



ARTÍCULO ORIGINAL

## Identificación de las subespecies de *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) mediante análisis digital de imágenes de las hojas

*Identification of Magnolia cubensis (Magnoliaceae) subspecies by digital analysis of leaves images*

Majela Hernández Rodríguez

Facultad de Biología  
Universidad de La Habana  
La Habana, Cuba

\* Autor para correspondencia:  
[majela@fbio.uh.cu](mailto:majela@fbio.uh.cu)

### RESUMEN

Las hojas de *Magnolia cubensis* presentan variaciones de forma que en ocasiones dificultan la identificación a nivel de subespecies. Una de las soluciones emergentes ante esta dificultad puede ser la clasificación a través del análisis digital de imágenes, con el empleo de la morfometría geométrica. A partir de la caracterización de la forma de la hoja de ambas subespecies, la presente investigación tuvo como objetivo la evaluación de dos métodos de morfometría geométrica: puntos claves y contorno para la identificación de *M. cubensis* subsp. *acunae* y *M. cubensis* subsp. *cubensis*. Fueron escaneadas hojas de 20 individuos de cada subespecie, se colocaron 14 puntos claves y el contorno fue automáticamente extraído y caracterizado por los Coeficientes Elípticos de Fourier de los primeros 10 armónicos. A la matriz de coordenadas "x" y "y" de los puntos claves se les realizó un registro de Procrustes generalizado. La matriz estandarizada y los descriptores fueron reducidos con un análisis de componentes principales y con los puntajes de los autovalores se realizaron análisis de función discriminante para analizar la posibilidad de emplear la forma de la hoja para diferenciar las subespecies por ambos métodos. Los análisis de función discriminante mostraron como promedio un 78,94 % de discriminación correcta en el análisis de puntos clave y un 82,05 % en el de contorno. En el presente estudio no se logró la discriminación total de las subespecies mediante el empleo de la morfometría geométrica. En general, el análisis con puntos clave permite visualizar y caracterizar mejor las diferencias en la forma de las hojas, mientras que, el de contorno resulta más eficiente en la clasificación.

**Palabras clave:** contorno, elípticos de Fourier, forma de la hoja, morfometría geométrica, Procrustes, puntos clave

### ABSTRACT

The leaves of *Magnolia cubensis* have continuous variations, that makes difficult the identification at level of subspecies. One of the emergent solutions in front of this difficulty is the classification by digital analysis of images, with

Recibido: 2013-07-23

Aceptado: 2013-11-15

the use of the geometric morphometric. Starting from the characterization of leaf shape of both subspecies, the present investigation has the objective to evaluate two methods of geometric morphometric: landmarks and outline for the identification of *M. cubensis* subsp. *acunae* and *M. cubensis* subsp. *cubensis*. Were scanned leaves of 20 individuals of each subspecies, 14 landmarks were placed and the outline was automatically extracted and characterized by the Elliptic Fourier coefficients of the first 10 harmonics. Generalized Procrustes Analysis was performed to the coordinated "x" and "y" matrix of the landmarks. The standardized matrix and the descriptors were reduced with an analysis of principal components. To analyze the possibility to use leaf shape to differentiate the subspecies for both methods were carried out discriminant function analysis with the eigenvalues scores. The discriminant function analysis showed an average of 78.94% of correct discrimination in the analysis of landmarks and 82.05% in outline analysis. In this study was not achieved the total discrimination of the subspecies by means of geometric morphometric. In general, the analysis with landmarks allows to visualize and to characterize better the differences in the form of the leaves, while that, the analysis of outline is more efficient in the classification.

**Keywords:** *outline, Elliptic Fourier, leaf shape, geometric morphometric, Procrustes, landmarks.*

## INTRODUCCIÓN

En la taxonomía y la sistemática de plantas, uno de los caracteres que se tiene en cuenta, es la morfología foliar (Bell y Bryan, 2008), la cual se ha estudiado principalmente mediante morfometría tradicional (Marcus, 1990; Henderson, 2006). La forma del ápice, base, margen o las dimensiones lineales (ancho y largo), son algunos de los caracteres cualitativos y cuantitativos, empleados con mayor frecuencia en la clasificación a nivel de especies, subspecies y variedades de las plantas. Sin embargo, una de las limitaciones que presentan estos estudios (fundamentalmente aquellos basados únicamente en caracteres cualitativos), es que la clasificación depende de la apreciación subjetiva de los observadores. Por otra parte, a diferencia del tamaño, la forma es difícil de medir cuantitativamente mediante medidas morfométricas lineales, pues esta incluye toda la información referente a la organización espacial de un objeto, independientemente de su escala, localización y rotación (Dryden y Mardia, 1998).

