



ARTÍCULO ORIGINAL

Aplicación de redes neurales a la fotoidentificación de los huevos de garzas cubanas (Aves: Ardeidae)

Neural network application to photoidentification of Cuban egret and heron eggs (Aves: Ardeidae)

Dennis Denis Ávila¹ y Jorge Luis Guerra Solana²

¹ Facultad de Biología,
Universidad de La Habana

² Instituto de Ecología y
Sistemática, CITMA, Cuba

* Autor para correspondencia:
dda@fbio.uh.cu

RESUMEN

Las especies de garzas (Aves: Ardeidae) no son fácilmente identificables a simple vista a partir de sus huevos, similares en forma, color y dimensiones, pero la identificación de los nidos es importante para estudios de ecología reproductiva. En este trabajo, se evalúa la posibilidad de desarrollar un sistema automatizado para su identificación a partir de fotografías digitales y una red neural de tipo perceptrón multicapa. Se emplearon fotos de 167 huevos de 9 especies, depositados en las colecciones del Instituto de Ecología y Sistemática, Cuba. Se describió la forma de los huevos con los componentes principales efectivos de los coeficientes de las funciones de Fourier, y las dimensiones por los diámetros mayores, menores y el volumen estimado. La muestra se dividió en datos de entrenamiento (60 %) y de validación (40 %). Se confeccionaron redes neurales formadas por una capa de entrada con siete neuronas, una capa oculta de ocho neuronas y la capa de salida con nueve neuronas. Estas se entrenaron con un procedimiento de búsqueda automática (probando dos funciones de error y cuatro funciones de activación) y se seleccionó la mejor de 20 redes entrenadas. La utilidad de la red se evaluó a través de las tasas de error y por el cálculo de los errores de omisión/comisión en una matriz de confusión. La configuración más eficiente lograda tuvo a la entropía como función de error, como función de activación de la capa oculta la logística y la *Softmax* en la capa de salida. Esta red logró una clasificación completa con los datos de entrenamiento y de un 89,7 % con los datos de validación. Los errores de clasificación estuvieron relacionados con los huevos del *Nyctanassa violacea*, confundidos con *Ardea alba*, *Egretta rufescens* y *Egretta thula*. Los resultados demuestran que estos huevos pueden ser identificados con relativamente alta precisión a partir de este procedimiento, por lo que la red desarrollada puede servir para una aplicación informática que permitiría una rápida identificación de los nidos encontrados sin necesidad de vigilar la actividad de los parentales.

Palabras clave: identificación automatizada, procesamiento de imágenes, aves zancudas

Recibido: 2015-07-16

Aceptado: 2015-09-20

ABSTRACT

Egret and herons eggs (Aves: Ardeidae) are not easily identified for its similarities in shape, color and size, but nest identification is important to studies of reproductive ecology. In the present paper we assess the efficiency of a neural network - multilayer perceptron trained for its identification using variables extracted from digital images. We used pictures of 167 eggs of 9 species, of the scientific collections at the Systematic and Ecology Institute, Cuba, previously used to probe slight differences among species. The egg shape was describes by Principal Components of coefficient matrix from Fourier functions applied to it contours and lineal dimensions (maximum and minimum diameter and estimated volume). Data were divided into training (60 %) and validation (40 %) samples. Neural networks were developed with an initial layer with seven neurons, a hidden layer with eight neurons and output layer with nine neurons. They were trained using an automatic network search (with two error functions and four activation functions) and the best of 20 trained networks were retained. Neural network validity was evaluated using training / validating error rates, and estimating omission and commission errors in a confusion matrix. Best configuration identified was using entropy as error function, logistic as activation function of hidden layer and Softmax in output layer. This net achieves a full correct classification with training data and 89,7 % with validation data. The errors were associated to Nyctanassa violacea eggs, that were confused with Ardea alba, Egretta rufescens and Egretta thula's. Results shown that egrets and herons eggs, even though its shape and size similarities, can be identified with a relatively high precision using this procedures. Neural network developed can serve as core to programming an informatics application that aloud a rapid identification on nest founded with eggs without the need to monitored parents activity.

