)).

## Discusión

*Selección de poblaciones representativas.* De acuerdo con la literatura, Link y Otto describieron a *A. glandulosum* a partir de plantas colectadas por Deppe en 1826, cerca de la Ciudad de México (Link & Otto 1828, Espejo-Serna & López-Ferrari 1993). En esa descripción (Link & Otto 1828) y aquellas consideradas por otros autores (Ownbey 1947, 1950, Traub 1967, 1968) esta especie se puede distinguir del resto de las especies de *Allium* descritas para México por caracteres morfológicos vegetativos y florales. Por ello, se priorizaron poblaciones del Valle de México como aquellas pertenecientes a la localidad tipo o cercanas a la misma, se consideraron a los especímenes recolectados en el municipio de Ozumba, Estado de México como referencia para establecer comparaciones con las demás poblaciones nombradas como *A. glandulosum*. Estos especímenes miden de 50-75 cm de alto, presentan bulbos solitarios, desarrollando un rizoma blanco > 10 cm de largo, terminando en un bulbilo, escapo con bordes prominentes, umbela de flores rojas con tépalos extendidos y nectarios septales. Los caracteres antes mencionados son consistentes

con la descripción e ilustración del tipo de *A. glandulosum* (Link & Otto 1828). Las poblaciones recolectadas en los estados de Hidalgo, Puebla y Querétaro (Jalpan de Serra y Pinal de Amoles) presentaron similitudes morfológicas con la del Estado de México, también reconocidos como *A. glandulosum*.

En *Allium* se ha determinado que caracteres morfológicos como el diámetro del bulbo, ancho, forma y número de hojas, la longitud del escapo, la longitud del pedicelo y la relación bráctea floral/longitud del escapo, así como la forma del estigma y el color de la túnica del bulbo son relevantes para agrupar y distinguir especies (El-Gadi & Elkington 1977, Badr & Elkington 1978). El análisis de componentes principales (ACP) reveló que 14 caracteres cuantitativos (Cuadro 3) son los de mayor aporte al análisis. De los cuales, el diámetro del bulbo y la longitud del escapo coinciden con lo reportado previamente (El-Gadi & Elkington 1977, Badr & Elkington 1978). La longitud del bulbo, diámetro del escapo, longitud del tépalo exterior y del estilo también presentaron variación en otros géneros de Amaryllidaceae (Díaz-Lifante & Andrés-Camacho 2007, El-Hadidy *et al.* 2012).

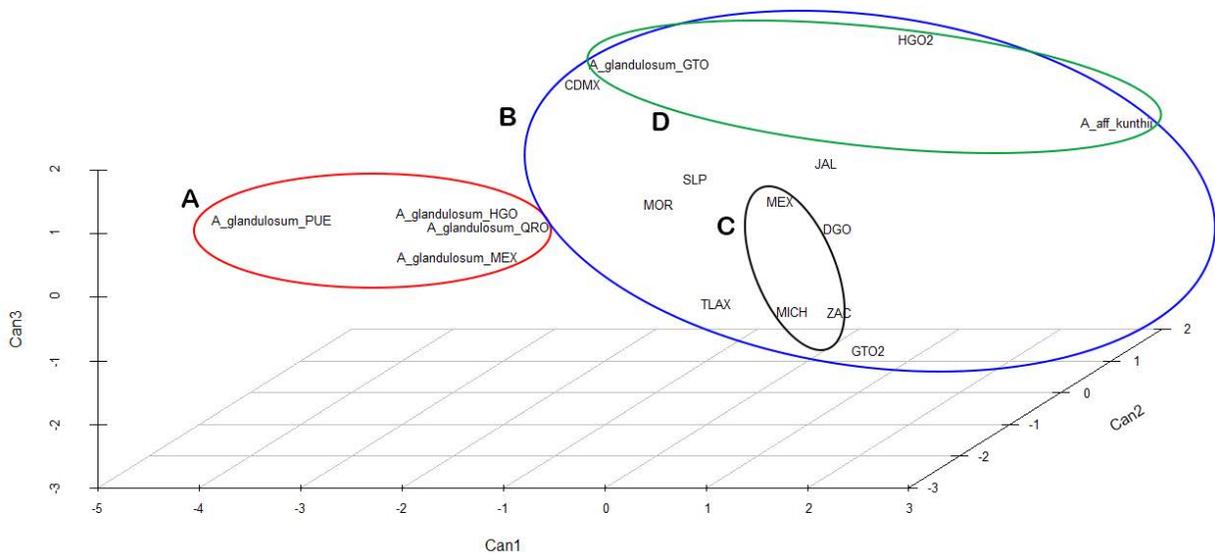
**Tabla 3.** Coeficientes del análisis discriminante lineal, para 14 caracteres cuantitativos vegetativos y florales. \*Caracteres de mayor contribución. Descripción de acrónimos revisar [Tabla S1](#).