Una de las soluciones emergentes ante esta dificultad es la clasificación taxonómica a través del análisis digital de imágenes, con el empleo de la morfometría geométrica. Actualmente, estos métodos han abierto nuevas perspectivas para la evaluación de caracteres

morfológicos en el contexto taxonómico, y complementan los métodos tradicionales, como las descripciones verbales o la morfometría clásica. Adams *et al.* (2004) definen a esta herramienta como el conjunto de métodos y procedimientos, con base geométrica, para el análisis de los patrones de forma, donde las mediciones usualmente derivan de contornos y puntos morfológicos claves o *landmarks*.

El análisis por puntos claves permite caracterizar la forma a través de las coordenadas de un conjunto de puntos que pueden ser localizados inequívocamente en cada uno de los especímenes bajo estudio (Klingenberg *et al.*, 2002). Estos logran capturar la forma de las estructuras con mayor eficiencia que las distancias lineales. Además, se pueden analizar por separado las variaciones en tamaño y en forma, ya que el efecto del tamaño es eliminado mediante transformaciones uniformes o de similitud euclidiana que incluyen reescalados isotrópicos, rotaciones y traslaciones de las configuraciones de puntos claves. Los métodos Procrustes permiten realizar estas transformaciones para producir un estimado de la forma media (consenso) y de la variación alrededor de esta (Klingenberg y McIntyre, 1998). Este método ha demostrado ser útil en plantas, tanto en estudios taxonómicos como ecológicos (Viscosi *et al.*, 2010; Canché-Delgado *et al.*, 2011; Klingenberg *et al.*, 2012).

El método de contorno, al igual que los análisis por puntos claves, captura la forma *per se* de las estructuras biológicas a través de la transformación de la información de las coordenadas del contorno en un código de cadena. Este es transformado en los descriptores elípticos de Fourier (DEFs) y finalmente los coeficientes de estos descriptores son normalizados para analizar solamente las diferencias de forma entre los diferentes objetos (Kuhl y Giardina, 1982). Un análisis de componentes principales de los coeficientes permite extraer las características de forma de manera independiente y hace posible utilizar los puntajes de los componentes como caracteres cuantitativos (Rohlf y Archie 1984). El método de contorno ha demostrado ser eficaz en la evaluación de varias formas biológicas en plantas (White *et al.* 1988; McLellan, 1993; Furuta *et al.* 1995; Ohsawa *et al.* 1998). No obstante, combinar los análisis Procrustes y los análisis de Fourier también ha mostrado resultados satisfactorios en varias investigaciones (Hearn, 2009; Viscosi *et al.*, 2009).

La familia *Magnoliaceae* en Cuba está representada por dos géneros (*Magnolia* y *Talauma*) con seis especies nativas, cinco endémicas, y una especie cultivada. *Magnolia cubensis* Urb. crece en bosque pluvial montano o bosque nublado, entre 700 y 1 800 msnm, sobre suelo ácido (Palmarola *et al.*, 2014). Esta especie presenta dos subespecies: *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *cubensis*, endémica de Cuba oriental y catalogada como Amenazada (González-Torres *et al.*, 2007) y En Peligro de extinción (dato ined. basado en Cicuzza *et al.*, 2007) y *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* Imkhan., endémica de Cuba central y catalogada como En Peligro crítico de extinción según Cicuzza *et al.* (2007). Aunque la clave para la identificación de las especies de *Magnolia*, se basan principalmente en las características del indumento y en menor medida de las flores y las hojas; la clave para separar las subespecies de *Magnolia cubensis* emplea como caracteres discriminatorios la forma de las hojas y secundariamente la venación. No obstante, las hojas de esta especie presentan variaciones continuas, lo cual dificulta la identificación, mediante este carácter, a nivel de subespecies. Debido a esta problemática y a partir de la caracterización de la forma de la hoja de ambas subespecies, la presente investigación tiene como objetivo la evaluación de dos métodos de morfometría geométrica: puntos claves y contorno para la identificación de *M. cubensis* subsp. *acunae* y *M. cubensis* subsp. *cubensis*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material de estudio y toma de las muestras

Para el estudio fueron escaneadas hojas de 20 ejemplares de cada subespecie, depositados en el Herbario del Jardín Botánico Nacional de Cuba Johannes Bisse. En cada ejemplar se seleccionaron de dos a tres hojas al azar, que no presentaran daños en el margen. Las imágenes digitales de las muestras se obtuvieron con un escáner (resolución de 400 dpi), empleando un fondo blanco para aumentar el contraste de la imagen y se importaron como archivos de mapa de bits (24 bits).