Keywords: automatic identification, image processing, wading birds

INTRODUCCIÓN

Un papel importante de la biología reproductiva de las aves lo ha tenido la caracterización morfológica y funcional de los huevos. Muchos trabajos se han enfocado en la descripción de sus dimensiones (Jover *et al.*, 1993), su formas (Preston 1968, Todd y Smart 1984, Barta y Székely 1997, Janiga 1996); patrones de coloración o manchado (Verbeek 1990, Weidinger 2001, Gosler *et al.* 2005), grosor y estructura de su cáscara (Coulson *et al.* 1969, Ricklefs 1984, Martin *et al.* 2006), composición interna (Ricklefs 1984) y en su relación con patrones ecológicos o el éxito reproductivo (Jover *et al.* 1993). En Cuba, varios han sido los trabajos enfocados en el estudio de diferentes aspectos de los huevos de las aves acuáticas (Denis y Ponce de León 2007, Denis y Rodríguez 2007, Denis y Olavarrieta 2011, Denis 2015).

Las garzas son un amplio grupo de grandes especies de aves acuáticas caracterizadas por la cría en colonias con nidos densamente agrupados y en sus estudios la capacidad de identificar correcta y rápidamente la especie de un nido es importante para la investigación y la conservación, ya que el disturbio asociado al trabajo en las colonias puede inducir efectos negativos en la supervivencia de las especies (ver: Franchimont 1986, Erwin 1989, Frederick y Collopy 1989). Sin

embargo, los nidos de las garzas son estructuras rudimentarias con pocas características diferenciables que permitan la identificación precisa de la especie en ausencia de los parentales. Así mismo, los huevos son de color gris a azul claro y sus diferencias morfométricas interespecíficas han sido descritas desde el punto de vista cuantitativo de manera exhaustiva (Ruiz *et al.* 1992; Denis y Olavarrieta 2011; Denis 2015), mayormente, a partir de dimensiones e índices de forma, que han evidenciado la baja eficiencia en su identificación por estas variables (Ruiz *et al.* 1992).

El empleo de procedimientos automatizados para identificar especies con características extraídas de imágenes digitales es una línea actualmente en pleno desarrollo dentro de la bioinformática (Bisby 2000, Gaston y O'Neill 2004, MacLeod 2008) y que ha tenido un particular desarrollo en el caso de las plantas, en las que a partir de las imágenes se extraen características lineales o variables de forma, del campo de la morfometría geométrica, y se emplean numerosas técnicas de reconocimiento de patrones (Lee y Chen 2006; Hearn 2009, Singh *et al.* 2013, Belhumeur *et al.* 2008, Hernández 2014). Las hojas de las plantas pueden presentar información taxonómica específica que ha sido aplicada a la identificación exitosamente, a pesar de

tener una alta plasticidad, variabilidad y convergencias entre especies (Cope *et al.* 2012). Numerosos sistemas han surgido y se continúan desarrollando: LeafSnap (Kumar *et al.* 2012), LeafView (Sean *et al.* 2006), entre otros. Estos métodos aplicados a hojas logran precisiones entre 72 % y 98 % (ArunPriya y Thanamani 2012, Kaur y Kaur 2012). Estos antecedentes sugieren la posibilidad de que los mismos métodos pudieran ser eficientes en la identificación de los huevos de las aves.

Denis y Olavarrieta (2011) analizaron las diferencias en forma de los huevos en nueve especies de garzas, por medio de la modelación de su contorno con funciones de Fourier, método que posteriormente Denis (2014) sugirió generalizar al estudio del significado biológico de las variaciones en las formas de estas estructuras, partiendo del éxito en su aplicación en plantas (Kincaid y Schneider 1983, West y Noble 1984, Dickinson *et al.* 1987, Neto *et al.* 2005, Du *et al.* 2006, Du *et al.* 2007). El procedimiento de discriminación o clasificación es uno de los puntos álgidos en todos estos sistemas, que inicialmente empleaban algoritmos de identificación basados en análisis multivariados clásicos: variantes de clasificación por el vecino más cercano y análisis discriminante lineal (Hernández 2014) pero que recientemente se han enfocado en métodos más complejos como los de minería de datos, algoritmos genéticos, árboles de decisión o redes neurales, derivadas de los sistemas de inteligencia artificial, a partir de sus múltiples ventajas (Du *et al.* 2005; Sosa *et al.* 2013, Clark y Warwick 1998, Iranmanesh *et al.* 2012, Wu *et al.* 2007). Las redes neurales han mostrado ser potentes, rápidas y fáciles de implementar en dispositivos portables (Kim *et al.* 2009; Pandolfi *et al.* 2009).