	Can1	Can2	Can3
<b>Variación (%)</b>	39.48	63.21	75.06
<b>Variación acumulada (%)</b>	39.48	23.72	11.84
<b>LB</b>	-0.024	-0.138	-0.158
<b>DB</b>	-0.076	-0.008	-0.150
<b>LES</b>	-0.001	0.004	0.004
<b>DES</b>	-1.407*	0.900	-0.511
<b>LTE</b>	0.484	-0.064	-0.078
<b>ATE</b>	-0.130	-0.279	1.148*
<b>LTI</b>	0.685	0.883	-0.096
<b>ATI</b>	-0.003	0.760	-0.815
<b>LF</b>	0.320	0.131	-0.446
<b>AA</b>	1.067*	2.030*	-1.153*
<b>LO</b>	-1.686*	-0.692	1.114*
<b>DO</b>	-0.390	0.088	0.077
<b>LE</b>	0.175	-0.308	-0.246
<b>NH</b>	0.077	0.200	-0.319

La representación gráfica del análisis discriminante lineal (ADL) permitió reconocer los tres caracteres cuantitativos con mayor valor de discriminación para la formación de cuatro grupos. Este resultado es significativo ya que en el grupo A se asocian poblaciones del centro de México que preliminarmente se habían determinado como *A. glandulosum*, excepto una población recolectada en el estado de Guanajuato. Las poblaciones del grupo A presentan caracteres morfológicos vegetativos y flores que previamente habían sido reportados en la descripción e ilustración tipo, como son: hojas de 30 cm de largo, 2-3 mm de ancho, canaliculadas, planas en la parte superior y aquilladas en la base; escapo de bordes prominentes; pedicelos de 2.5 cm de largo; tépalos de color marrón rojizo oscuro; filamentos connados en la base; ovario con seis surcos y tres glándulas, cada una en un surco alterno del ovario (Link & Otto 1828. Adicionalmente el ADL reveló que los individuos de estas poblaciones se clasificaron correctamente en su respectiva población con un porcentaje de entre 66-99 %. Este resultado sugiere, la existencia de individuos con caracteres intermedios entre las poblaciones analizadas. En otros estudios empleando solamente caracteres mor-

fológicos (Sánchez *et al.* 2013) o en combinación con caracteres florales (Gutiérrez *et al.* 2017), se obtuvieron resultados similares de clasificación.

La combinación de caracteres cuantitativos y cualitativos, resultó en la formación de cuatro grupos por su similitud (Figura 3). Nuestro análisis reveló que la ausencia de indumento en las hojas es importante para reconocer las poblaciones del grupo A. En este grupo, las poblaciones de Michoacán y Zacatecas son similares por presentar la mayor longitud de los tépalos  $\geq 7.5$  mm. Las poblaciones de este grupo se encuentran en el bosque de encino. En la agrupación B se encuentran poblaciones del centro de México que previamente se habían identificado como *A. glandulosum*, las cuales se diferencian de los demás grupos por presentar un diámetro del escapo  $> 1.8$  mm. Además, son similares por la longitud del escapo  $> 48.0$  cm, longitud del pedicelo  $\geq 2.5$  cm y la presencia de flores rojas. Ecológicamente estas poblaciones también muestran similitud, ya que se encuentran predominantemente en bosque de encino o pino, en donde los bulbos se encuentran considerablemente cubiertos por suelos húmedos y abundante materia orgánica, facilitando el desarrollo de estructuras de reproducción como los rizomas con bulbilos terminales.