### Toma de los datos morfométricos

Se colocaron 14 puntos clave en el margen de la hoja, con el empleo de una rejilla, cuyo inicio y final fue ajustado a la base y el ápice de la hoja. Esto garantizó colocar en todas las hojas, independientemente de su tamaño, igual número de puntos clave (fig. 1). De estos, dos fueron de Tipo I o anatómicos, en los cuales la homología es apoyada por evidencias locales (base y ápice de la lámina foliar) y 12 fueron de Tipo II o matemáticos, donde la homología es apoyada por la geometría, o sea, no son funcionalmente equivalentes (Bookstein, 1991). A la matriz de coordenadas "x" y "y" de los puntos claves se les realizó un registro Procrustes generalizado según lo recomendado por Klingenberg y

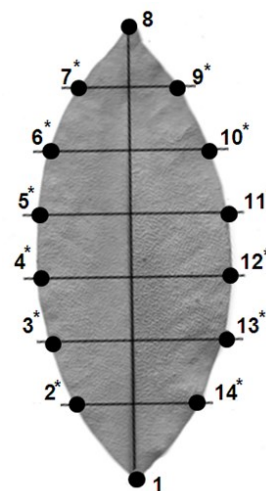


Figura 1: Puntos claves colocados en el margen de las hojas de *Magnolia cubensis*, Magnoliaceae. (\*) Puntos de Tipo II o matemáticos.

Figure 1: Landmarks located in the outline of *Magnolia cubensis* leaves, Magnoliaceae. (\*) Type II or mathematics landmarks.

McIntyre (1998). Este procedimiento re-escala y rota las configuraciones de puntos hasta lograr su máxima superposición hasta que se minimicen las medias procrustes (el promedio de las distancias entre parejas de puntos claves homólogos). Posteriormente se redujo la información de la matriz estandarizada de puntos claves con un análisis de componentes principales (ACP).

Se caracterizó el contorno por los Coeficientes Elípticos de Fourier de los primeros 10 armónicos. Los contornos cerrados de las hojas fueron automáticamente extraídos y descritos por código de cadena, un sistema de código que describe la información geométrica de las formas (Freeman, 1974). A partir del código de cadena se calcularon los coeficientes de los descriptores elípticos de Fourier (DEF), en el Chc2Nef, mediante el procedimiento basado en la elipse del primer armónico (Kuhl y Giardina, 1982). Estos fueron normalizados para eliminar las diferencias de tamaño, posición, rotación y punto de partida del trazado del contorno entre las diferentes hojas y analizar posteriormente solo las variaciones de forma.

Los coeficientes normalizados de los DEF no pueden ser usados directamente como características de forma de la hoja, pues el número de coeficientes es muy grande y el significado morfológico de cada coeficiente es difícil de interpretar. Por lo que se realizó un análisis de componentes principales en el PrinComp según lo propuesto por Rohlf y Archie (1984), con el objetivo de resumir la información contenida en los coeficientes de Fourier. Este se basó en la matriz de varianza-covarianza de los coeficientes. Para cada individuo se calculó el consenso de los puntos claves y la media de los Coeficientes Elípticos de Fourier entre las hojas empleadas.

### Caracterización de la forma de la hoja e identificación de las subespecies

La variación en forma analizada por puntos clave se visualizó mediante las rejillas de deformación y se realizó la reconstrucción gráfica de los contornos para cada componente en el PrinPrint, por transformación inversa de Fourier de los coeficientes calculados, según el procedimiento de Furuta et al. (1995). En este procedimiento, los coeficientes de los DEF son calculados de forma tal que el puntaje para cada componente principal sea igual a la media más menos dos veces la desviación estándar (que es la raíz cuadrada del autovalor del componente) y los puntajes de los componentes restantes sean cero.

Con los puntajes de los primeros siete autovalores obtenidos de la reducción dimensional de la matriz estandarizada de puntos claves y de los Coeficientes Elípticos de Fourier para 10 armónicos, se realizaron análisis de función discriminante (AFD) para analizar la posibilidad de emplear la forma de la hoja para diferenciar las subespecies por ambos métodos. Los datos fueron analizados utilizando la serie Tps, SHAPE 1.3 y el programa Past 2.17.