En los trabajos previos con los huevos de las garzas, los análisis discriminantes mostraron la imposibilidad de identificar las especies a partir de la forma, aunque sí se logran diferenciar grupos ecológicos (Denis, 2014). Los huevos de las aves presentan retos similares en cuanto a la identificación de las especies por medio de fotografías digitales: son estructuras relativamente simples, de contornos cerrados, sin puntos morfológicos claves. Por esta razón, en el presente trabajo se evalúa la posibilidad de desarrollar un sistema automatizado para la identificación de los nidos de las especies de garzas coloniales a partir de variables extraídas de fotografías digitales de los huevos, empleando una red neural de tipo perceptrón multi-

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron fotografías de los 167 huevos de nueve especies de garzas utilizadas por Denis y Olavarrieta (2011) a partir de las colecciones del Instituto de Ecología y Sistemática. Las fotografías fueron procesadas digitalmente (recortadas, manipuladas en brillo y contraste para realzar bordes, binarizadas y eliminado el ruido) y con el programa SHAPE se extrajeron los códigos de cadena del contorno y se calcularon los coeficientes de las funciones de Fourier (EFD), con cuatro armónicos, para describir sus formas (refiérase a dicho artículo para detalles de su obtención y procesamiento). Como variables se tomaron las medidas morfológicas clásicas (diámetro mayor, diámetro menor y volumen), con un calibrador Vernier de 0,01 mm de precisión, y variables de forma (cuatro primeros componentes principales a partir de los coeficientes de las series de Fourier: EFD-PC1, EFD-PC2, EFD-PC3 y EFD-PC4). Las muestras fueron divididas en datos de entrenamiento y de validación de la siguiente forma: *Egretta thula* (16 y 15), *Egretta tricolor* (12 y 12), *Egretta caerulea* (10 y 6), *Egretta rufescens* (8 y 7), *Ardea alba* (6 y 5), *Ixobrychus exilis* (7 y 7), *Butorides virescens* (10 y 10), *Nycticorax nycticorax* (3 y 2) y *Nyctanassa violacea* (8 y 8). De esta manera los datos de validación conformaron alrededor del 40 % de la muestra total.

La búsqueda de la red neural más eficiente (de tipo perceptrón multicapa) se desarrolló mediante un análisis exploratorio inicial en el programa *Easy Neural Network* v17.0, y luego un procedimiento iterativo de búsqueda de la red más eficiente en el programa *Statistica* v8.0. La topología básica fue una red formada por una capa de entrada con siete neuronas, correspondientes a cada variable, una capa oculta de ocho neuronas y la capa de salida con nueve, una para cada especie a identificar. En el paso exploratorio se evaluó la capacidad discriminatoria de las variables con funciones lineales de activación en todas las neuronas, una tasa de aprendizaje de 0,1; *momentum* de 0,66 y umbral de parada cuando el error de entrenamiento disminuyera por debajo de 0,01 o se alcanzase un máximo de 15 000 ciclos. El aprendizaje de la red fue representado a través del comportamiento de los errores máximo, promedio y mínimo. Para identificar la red más eficiente se desarrolló el procedimiento de búsqueda automática de red, entrenando 20 redes y reteniendo las cinco mejores. Se probó con dos funciones de error (suma de cuadrados y entropía cruzada) y cuatro funciones de activación (identidad, logís-

tica, tangente hiperbólica y exponencial negativa) tanto para las neuronas de la capa oculta como de la capa de salida. Se mantuvieron las opciones de disminución regularizada del peso para los pesos de todas las conexiones y un algoritmo de entrenamiento BFGS por su mayor tasa de convergencia con menos ciclos de entrenamiento (Bishops 1995). La utilidad de la red se evaluó, además, a través de las tasas de error de entrenamiento y validación. El potencial de clasificación para cada especie se analizó por medio de una matriz de confusión y del cálculo de los porcentajes de errores de omisión y de comisión.