**Figura 2.** Gráfica del análisis discriminante lineal de poblaciones de *Allium glandulosum* Link & Otto estudiadas en México. Se grafican los coeficientes para las tres primeras funciones canónicas. Las elipses corresponden a los grupos de poblaciones.

**Tabla 4.** Porcentaje de individuos clasificados correctamente en su grupo en función del análisis discriminante canónico.

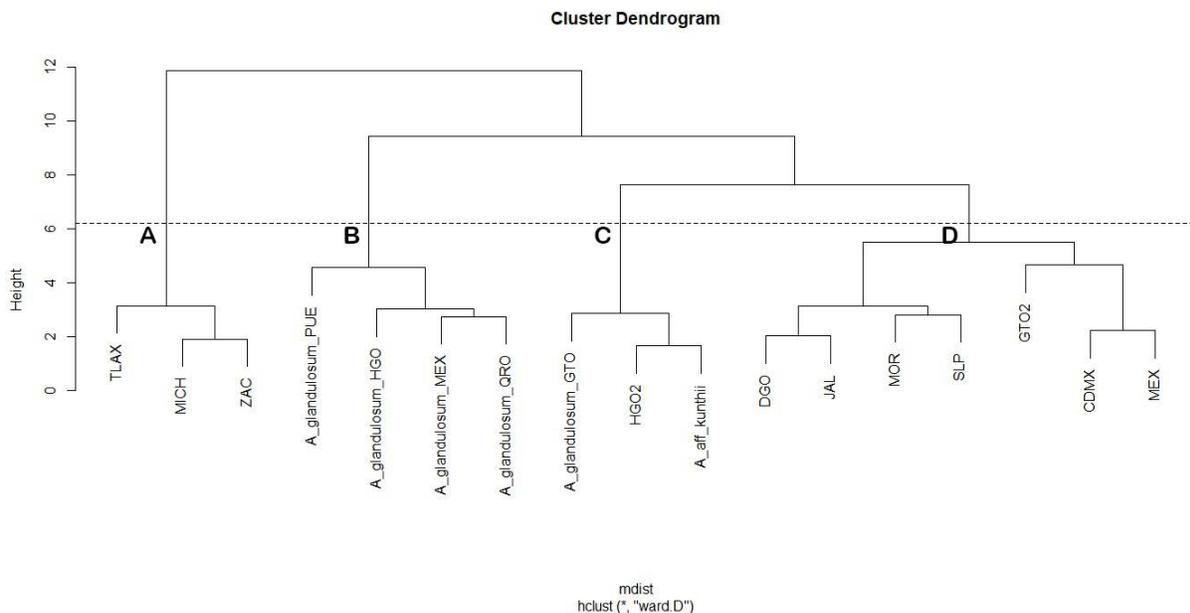
Poblaciones	% de individuos
<i>A. glandulosum</i> _GTO, <i>A. glandulosum</i> _MEX, <i>A. glandulosum</i> _PUE, <i>A. glandulosum</i> _QRO, CDMX, DGO, MEX, MICH, MOR, <i>A. aff kunthii</i> , SLP, ZAC	> 80
<i>A. glandulosum</i> _HGO, GTO, HGO, JAL, TLAX	> 65 - < 80

En el grupo C se incluyeron poblaciones con longitud del bulbo  $\leq 1.0$  cm. Pese a que una población de Guanajuato había sido determinada como *A. glandulosum*, el análisis de conglomerados indicó que esta población es similar a una población de Hidalgo y con aquellos individuos determinados preliminarmente como *A. aff kunthii* por la longitud de la hoja  $< 23.0$  cm y el diámetro del escapo  $< 1.2$  mm. Estas poblaciones se encontraron en áreas abiertas y a diferencia de las anteriores, los bulbos se encontraron situados a escasos centímetros del suelo con muy poca o nula presencia de materia orgánica. En el grupo D se incluyeron individuos de poblaciones que se

distribuyen en el centro y occidente de México, en diversos tipos de vegetación, desde bosques de encino hasta vegetación secundaria. Especímenes de este grupo se caracteriza por presentar una longitud del bulbo > 1.1 cm. Además, las proporciones de la longitud de la hoja y el diámetro del escapo son mayores que en el resto de los grupos.