### RESULTADOS

Las rejillas de deformación mostraron que el consenso se expandió en el centro y se contrajo en el ápice con relación a *M. cubensis* subsp. *acunae*; mientras que, se contrajo en el centro y se expandió en el ápice con relación a *M. cubensis* subsp. *cubensis* (fig. 2). En la figura 3 se muestra la reconstrucción gráfica de los contornos de las hojas de la especie y las dos subespecies, para los tres primeros componentes principales, los cuales lograron explicar el 90 % de la variabilidad total.

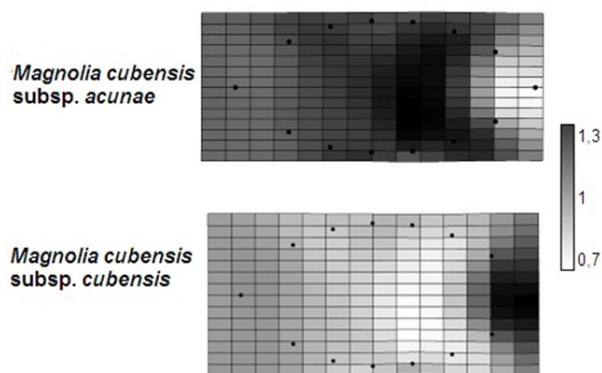


Figura 2. Deformación de las hojas de *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* y *M. cubensis* subsp. *cubensis* (tomada como configuración de referencia el consenso de la especie). En la escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

Figure 2. Deformation of the leaves of *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* and *M. cubensis* subsp. *cubensis* (used as reference configuration the species consensus). In the gray scale values of 1 represent that there is no deformation in that point, values larger than 1 indicate expansion and lesser than 1 indicate compression.

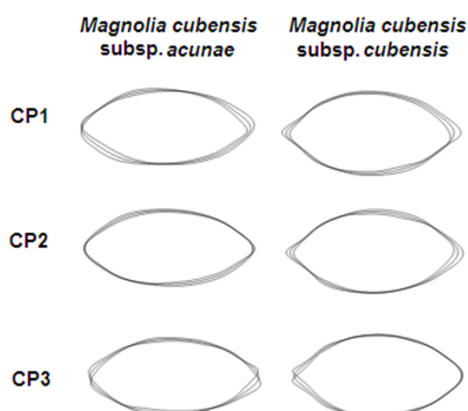


Figura 3. Reconstrucción gráfica de los contornos de las hojas de *M. cubensis*, *M. cubensis* subsp. *acunae* y *M. cubensis* subsp. *cubensis*. Se muestra la forma media + 2DE (desviación estándar) de los tres primeros componentes principales (CP1, CP2 y CP3) obtenida por transformación inversa de Fourier.

Figure 3. Graphic reconstruction of the outline of leaves in *M. cubensis*, *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* and *M. cubensis* subsp. *cubensis*. Mean form + 2SD (standard deviation) of the first three main component (PC1, PC2 and PC3) obtained by inverse Fourier transformation.

Al analizar todos los individuos de manera simultánea, independientemente de la subespecie a la que pertenecen, se puede caracterizar la variación de la forma de la hoja en la especie. En el análisis de componentes principales con los datos de los puntos clave el 78,25 % de la varianza total fue explicada por los dos primeros componentes (figura 4A). El extremo negativo del componente uno, correspondió a un individuo de *M. cubensis* subsp. *acunae*, que presentó la mayor deformación en los puntos 1, 5, 6, 8, 12 y 13; mientras que el extremo positivo estuvo representado por un individuo de *M. cubensis* subsp. *cubensis*, con mayor deformación en los puntos 1, 9 y 10. En el segundo componente principal, los puntos más deformados fueron el 1, 7 y 9 para ambos extremos, en los cuales se encontraron ambas subespecies. En el análisis de componentes principales con los datos del contorno, los dos primeros ejes explicaron el 86,19 % de la varianza. En ambos componentes se observan representantes de las dos subespecies a lo largo de todo el eje de coordenadas, por lo que no se puede asociar a cada una de las subespecies con una forma extrema específica (fig. 4B).