RESULTADOS

El perceptrón multicapa básico con funciones de activación lineales en todas sus capas se entrenó hasta reducir a cero los errores de clasificación con los datos de entrenamiento y su proceso de aprendizaje se representa en la figura 1. Puede observarse como la tendencia de los errores máximos de entrenamiento tuvo inicialmente un comportamiento un tanto errático, hasta estabilizarse en su asíntota mínima pero el error promedio mantuvo una tendencia estable a disminuir. El esquema representa la topología de la red resultante donde el grosor de las líneas representa el peso de dicha conexión, que se relaciona directa-

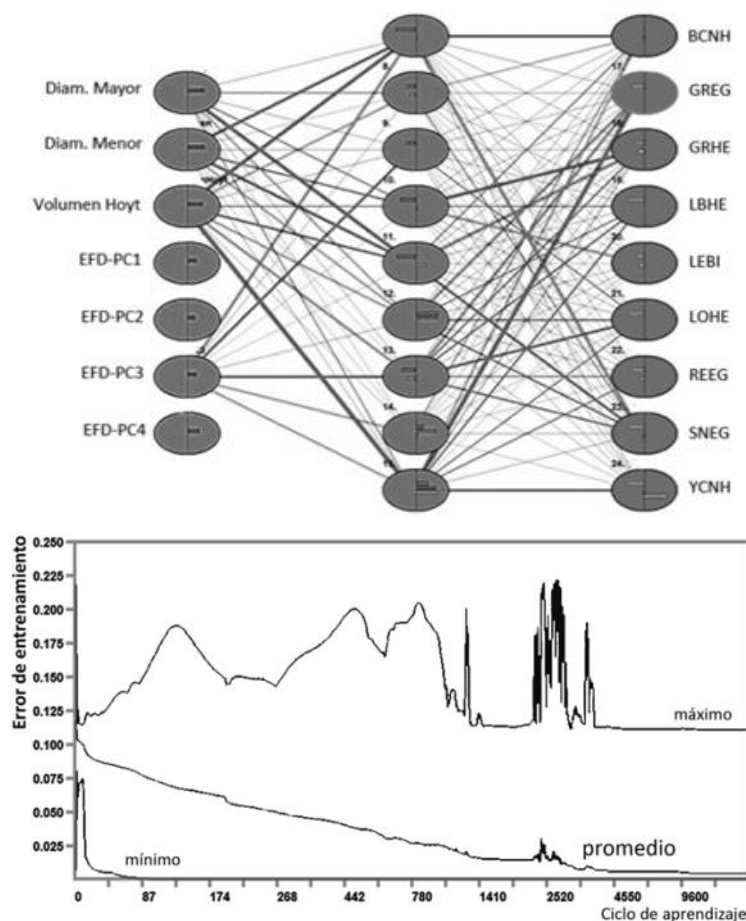


Figura 1: Tendencias de los errores de entrenamiento durante los ciclos de aprendizaje y representación esquemática de la red neural con funciones de activación lineal, ya entrenada para la clasificación de los huevos de garzas. El grosor de las líneas representa los pesos de las conexiones.

Figure 1: Trends in training errors during learning cycles and squematic representation of the neural network with lineal activation function, trained to egrets and herons egg's classification. Line thickness represent the conection weights.

Siglas de las especies / Species abbreviation: SNEG: *Egretta thula*, LOHE: *Egretta tricolor*, LBHE: *Egretta caerulea*, REEG: *Egretta rufescens*, GREG: *Ardea alba*, LEBI: *Ixobrychus exilis*, GRHE: *Butorides virescens*, BCNH: *Nycticorax nycticorax* y YCNH: *Nyctanassa violacea*.