El análisis de conglomerados indicó que *A. aff kunthii* difiere morfológicamente de las poblaciones de *A. glandulosum* (Figura 3), que se tomaron como referencia para establecer las comparaciones con el resto de las poblaciones analizadas. Sería pertinente reconsiderar la sinonimia de *A. kunthii* en *A. glandulosum*. Sin embargo, son necesarios más estudios con otro enfoque que apoyen esta propuesta.

En el pasado Link y Otto (1828) describieron a *A. glandulosum* a partir de material procedente a las cercanías de la Ciudad de México, y las flores de la colecta original eran de color rojo intenso. Ownbey (1947, 1950) menciona que esta forma todavía se recolecta con frecuencia en el centro del país. Además, señala que hacia el norte de México las flores son blancas, con el color confinado principalmente en la nervadura central e indica que este patrón de coloración de las flores se encuentra dentro del rango de distribución de la especie y considera que ambas formas pertenecen a una sola entidad, que debe tomar el nombre de *A. glandulosum*. Los resultados obtenidos coinciden con lo mencionado por Ownbey (1947, 1950), ya que individuos de flores rojas se recolectaron con frecuencia a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana.



**Figura 3.** Dendrograma obtenido del análisis de conglomerados de poblaciones de *Allium glandulosum* Link & Otto estudiadas en México. Las letras corresponden a los cuatro grupos de poblaciones.

Los análisis estadísticos permitieron determinar que *A. glandulosum* presenta una amplia variación morfológica en México, tanto en estructuras vegetativas como en las reproductivas. Sin embargo, existen caracteres como altura de los individuos, morfología del bulbo, escapo y flores que permiten reconocer poblaciones de esta especie. Futuros estudios, permitirán determinar el efecto de factores ambientales y geográficos sobre dicha variación. Ampliar y combinar este estudio con análisis anatómicos y moleculares, brindarán una visión más completa de la amplia variación de esta especie a lo largo de México. Por el momento y con el objetivo de abordar la variación de morfológica de *A. glandulosum*, los caracteres que permiten una discriminación entre los grupos de poblaciones pueden considerarse eventualmente útiles en análisis filogenéticos.

## Material suplementario

El material suplementario puede ser consultado aquí <https://doi.org/10.17129/botsci.3403>

## Agradecimientos

Los autores agradecemos a los responsables de los herbarios CHAPA, SLPM y UMIZ por las facilidades brindadas para la revisión de ejemplares herborizados. También agradecemos los comentarios de los revisores anónimos, que contribuyeron para mejorar el artículo.

