

Glándulas de la sal en *Maledictosuchus riclaensis* (Metriorhynchidae, Thalattosuchia) del Calloviense de la Península Ibérica

Salt glands in Maledictosuchus riclaensis (Metriorhynchidae, Thalattosuchia) from the Callovian of the Iberian Peninsula

Jara Parrilla-Bel¹, José Ignacio Canudo¹, Josep Fortuny^{2,3} y Sergio Llacer²

¹ Grupo Aragosaurus-IUCA. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España. jarapb@unizar.es, jicanudo@unizar.es

² Institut Català de Paleontologia M. Crusafont. C/ Escola Industrial 23, 08201 Sabadell, España. josep.fortuny@icp.cat, sergio.llacer@icp.cat

³ Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, España

ABSTRACT

Maledictosuchus riclaensis is a Callovian metriorhynchid from the Iberian Peninsula. Metriorhynchids are marine crocodylomorphs that evolved numerous adaptations to a pelagic life-style. As well as morphological adaptations, they evolved hypertrophied salt glands, which imply a high degree of specialization. These glands were described in two metriorhynchid species. The salt glands control the ionic concentration balance in the organism. As they are soft tissue, they hardly fossilize. In the last years, computerized tomography has achieved great importance in palaeontological research, since it allows the visualization and study of the internal bone structures and the 3D digitalization in a non-invasive way and without putting the specimen at risk. The holotype of *Maledictosuchus riclaensis* consists on a very well preserved skull and three vertebrae. A computerized tomography of the skull shows the presence of hypertrophied salt glands in this taxon.

Key-words: Computerized tomography, crocodylomorph, Rhacheosaurini, marine specialization.

RESUMEN

Maledictosuchus riclaensis es un metriorrinquido del Calloviense de la Península Ibérica. Los metriorrinquidos son un grupo de crocodylomorfos marinos que desarrollaron numerosas adaptaciones al medio marino pelágico. Además de adaptaciones morfológicas, desarrollaron glándulas de la sal hipertrofiadas, lo cual implica un alto grado de especialización. Estas glándulas se han descrito en dos especies de metriorrinquidos. Las glándulas de la sal se encargan de controlar el balance de la concentración de sales en el organismo. Al tratarse de tejidos blandos su preservación es muy poco frecuente. La tomografía computarizada ha alcanzado en los últimos años gran importancia en la investigación paleontológica, ya que permite la visualización y estudio de las estructuras internas de los huesos y su digitalización en 3D, de una forma no invasiva y sin poner en riesgo al ejemplar. El holotipo de *Maledictosuchus riclaensis* consiste en un cráneo muy bien preservado y tres vértebras. Una tomografía computarizada del cráneo reveló la presencia de glándulas de la sal hipertrofiadas en este taxón.

Palabras clave: Tomografía computarizada, crocodylomorfo, Rhacheosaurini, especialización marina.

Geogaceta, 59 (2016), 63-66
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 30 de junio de 2015
Fecha de revisión: 20 de octubre de 2015
Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2015

Introducción

Algunos campos de la investigación paleontológica de vertebrados han avanzado mucho en los últimos años gracias al uso de nuevas técnicas e instrumentación. La Tomografía Computarizada (TC) es una de las técnicas que mayor importancia ha adquirido, al permitir la visualización y el estudio de las estructuras internas de los huesos y su digitalización en 3D, de una forma no invasiva y sin poner en riesgo el ejemplar (Abel *et al.*, 2012; Llacer Martos

et al., 2014). En los últimos años se han realizado gran cantidad de estudios basados en TCs ampliando el conocimiento sobre paleoneurología y la evolución de distintas estructuras endocraneales en vertebrados fósiles (p.ej., Witmer *et al.*, 2008; Holliday y Witmer, 2009; Cruzado-Caballero *et al.*, 2015).