Tabla 1: Resultado de la clasificación automática de huevos de nueve especies de garzas por medio de una red neural entrenada para ello empleando variables de forma y dimensiones lineales.

Table 1: Results of automatic classification of eggs in nine species of egrets and herons by a neural network trained using shape variables and lineal dimensions.

	BCNH	GREG	GRHE	LBHE	LEBI	LOHE	REEG	SNEG	YCNH
Muestra total	5	11	20	25	14	22	15	24	11
Datos para validación	2	1	6	2	4	2	3	6	3
Errores de clasificación	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Clasificados correctamente (%)	2 (100%)	1 (100%)	6 (100%)	2 (100%)	4 (100%)	2 (100%)	2 (66%)	5 (83%)	2 (66%)

Siglas de las especies / *species abbreviation*: SNEG: *Egretta thula*, LOHE: *Egretta tricolor*, LBHE: *Egretta caerulea*, REEG: *Egretta rufescens*, GREG: *Ardea alba*, LEBI: *Ixobrychus exilis*, GRHE: *Butorides virescens*, BCNH: *Nycticorax nycticorax* y YCNH: *Nyctanassa violacea*.

mente con el valor de la variable para la clasificación resultante. Ni el primero ni el cuarto componente de forma (EFD-PC1 y EFD-PC4) tuvieron información suficiente para ser incluidos en la clasificación. Al aplicar esta red al conjunto de datos de validación se mantuvo un error de clasificación general del 35,2 % de errores.

Al ejecutar el procedimiento de búsqueda automática de redes se retuvo como configuración más eficiente, una red con las mismas dimensiones del ejemplo anterior, pero con distintas funciones de activación.

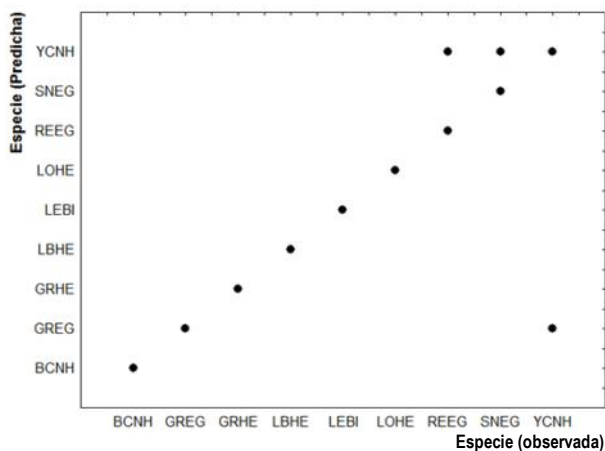


Figura 2: Predicciones de la red neural entrenada para la clasificación automática de los huevos de nueve especies de garzas a partir de variables de forma y dimensiones lineales.

Figure 2: Predictions of the neural network trained for automatic classification of eggs in nine species of egrets and herons using shape variables and lineal dimensions.

Siglas de las especies / *species abbreviation*: SNEG: *Egretta thula*, LOHE: *Egretta tricolor*, LBHE: *Egretta caerulea*, REEG: *Egretta rufescens*, GREG: *Ardea alba*, LEBI: *Ixobrychus exilis*, GRHE: *Butorides virescens*, BCNH: *Nycticorax nycticorax* y YCNH: *Nyctanassa violacea*.

Esta red fue entrenada por el algoritmo BFGS114 y empleó la Entropía como función de error. La función de activación de la capa oculta fue logística y la de la capa de salida fue *Softmax*. Esta red, al igual que la anterior, logró una clasificación completa con los datos de entrenamiento pero aumentó al 89,7 % la efectividad de la clasificación con los datos de validación (Tabla 1).

Los errores de clasificación estuvieron relacionados con los huevos del Guanabá Real: uno de ellos fue incorrectamente asignado al Garzón, y un huevo de Garza Rojiza y otro de Garza de Rizos fueron clasificados como de esta especie (Fig. 2).

DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que los huevos de las especies de garzas, por muy semejantes en forma y tamaño que sean a la vista (demostrado en trabajos previos: Ruiz *et al.* 1992, Denis 2014), pueden ser identificables con alta precisión a partir de este procedimiento aplicado a sus imágenes digitales. La efectividad de esta red fue similar a muchas de las desarrolladas para la identificación de otros objetos biológicos. Por ejemplo, Sean *et al.* (2006) para desarrollar el *Leafview* entrenaron una red neural para clasificar las hojas de 32 especies de plantas a partir de 12 variables extraídas automáticamente de las imágenes, ortogonalizadas en 5 componentes principales, y 1800 datos de entrenamiento, y obtuvieron precisiones superiores al 90 %. El sistema desarrollado por Yang *et al.* (2001) para identificar la especie a partir de los huevos de helmintos en heces fecales humanas, con imágenes digitales y redes neurales, obtuvo una tasa de clasificación correcta del 90,3%.

Los resultados sugieren que el empleo de métodos no lineales robustos, como las redes neurales pueden proveer una vía analítica mucho más potente para este tipo de análisis clasificatorio, en contraposición con los tradicionales métodos multivariados de la estadística clásica que ya habían sido aplicadas en la literatura previa citada. Este análisis, desarrollado en un pequeño grupo de especies de una familia de aves cubanas, pudiera ser extrapolado y ampliado para desarrollar un trabajo general que incluya los huevos de toda la ornitofauna cubana y permita crear un sistema de identificación automatizado.

La red neural desarrollada puede servir de base para la programación de una aplicación informática de este tipo que, en un dispositivo portable con capacidad de toma de imágenes digitales (tablero, celular), permitiría una rápida identificación de los nidos encontrados sin necesidad de vigilar la actividad de los parentales. Con esto se ganaría en tiempo y se minimizaría el disturbio asociado a los programas de monitoreo de las colonias reproductivas, en las cuales la presencia o actividad de los investigadores puede tener efectos negativos (Denis *et al.* 2006). Sistemas automatizados de identificación similares al sugerido se han desarrollado en otros grupos animales, por ejemplo, el ABIS - *Automatic bee identification System* (Steinhage, 2000), ALIS - *Automated Leafhopper Identification System* (Dietrich y Pooley, 1994) y DAISY - *Digital Automated Identification System* (Gauld *et al.*, 2000).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo dado por la Dirección de Colecciones del Instituto de Ecología y Sistemática, y las acertadas sugerencias de los revisores anónimos para la corrección del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- ArunPriya, T. y A. S. Thanamani (2012) A Survey on Species Recognition System for Plant Classification. *Technology* 3 (Junio), pp.1132-1136.
- Barta, Z. y T. Székely (1997) The optimal shape of avian eggs. *Funct. Ecol.* 11: 656-662.
- Belhumeur, P.N., D. Chen, S. Feiner, D. W. Jacobs, *et al.* (2008) Searching the World's Herbaria: A System for Visual Identification of Plant Species. *European Conference on Computer Vision*, pp.1-11.