## Literatura Citada

- Altman N, Krywinski M. 2015. Association, correlation and causation. *Nature Methods* **12**: 899-900. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.3587>
- Ancona JJ, Ortiz-Díaz JJ, de Luna E, Tun-Garrido J and Barrientos-Medina RC. 2019. Statistical analyses of morphological variation in the *Gymnopodium floribundum* complex (Polygonaceae): definition of three subspecies. *Acta Botanica Mexicana* **126**: e1517. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1517>
- Arroyo-Cosultchi G, Terrazas T, Arias S, López-Mata L. 2010. Delimitación de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. multiareolata* (Cactaceae) con base en análisis multivariados. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **86**: 53-64. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2320>
- Badr A, Elkington TT. 1978. Numerical taxonomy of species in *Allium* subgenus *Molium*. *New Phytologist* **81**: 401-417. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb02646.x>
- Bolker BM, Brooks ME, Clark CJ, Geange SW, Poulsen JR, Stevens MHH, White J-SS. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution* **24**: 127-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>
- Castillo-Batista AP, Ponce-Saavedra J, Montero-Castro JC. 2017. Análisis morfométrico de *Cestrum guatemalense*, *C. mexicanum* y *C. pacayense* (Solanaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **88**: 56-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.021>
- Cavieres LA. 2000. Variación morfológica de *Phacelia secunda* JF Gmel. (Hydrophyllaceae) a lo largo de un gradiente latitudinal en Chile central. *Gayana Botánica* **57**: 89-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432000000100007>
- DGRU [Dirección General de Repositorios Universitarios]. 2023. Portal de Datos Abiertos UNAM, Colecciones Universitarias. México: Universidad Nacional Autónoma de México. <https://datosabiertos.unam.mx/> (accessed June 20, 2020).
- Díaz-Lifante Z, Andrés-Camacho C. 2007. Morphological variation of *Narcissus serotinus* L. s.l. (Amaryllidaceae) in the Iberian Peninsula. *Botanical Journal of the Linnean Society* **154**: 237-257. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00653.x>
- El-Gadi A, Elkington TT. 1977. Numerical taxonomic studies on species in *Allium* subgenus *Rhizirideum*. *New Phytologist* **79**: 183-201. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1977.tb02195.x>
- El-Hadidy A, El-Ghani MA, Amer W, Hassan R. 2012. Morphological and molecular differentiation between egyptian species of *Pancratium* L. (Amaryllidaceae). *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* **54**: 53-64. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10182-012-0005-z>
- Espejo-Serna A, López-Ferrari AR. 1993. *Las monocotiledóneas mexicanas, una sinopsis florística I. Lista de referencia. Parte I. Agavaceae, Alismataceae, Alliaceae, Alstroemeriaceae y Amaryllidaceae*. DF, México: Consejo Nacional De La Flora De México AC y Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. ISBN: 968-61144-07-2
- Espejo-Serna A, López-Ferrari AR. 2003. Alliaceae. In Sosa V, ed. *Flora de Veracruz 132*. México: Instituto de Ecología AC y Universidad de California, pp. 3-9. ISBN: 970-709-035-9

- Galván R. 2010. Alliaceae. In: Calderón Rzedowski G, Rzedowski J. eds. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. México: Instituto de Ecología AC y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 1251-1252. ISBN: 978-607-7607-36-6.
- GBIF [Global Biodiversity Information System]. 2022. *Allium glandulosum* Link & Otto. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset accessed via GBIF.org (accessed June 15, 2020). DOI: <https://doi.org/10.15468/39omei>
- Gutiérrez J, Terrazas T, Luna Vega I. 2017. Morphometric analysis of *Milla biflora* (Asparagaceae: Brodiaeaceae), with an identification key for *Milla*. *Plant Ecology and Evolution* **150**: 76-86. DOI: <https://doi.org/10.5091/pl-ecevo.2017.1276>
- Henderson AJ. 2002. Phenetic and phylogenetic analysis of *Reinhartia* (Palmae). *American Journal of Botany* **89**: 1491-1502. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.89.9.1491>
- Hernández-Hernández V, Terrazas T, Delgadillo Moya C. 2009. The *Dryopteris patula* complex (Driopteridaceae) in Mexico: Morphometric analyses. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **85**: 103-112. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.2308>
- Jacobsen TD. 1979. Numerical analysis of variation between *Allium cernuum* and *Allium stellatum* (Liliaceae). *Taxon* **28**: 517-523. DOI: <https://doi.org/10.2307/1219788>
- Kaplan Z, Marhold K. 2012. Multivariate morphometric analysis of the *Potamogeton compressus* group (Potamogetonaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* **170**: 112-130. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01270.x>
- Link FH, Otto F. 1828. *Icones Plantarum Rariorum Horti Regii Botanici Berolinensis cum Descriptionibus et Colendi Ratione*. Berlin. 48 pp.
- Martínez-Cabrera D, Zavala-Chávez F, Terrazas T. 2011. Estudio morfométrico de *Quercus sartorii* y *Q. xalapensis* (Fagaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 551-568. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.2.459>
- Ownbey M. 1947. The genus *Allium* in Arizona. *Research Studies of the State College of Washington* 211-232.
- Ownbey M. 1950. The genus *Allium* in Texas. *Research Studies of the State College of Washington* 181-222.
- Palacio FX, Apodaca MJ, Crisi VJ. 2020. *Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R*. Buenos Aires, Argentina: Fundación de Historia Natural Félix de Azara. ISBN: 978-987-3781-49-0
- Pedersen HA. 2010. Species delimitation and recognition in the *Brachycorythis helferi* complex (Orchidaceae) resolved by multivariate morphometric analysis. *Botanical Journal of the Linnean Society* **162**: 64-76. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01015.x>
- Pérez-Atilano Y, Sánchez-González A, Terrazas T, Vasco YA. 2017. Análisis morfológico y anatómico del complejo *Myriopteris lendigera* (Pteridaceae) en México. *Brittonia* **70**: 40-50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12228-017-9496-y>
- Reyes-Hernández VJ, Vargas-Hernández JJ, López-Upton J, Vaquera-Huerta HV. 2005. Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* (Pinaceae). *Acta Botánica Mexicana* **70**: 47-67. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm70.2005.987>
- Pinzón JP, Ramírez-Morillo IM, Fernández-Concha GC. 2011. Morphometric analyses within the *Tillandsia utriculata* L. complex (Bromeliaceae) allow for the recognition of a new species, with notes on its phylogenetic position. *The Journal of the Torrey Botanical Society* **138**: 353-365. DOI: <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-11-00005.1>
- Preston RE. 2013. A revision of *Brodiaea coronaria* (Asparagaceae: Brodiaeaceae): Morphometric analysis and recognition of new and emended taxa. *Systematic Botany* **38**: 1012-1028. DOI: <https://doi.org/10.1600/036364413X674913>
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (accessed July 20, 2021).
- Ramírez-Sánchez SE, López-Upton J, García de los Santos G, Vargas-Hernández JJ, Hernández-Livera A, Ayala-Garay ÓJ. 2011. Variación morfológica de semillas de *Taxus globosa* Schltld. provenientes de dos regiones geográficas de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* **34**: 93-99. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2011.2.93>