Los metriorrinquidos adquirieron una serie de modificaciones morfológicas, como extremidades anteriores modificadas para la natación, cola heterocerca hipocerca y cráneo y cuerpos hidrodinámicos que han

sido interpretadas como adaptaciones al estilo de vida pelágico (Fraas, 1902; Andrews, 1913). Este grupo de crocodylomorfos son el único grupo de arcosaurios que secundariamente se adaptaron a un estilo de vida pelágico (Steel, 1973). Sin embargo, además de las adaptaciones morfológicas, son necesarias adaptaciones fisiológicas que aumenten la tolerancia a la sal y que permitan la vida del organismo en un medio salobre o salino (Tarifeño, 2004). Es difícil la preservación de los tejidos blandos, y por ello es complicado reconocer su existencia

y su desarrollo en los fósiles de vertebrados. En ocasiones, éstos pueden dejar impresiones en las partes duras y, excepcionalmente, quedar preservados como moldes naturales (Fernández y Gasparini, 2000, 2008).

Maledictosuchus riclaensis Parrilla-Bel, Young, Moreno-Azanza, Canudo 2013, es un metriorrínquido (Thalattosuchia) del Jurásico Medio de España. Hasta el momento se conoce por un único ejemplar (cráneo y tres vértebras) descrito en la Península Ibérica (MPZ 2001/130) (Parrilla-Bel *et al.*, 2013; Parrilla-Bel y Canudo, 2015). El cráneo fue preparado mediante métodos mecánicos y se eliminó toda la matriz que recubría el hueso, sin embargo el relleno permanece intacto (Fig. 1). El uso de la tomografía computarizada nos permitió reconocer y reconstruir las estructuras internas del cráneo, e identificar la presencia de glándula de la sal en *Maledictosuchus*, estructura que puede ser interpretada como una adaptación fisiológica al ambiente marino.

Situación geográfica y geológica

El holotipo de *M. riclaensis* (MPZ 2001/130) se encuentra depositado en el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza (Parrilla-Bel *et al.*, 2013). Se recuperó en Ricla (Zaragoza), una localidad situada en el área norcentral de la Cordillera Ibérica, donde afloran materiales jurásicos que han sido objeto de numerosos estudios geológicos y paleontológicos (Sequeira y Cairou, 1984; Meléndez y Lardies, 1988; Aurell *et al.*, 2002). El ejemplar pro-

viene de las calizas de la Formación Ágreda (Ramajo, 2006), datado como Calloviense medio a partir de la fauna de ammonites asociada. El holotipo fue hallado en nódulos de calcita en la parte superior de dicha formación, en una alternancia de niveles de calizas y margas grises.

Metodología

El cráneo de *M. riclaensis* fue escaneado en el Institut Català de Paleontologia (ICP) (Sabadell), utilizando para ello un escáner TC industrial, a 430 kV y 3,45 mA. El espaciado entre cada corte fue de 0,5 mm. La segmentación se realizó mediante el software Avizo 7.1 (FEI-VSG).

Resultados y discusión

Sistema osmorregulador. Glándulas de la sal

La característica fundamental del ambiente marino es la salinidad del agua, con contenidos de sales de entre 30 y 35 ppm (valor promedio). Los vertebrados marinos son osmorreguladores, es decir, han desarrollado una variada gama de estrategias de regulación que les permite vivir en estos ambientes (Tarifeño, 2004).

Los mamíferos marinos, como ballenas, delfines o focas, solucionan el problema de la regulación hidrosalina mediante modificaciones anatómicas de sus riñones. El sistema excretor renal de las aves y los reptiles marinos no está preparado para eliminar cantidades elevadas de sal del organismo, y por tanto han desarrollado un sistema excretor extrarre-

nal (Tarifeño, 2004). Este sistema osmorregulador se desarrolla a partir de la especialización de distintas glándulas cefálicas. A estas estructuras se les denomina glándulas de la sal y se observan en vertebrados actuales como iguanas, cocodrilos o gaviotas entre otros.