- Bisby, F. A. 2000. The quiet revolution: biodiversity informatics and the Internet. *Science* 289: 2309-2312.
- Bishops, C. (1995) *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: University Press.
- Clark, J. Y. y K. Warwick (1998) Artificial keys for botanical identification using a multiplayer perceptron neural network (MLP). *Artificial Intelligence Review* 12: 95-115.
- Cope, J. S.; D. Comey; J. Y. Clark; P. Remagnino *et al.* (2012) Plant species identification using digital morphometrics: A review. *Expert Systems With Applications* 39(8), pp.7562-7573.
- Coulson, J. C., G. R. Potts y J. Horobin (1969) Variation in the eggs of the Shag (*Phalacrocorax aristotelis*). *Auk*, 86(2): 232-245.
- Denis, D. (2014) Aplicación de las funciones elípticas de Fourier a la descripción de la forma de los huevos de las aves. *Rev. Biol. Trop.* 62 (4): 1469-1480.
- Denis, D. (2015) Patrones de variación en el tamaño de los huevos en garzas (Aves: Ardeidae) que anidan en en la ciénaga de Birama, Cuba. *Rev. Biol. Trop.* 63(1): 235-248
- Denis, D. y Olavarrieta, U. (2011) ¿Existe isomorfía en los huevos de las especies de la familia Ardeidae (Aves, Ciconiiformes). *Anim. Biodiv. Conserv.* 34.1: 35-45.
- Denis, D. y J. L. Ponce de León (2007) Variación del grosor de la cáscara del huevo en diez especies de zancudas (Aves: Ciconiiformes) en la ciénaga de Birama, Cuba. *J. Carib. Ornithol.* 20:17-25.
- Denis, D. y A. Rodríguez (2007) Variación en la composición interna de los huevos de seis especies de zancudas en la ciénaga de Birama, Cuba. *J. Carib. Ornithol.* 20:26-34.
- Denis, D., P. Rodríguez, A. Rodríguez y L. Torrella (2006) Evaluación del efecto del disturbio de los investigadores sobre la reproducción en tres especies de garzas coloniales (Aves: Ardeidae). *Biología.* 20(1-2): 70-72
- Dickinson, T.A., W.H. Parker y R.E. Strauss (1987) Another approach to leaf shape comparisons. *Taxon* 36: 1-20.
- Dietrich, C. H. y C. D. Pooley (1994) Automated identification of leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae: Draeculacephala Ball). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 87: 412-423.
- Du, J. X., D. S. Huang, X. F. Wang y X. Gu (2006) Computer aided plant species identification (CAPSI) based on leaf shape matching technique. *Trans. Inst. Measurement Control* 25: 275-284.
- Du, J. X., X. F. Wang y G. J. Zhang (2007) Leaf shape based plant species recognition. *Appl. Math. Computation* 185: 883-893.
- Du, J. X., X. F. Wang y X. Gu (2005) Shape matching and recognition based on genetic algorithm and application to plant species identification. *Lecture Notes Computer Sci.* 3644:282-290.
- Erwin, R. M. (1989) Responses to human intruders by birds nesting in colonies: experimental results and management guidelines. *Colonial Waterbirds* 12(1): 104-108.
- Franchimont, J. (1986) Causes of mortality of ardeidae at egg and nestling stages. *Aves* 23(1):34-44.
- Frederick, P. C. y M. W. Collopy (1989) Researcher disturbance in colonies of wading birds: Effects of frequency of visit and egg-