- Sáenz-Romero C, Aguilar-Aguilar S, Silva-Farías MÁ, Madrigal-Sánchez X, Lara-Cabrera S, López-Upton J. 2012. Variación morfológica altitudinal entre poblaciones de *Pinus devoniana* Lindl. y la variedad putativa cornuta en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **3**: 19-28. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i13.486>
- Sánchez D, Arias S, Terrazas T. 2013. Análisis morfométrico de las especies de *Echinocereus* sección *Triglochidiati* (Cactaceae) en México. *Brittonia* **65**: 368-385. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12228-012-9285-6>
- Traub HP. 1967. Subsection mexicana of section *Amerallium*, genus *Allium* L. *Plant Life* **23**: 88-96.
- Traub HP. 1968. New guatemalan and mexican Alliums. *Plant Life* **24**: 127-142.
- Thiers B. 2023. Index Herbariorum: A Global Directory of Public Herbaria and Associated Staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/> (accessed February 15, 2023).
- Vázquez-Benítez B, Arias S, Cervantes-Sandoval A. 2016. Variación morfológica de *Coryphantha* (Cactaceae): Un enfoque multivariado. *Acta Botanica Mexicana* **116**: 21-47. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm116.2016.1117>
- Venables WN, Ripley BD. 2002. MASS: Support Functions and Datasets for Venables and Ripley's Mass. <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/> (accessed August 18, 2022).
- Villareal-Quintanilla JA, Estrada-Castillón AE, Encina-Domínguez JA. 2020. Dos cambios de rango taxonómico en *Pseudognaphalium* (Gnaphalieae, Asteraceae) de México. *Acta Botanica Mexicana* **127**: e1582. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1582>
- Winter JCF, Gosling D, Potter J. 2016. comparing the pearson and spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: A tutorial using simulations and empirical data. *Psychological Methods* **21**: 273-290. DOI: <https://doi.org/10.1037/met0000079>

---

**Editor de sección:** Marta Martínez

**Contribución de los autores:** AHR, diseñó la investigación, realizó el trabajo de campo, escribió el manuscrito, llevó a cabo los análisis estadísticos y la interpretación de los resultados. MVS, diseñó el proyecto, realizó trabajo de campo, revisó los análisis estadísticos y el manuscrito. JARV, participó en el trabajo de campo, revisó los análisis estadísticos y el manuscrito.

**Entidades Financiadoras:** Colegio de Postgraduados y Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT).

Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses financieros, personales ni en cuanto a la presentación de la información y resultados de este artículo.