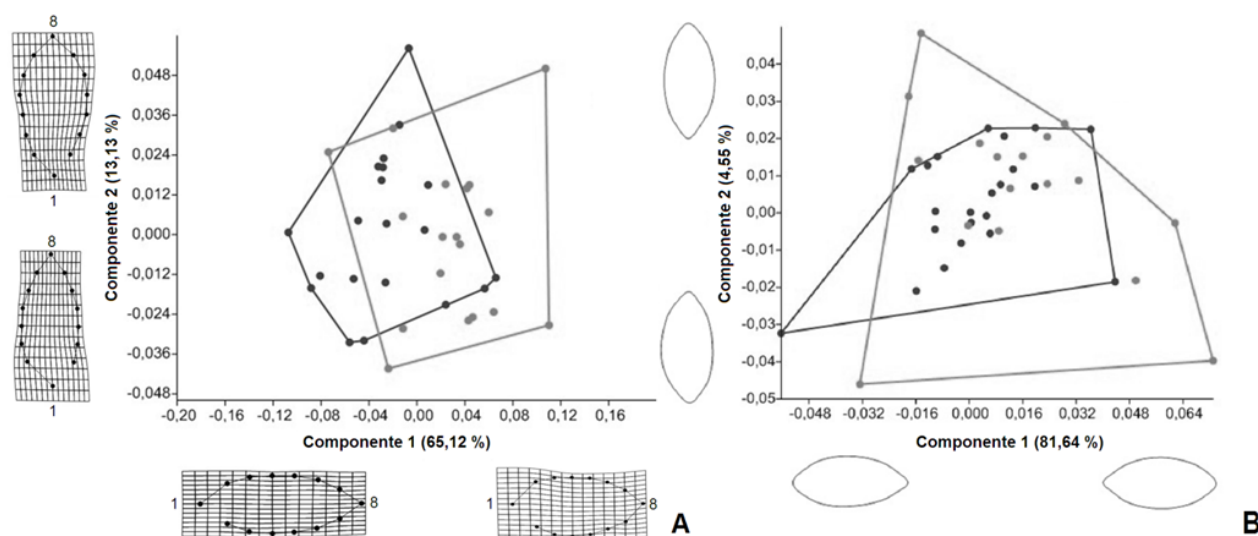


Figura 4: Representación del análisis de componentes principales de la matriz estandarizada de las coordenadas de los puntos claves (A) y de los Coeficientes Elípticos de Fourier para 10 armónicos (B) de las dos subespecies de *Magnolia cubensis*. En A las rejillas de deformación muestran las características de forma relacionadas con los extremos de variación a lo largo de cada eje, los números indican los puntos correspondientes a la base (1) y al ápice (8). En B se muestra la reconstrucción de la variación de forma a lo largo de cada componente principal ( $\pm 2DE$ ). *M. cubensis* subsp. *acunae* (•) y *M. cubensis* subsp. *cubensis* (○).

Figure 4: Representation of the Principal Component Analysis of the standardized matrix of landmark coordinates (A) and of the Elliptic Fourier Coefficients for 10 harmonics (B) of the two subspecies of *Magnolia cubensis*. In A deformation grids shown shape characteristics related to top variations along each axes, numbers indicate points corresponding to the base (1) and tip (8). In B it is shown the reconstruction of shape variation along each principal component ( $\pm 2SD$ ). *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* (•) and *M. cubensis* subsp. *cubensis* (○).