- marking on reproductive parameters. *Colonial Waterbirds* 12(2): 152-157.
- Gaston, K. J. y M. K. O'Neill (2004) Automated species identification: why not? *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 655-667
- Gauld, I. D., M. A. O'Neill y K. J. Gaston (2000) Driving Miss Daisy: the performance of an automated insect identification system. pp. 303– 312. En: *Hymenoptera: evolution, biodiversity and biological control* (Ed. A. D. Austin y M. Downton). Collingwood, VIC: CSIRO.
- Gosler, A. G., J. P. Higham y S. J. Reynolds (2005) Why are birds' eggs speckled? *Ecology Letters* (2005) 8: 1105–1113
- Hearn, D.J. (2009) Shape analysis for the automated identification of plants from images of leaves of leaves. *Taxon* 58(3): 934-954.
- Hernández, M. (2014) Identificación de las subespecies de *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) mediante análisis digital de imágenes de las hojas. *RCCB* 3(2), pp.53-60
- Iranmanesh, S., J. Nozari. y V. Hosseininaveh. 2012. Artificial neural networks for identification of pistachio green stink bug species based on morphometric data. *Natura Montenegrina* 11 (3): 433-442.
- Janiga, M. 1996. Variation in size and shape of eggs of the Feral Pigeon (*Columba livia*). *Folia Zoológica*, 45(4): 301–310.
- Jover, L., X. Ruiz y M. González-Martín (1993) Significance of intraclutch egg size variation in the Purple Heron. *Ornis Scandinavica*, 24(2): 127–134.
- Kaur, G. y G. Kaur (2012) Classification of Biological Species Based on Leaf Architecture. *International Journal of Engineering Research and Development*. 1(6): 35-42.
- Kim, J. H., R. G. Huang, S. H. Jin y K. S. Hong (2009) Mobile-based flower recognition system. *Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application 2009*, IEEE Press, pp.: 580-583.
- Kincaid, D. T. y R. B. Schneider (1983) Quantification of leaf shape with a microcomputer and Fourier transform. *Canad. J. Bot.* 61:2333-2342.
- Kumar, N., N. P. Belhumeur, A. Biswas, D. W. Jacobs, *et al.* (2012) Leafsnap: A Comp. Vision System for Automatic Plant Species Identification. (<http://leafsnap.com/>). Última consulta: agosto 2015.
- Lee, C. L. y S. Y. Chen (2006) Classification of leaf images. *Int. J. Imaging Systems and Technology* 16: 15-23.
- MacLeod, N. (2008) Automated Taxon Identification in Systematics. *Theory, Approaches and Applications*. The Systematic Association. Special Volume, Series 74. 330 pp.
- Martin, T. E., R. D. Bassar, S. K. Bassar, J. J. Fontaine, *et al.* (2006) Life-history and ecological correlates of geographic variation in egg and clutch mass among passerine species. *Evolution* 60(2): 390–398.
- Neto, J.C, G. E. Meyer, D. D. Jones y A. K. Samal (2005) Plant species identification using elliptic Fourier leaf shape analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 50: 121-134.
- Pandolfi, C., J. Messina. S. Mugnai. E. Azzarello y E. Masi (2009) Discrimination and identification of morphotypes of *Banksia integrifolia* (Proteaceae) by an artificial neural network (ANN), based on morphological and fractal parameters of leaves and flowers. *Taxon* 58(3): 925-933.
- Preston, F. W. (1968) The shapes of birds' eggs: mathematical aspects. *Auk*, 85: 454–463.
- Ricklefs, R. E. (1984) Variation in the size and composition of eggs of the European Starling. *Condor*, 86: 1–6.
- Ruiz, X., J. Petriz y L. Jover (1992) Estimating egg volumes from linear dimensions: isomorphy in eggs belonging to the family Ardeidae. *Misc. Zool.* 16: 254–257.
- Sean M.; W. Dominic; M. Marino y S. K. Feiner (2006) LeafView: a user interface for automated botanical species identification and data collection. *ACM UIST 2006 Conference Companion*, Montreux, Switzerland, October 15-18.
- Singh, K., I. Gupta y S. Gupta (2013) Classification of Bamboo Species by Fourier and Legendre Moment. *Science and Technology* 50, pp. 61-70.
- Sosa, J.P.M.; G.A. Solano y J.A. Obico (2013) An application using canny edge detection and multilayer perceptron for recognizing leaves of tropical plants. *Mathematics and Computers in Biology and Biomedical Informatics*.
- Steinhage, V. (2000) Automated identification of bee species in biodiversity information systems. *Computer Sci. Environ. Protection*, p. 4–6.
- Todd, P. H. y I. H. M. Smart (1984) The shape of birds' eggs. *Journal of Theoretical Biology* 106: 239–243.
- Verbeek, N.A.M. (1990) Differential predation on eggs in clutches of Northwestern Crows – the importance of egg color. *Condor* 92: 695–701.
- Weidinger, K. 2001. Does egg colour affect predation rate on open passerine nests? *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 49, 456–464.
- West, J.G. y Noble, L. R. (1984) Analysis of digitized leaf images of the *Dodonaea viscosa* complex in Australia. *Taxon* 33: 595-613.
- Wu, S. G. F., S. Bao, E.Y.Y. Xu, X.Y. Wang, *et al.* (2007) A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network. *The 7th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, IEEE Press, Cairo, pp.: 11-16
- Yang, Y. S.; D. K. Park, H. Chan Kim, Min-Ho Choi *et al.* (2001) Automatic identification of human helminth eggs on microscopic fecal specimens using digital image processing and an artificial neural network. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 48(6): 718-730.

• • •

Editor para correspondencia: Dr. Ariam Jiménez Reyes