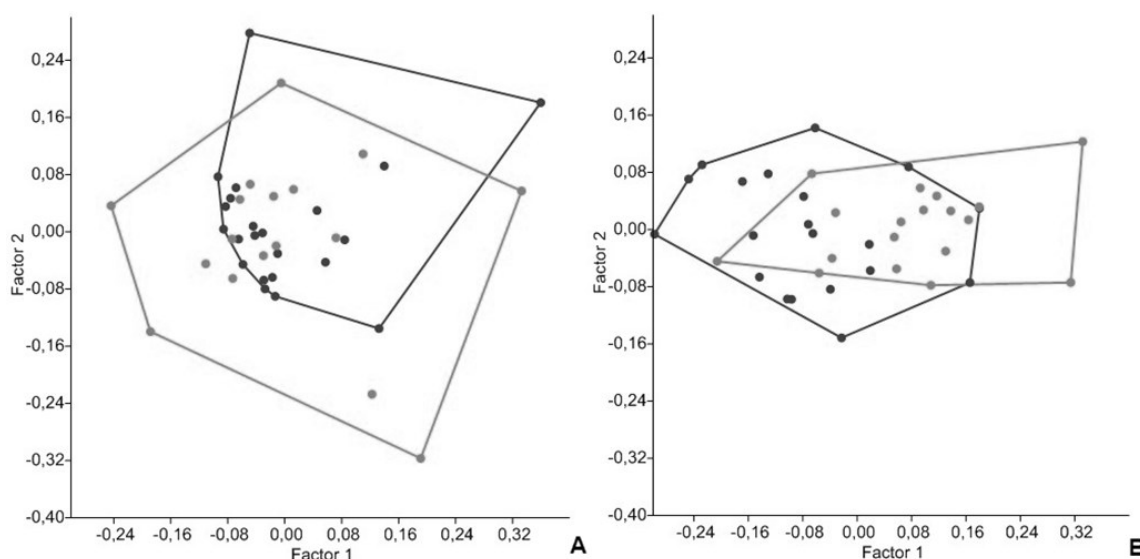


Figura 5. Representación del análisis discriminante, empleando como variables de forma los primeros 7 componentes principales resultantes de la reducción dimensional de la matriz estandarizada de las coordenadas de los puntos claves (A) y de los Coeficientes Elípticos de Fourier para 10 armónicos (B) de las dos subespecies de *Magnolia cubensis*. *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* (•) y *M. cubensis* subsp. *cubensis* (○).

Figure 5. Representation of discriminant analysis, using as shape variables the first 7 principal components obtained from dimensional reduction of the standardized matrix of landmark coordinates (A) and Elliptic Fourier Coefficients for 10 harmonics (B) of the two subspecies of *Magnolia cubensis*.

La representación gráfica del análisis discriminante que incluye como variables de forma los primeros siete autovalores resultantes de la reducción dimensional de la matriz estandarizada de puntos claves y de los DEFs, mostró superposición en la nube de puntos para ambos análisis (Fig. 5). La matriz de clasificación con las variables obtenidas por contorno mostró un 4% de discriminación correcta mayor que la matriz resultante de los datos de los puntos claves (Tabla I).

## DISCUSIÓN

Los resultados mostrados por las rejillas de deformación muestran correspondencia con la descripción de las subespecies (Palmarola *et al.*, 2014). *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* presenta hojas anchamente ovado-elípticas, lo que explica la expansión hacia el centro y la contracción hacia el ápice de la forma promedio al compararla con la de esta subespecie. Lo contrario ocurre al realizar la comparación con *M.*

Tabla I. Número de individuos y porcentaje de discriminación correcta del análisis de función discriminante, a partir de variables de forma (7 componentes principales resultantes de la reducción dimensional de la matriz estandarizada de las coordenadas de los puntos claves y de los Coeficientes Elípticos de Fourier para 10 armónicos), que describen el contorno de las hojas de las dos subespecies de *Magnolia cubensis*.

Table I. Number of individuals and percentage of correct discrimination by Discriminant Function Analysis from shape variables (7 principal components resulting from dimensional reduction of the standardized matrix of landmark coordinates and Elliptic Fourier Coefficients for 10 harmonic), describing the outline of the leaves of the two subspecies of *Magnolia cubensis*.

Especie	Nº individuos	Porcentaje correcto	
		Puntos claves	Contorno
<i>Magnolia cubensis</i> subsp. <i>acunae</i>	20	80,00	86,36
<i>Magnolia cubensis</i> subsp. <i>cubensis</i>	18	77,78	76,47
Promedio	-	78,94	82,05



*cubensis* subsp. *cubensis*, cuyas hojas tienden a ser ovado-elípticas u obovado-elípticas.

La reconstrucción gráfica de los contornos de las hojas de las dos subespecies no permitió visualizar el aporte a la forma de la hoja que realiza cada componente. Aunque en ocasiones se puede evaluar que parte de la variabilidad total explica cada componente (Iwata *et al.* 1998), en el presente estudio no se aprecia con claridad.

Aun cuando la variación en la forma de las hojas tiene un componente taxonómico fuerte, ya que esta varía entre especies, subespecies y variedades en las plantas, también es un rasgo altamente sensible a la influencia de factores bióticos y abióticos. Numerosas investigaciones han demostrado que la forma de las hojas de las angiospermas está fuertemente afectada por la disponibilidad de agua (Klich, 2000; Sack y Frole, 2006), la temperatura (Royer *et al.*, 2009) o la iluminación (Yano y Terashima, 2004; Xu *et al.*, 2009). Los cambios ambientales pueden producir con frecuencia alteraciones en la morfología foliar, incluso para una misma especie que se desarrolle en diferentes hábitats. Sin embargo, las dos subespecies analizadas en el presente estudio, aunque están separadas geográficamente, comparten hábitats con características similares, pues ambas crecen sobre suelo ácido en bosque pluvial montano o bosque nublado (Palmarola *et al.*, 2014). Estas formaciones vegetales en Cuba se desarrollan en zonas de alto nivel de pluviosidad (Capote y Berazaín, 1984). Además, esta especie se considera, según el criterio de Dawkins (1958) para la clasificación de las clases de copa, como un árbol emergente. En las especies emergentes, la parte superior de la copa está totalmente expuesta a la luz vertical y libre de competencia lateral, al menos, en un cono invertido de 90° con el vértice en el punto de la base de la copa. Estas semejanzas en las condiciones de iluminación, disponibilidad de agua y nutrientes, en las que los individuos de *M. cubensis* se desarrollan, puede verse reflejado en similitudes en la morfología foliar de ambas subespecies.

El análisis por puntos claves mostró más errores de clasificación. Según Jensen (2003) este método es superior al de contorno, especialmente cuando los puntos claves representan puntos homólogos bien definidos biológicamente. Se debe tener en cuenta que en estos estudios se han utilizado variables derivadas de la matriz de puntos claves, como pueden ser el tamaño del centroide, la sumatoria de las distancias

euclídeas o las distancias Procrustes. En la presente investigación no se tuvieron en cuenta pues se decidió emplear variables equivalentes en ambos métodos, que son precisamente los puntajes de los autovectores. En próximos estudios, se puede evaluar el poder discriminatorio de estas variables derivadas de la matriz de puntos clave para la clasificación de ambas subespecies.

En general, el análisis con puntos clave permite visualizar y caracterizar mejor las diferencias en la forma de las hojas entre ambas subespecies, mientras que, el de contorno resulta más eficiente en la clasificación. Se sugiere, por lo tanto, utilizar ambos métodos de morfometría geométrica, si se emplea el análisis digital de imágenes de las hojas para la identificación de las subespecies de *Magnolia cubensis*. Según Viscosi y Cardini (2011) en muchos estudios de taxonomía, ecología y otros campos de la botánica y la biología, la aplicación de estos métodos contribuyen a incrementar el rigor científico en la descripción de importantes aspectos de la dimensión fenotípica de la biodiversidad. Por ello, aunque en el presente estudio no se logró la discriminación total de las subespecies, se debe considerar el empleo de la morfometría geométrica en la identificación de otras especies de difícil clasificación de la flora cubana.

**AGRADECIMIENTOS:** A Alejandro Palmarola por la información brindada sobre la familia *Magnoliaceae* en Cuba. Al Herbario *Johannes Bisse* del Jardín Botánico Nacional de Cuba, por facilitar el material de colecciones para la realización de la presente investigación. A *Botanic Gardens Conservation International (BGCI)* y *Magnolia Society International (MSI)* por el apoyo para la realización de esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Adams, D. C., F. J. Rohlf y D. E. Slice (2004) Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Ital. J. Zool.* 71: 5-16.
- Bell, A. y A. Bryan (2008) *Plant Form: An Illustrated Guide to Flowering Plant Morphology*. Timber Press, London. 432 pp.
- Bookstein, F. L. (1991) *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge Univ. Press, Nueva York. 435 pp.
- Canché-Delgado, A., S. E. García-Jain, M. S. Vaca-Sánchez y P. Cuevas-Reyes (2011) Cambios en la morfología floral y foliar en *Crataegus tracyi*: importancia de la

- asimetría fluctuante como indicador de estrés ambiental. *Biológicas* 13(1): 44–49.
- Capote, R. P. y R. Berazaín (1984) Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. *Rev. Jardín Bot. Nac.* 5 (2): 27–75.
- Cicuzza, D., A. Newton y S. Oldfield (2007) The Red List of *Magnoliaceae*. *Fauna & Flora Intern.* 52 pp.
- Dawkins, H. C. (1958) The management of natural tropical high-forest with special reference to Uganda. Institute Paper No 34. Imperial Forestry Institute, Oxford. 155 pp.
- Dryden, I. L. y K. V. Mardia (1998) Statistical shape analysis. Wiley, Nueva York, 347 pp.
- Freeman, H. (1974) Computer processing of line drawing images. *Comp. Surv.* 6:57–97.
- Furuta, N., S. Ninomiya, S. Takahashi, H. Ohmori *et al.* (1995) Quantitative evaluation of soybean (*Glycine max* L., Merr.) leaflet shape by principal component scores based on elliptic Fourier descriptor. *Breed. Sci.* 45: 315–320.
- González-Torres, L. R., A. T. Leiva, R. Rankin y A. Palmarola (2007) Categorización preliminar de taxones de la Flora de Cuba – 2007. Editorial Feijóo. Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana, La Habana. 74 pp.
- Hearn, D.J. (2009) Shape analysis for the automated identification of plants from images of leaves. *Taxon* 58: 934–954.
- Henderson, A. (2006) Traditional morphometrics in plant systematics and its role in palm systematics. *Bot. J. Linn. Soc.* 151: 103–111.
- Iwata, H., S. Niikura, S. Matsuura, Y. Takano *et al.* (1998) Evaluation of variation of root shape of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.) based on image analysis using elliptic Fourier descriptors. *Euphytica* 102: 143–149.
- Jensen, R. J. (2003) The conundrum of morphometrics. *Taxon* 52: 663–671.
- Klich, M. G. (2000) Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environ. Exp. Bot.* 44: 171–183.
- Klingenberg, C. P. y G. S. McIntyre (1998) Geometric morphometric of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with Procrustes methods. *Evolution* 52(5): 1363–1375.
- Klingenberg, C. P., M. Barluenga y A. Meyer (2002) Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution* 56(10): 1909–1920.
- Klingenberg, C. P., S. Duttke, S. Whelan y M. Kim (2012) Developmental plasticity, morphological variation and evolvability: a multilevel analysis of morphometric integration in the shape of compound leaves. *J. Evol. Biol.* 25: 115–129.
- Kuhl, F. P. y C. R. Giardina (1982) Elliptic Fourier features of a closed contour. *Comp. Graphics Image Processing* 18: 236–258.
- Marcus, L. F. (1990) Traditional morphometrics. En: Rohlf F. J. y F. L. Bookstein (Eds.) *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop*. Ann Arbor: University of Michigan press, Michigan 380 pp.
- McLellan, T. (1993) The roles of heterochrony and heteroblasty in the diversification of leaf shapes in *Begonia dregei* (Begoniaceae). *Am. J. Bot.* 80:796–804.
- Ohsawa, R., T. Tsutsumi, H. Uehara, H. Namai *et al.* (1998) Quantitative evaluation of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) kernel shape by elliptic Fourier descriptor. *Euphytica* 101:175–183.
- Palmarola, A., M. Romanov y A. V. F. Ch. Bobrov (En prensa) *Magnoliaceae*. Flora de la República de Cuba. Serie A.
- Rohlf, F. J. y J. W. Archie (1984) A comparison of Fourier methods for the description of wing shape in mosquitoes (*Ritiera culicidae*). *Syst. Zool.* 33: 302–317.
- Royer, D. L., L. A. Meyerson, K. M. Robertson y J. M. Adams (2009) Phenotypic plasticity of leaf shape along a temperature gradient in *Acer rubrum*. *PLoS ONE* 4, e7653. doi:10.1371/journal.pone.0007653
- Sack, L. y K. Frole. 2006. Leaf structural diversity is related to hydraulic capacity in tropical rain forest trees. *Ecology* 87, 483–491. doi:10.1890/05-0710
- Viscosi, V. y A. Cardini (2011) Leaf Morphology, Taxonomy and Geometric Morphometrics: A Simplified Protocol for Beginners. *PLoS ONE* 6(10): e25630. doi:10.1371/journal.pone.0025630.
- Viscosi, V., A. Loy y P. Fortini (2010) Geometric morphometric analysis as a tool to explore covariation between shape and other quantitative leaf traits in European white oaks. *Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems*: 257–261.
- Viscosi, V., O. Lepais, S. Gerber y P. Fortini (2009) Leaf morphological analyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: A comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosystems* pp. 1–11.
- White, R., H. C. Rentsch y T. Verwilt (1988) Automated image acquisition and morphometric description. *Can. J. Bot.* 66: 450–459.
- Xu, F., W. Guo, W. Xu, Y. Wei y R. Wangm (2009) Leaf morphology correlates with water and light availability: What consequences for simple and compound leaves? *Progress in Nat. Sci.* 19 (2009): 1789–1798.
- Yano, S. e I. Terashima (2004) Developmental process of sun and shade leaves in *Chenopodium album* L. *Plant, Cell & Environ.* 27: 781–793.

• • •

Editor para correspondencia: Dr. Dennis Denis Ávila

REVISTA CUBANA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

RNPS: 2362 • ISSN: 2307-695X • VOL. 3 • N.º 2 • MAYO—JULIO • 2014 • pp. 53-60