Las glándulas de la sal son un tipo de glándulas exocrinas extrarrenales, formadas por un conjunto de lóbulos englobados dentro del tejido conectivo, cuya función es la de procesar y controlar el balance de la concentración de sales del organismo, permitiéndoles beber agua salada y alimentarse de plantas o animales, como invertebrados marinos, con una alta concentración iónica. Las glándulas de la sal en reptiles marinos pueden ser nasales (lagartos), lagrimales (tortugas), sublinguales o premaxilares (serpientes) o linguales (cocodrilos estuarinos) (Minnich, 1982; Peaker y Linzell 1975; Fernández y Gasparini, 2000).

Glándulas de la sal en metriorrínquidos

Los metriorrínquidos alcanzaron un alto grado de adaptación al medio marino y desarrollaron glándulas de la sal hipertrofiadas, considerando el máximo grado de especialización marina en crocodylomorfos (Jackson *et al.*, 1996). Estas glándulas se han descrito a partir de varios fósiles excepcionalmente preservados del endocráneo de *Cricosaurus araucanensis* Gasparini y Dellapé 1976 (Fernández y Gasparini, 2000, 2008; Herrera *et al.*, 2013) y algunos ejemplares bien preservados de *Metricorhynchus superciliosus* Blainville 1853 (Gandola *et al.*, 2006).



Fig. 1.- Cráneo del holotipo de *Maledictosuchus riclaensis* (MPZ 2001/130). Vista lateral izquierda. Escala = 5 cm.

Fig. 1.- Skull of the *Maledictosuchus riclaensis* holotype (MPZ 2001/130). Left lateral view. Scale bar = 5 cm.

Las glándulas de la sal en estos crocodilomorfos son glándulas nasales, alojadas a los laterales de la cavidad nasal y protegidas por los huesos prefrontales, y que excretarían el exceso de sal al exterior a través de la abertura preorbital (Fernández y Herrera, 2009).

El TC de MPZ 2001/130 muestra la presencia de glándulas de la sal en *M. riclaensis* (Fig. 2). En la reconstrucción se observan unas estructuras "globosas", de gran tamaño, a ambos lados de la cavidad nasal, muy similares a las descritas en otros metriorrínquidos. Estas estructuras tienen forma de lágrima con el ápice dirigido anteriormente y formadas por numerosos lóbulos (Fig. 2D), típico de las glándulas exocrinas (Fernández y Gasparini, 2000). Estos lóbulos se aprecian claramente en algunos cortes del TC, sin embargo no es fácil reconocerlos en todos ellos, por lo que la textura lobulada no queda reflejada en la reconstrucción. El drenaje de las glándulas se realiza a través de un pequeño conducto que desemboca en la abertura preorbital (Fernández y Herrera, 2009). En el TC de *Maledictosuchus* se aprecia una pequeña protuberancia que coincide con esta abertura. Interpretamos esta estructura como el pequeño canal de drenaje de la glándula de la sal.

Conclusiones

La tomografía computarizada del holotipo de *M. riclaensis* ha permitido reconocer y reconstruir la presencia glándulas de la sal, una importante estructura endocraneal descrita en otros reptiles marinos.

Las glándulas de la sal se conocían previamente en dos especies de metriorrínquido, lo que representa un argumento añadido que indica un estilo de vida pelágico. *Maledictosuchus riclaensis* es el miembro más basal de la tribu de los raqueosaurinos (Metriorhynchidae) (Parrilla-Bel *et al.*, 2013), mientras que *Cricosarus araucanensis* es el taxón más especializado (Young *et al.*, 2010). A pesar de que el cráneo de *Maledictosuchus*, al igual que el de *Metriorhynchus*, no posee todas las adaptaciones adquiridas por los taxones más derivados (como reorientación caudal del proceso lateral del frontal, huesos craneales lisos, o retracción de las narinas externas entre otros, Young *et al.*, 2010), sí cuenta con unas glándulas de la sal extremadamente desarrolladas.

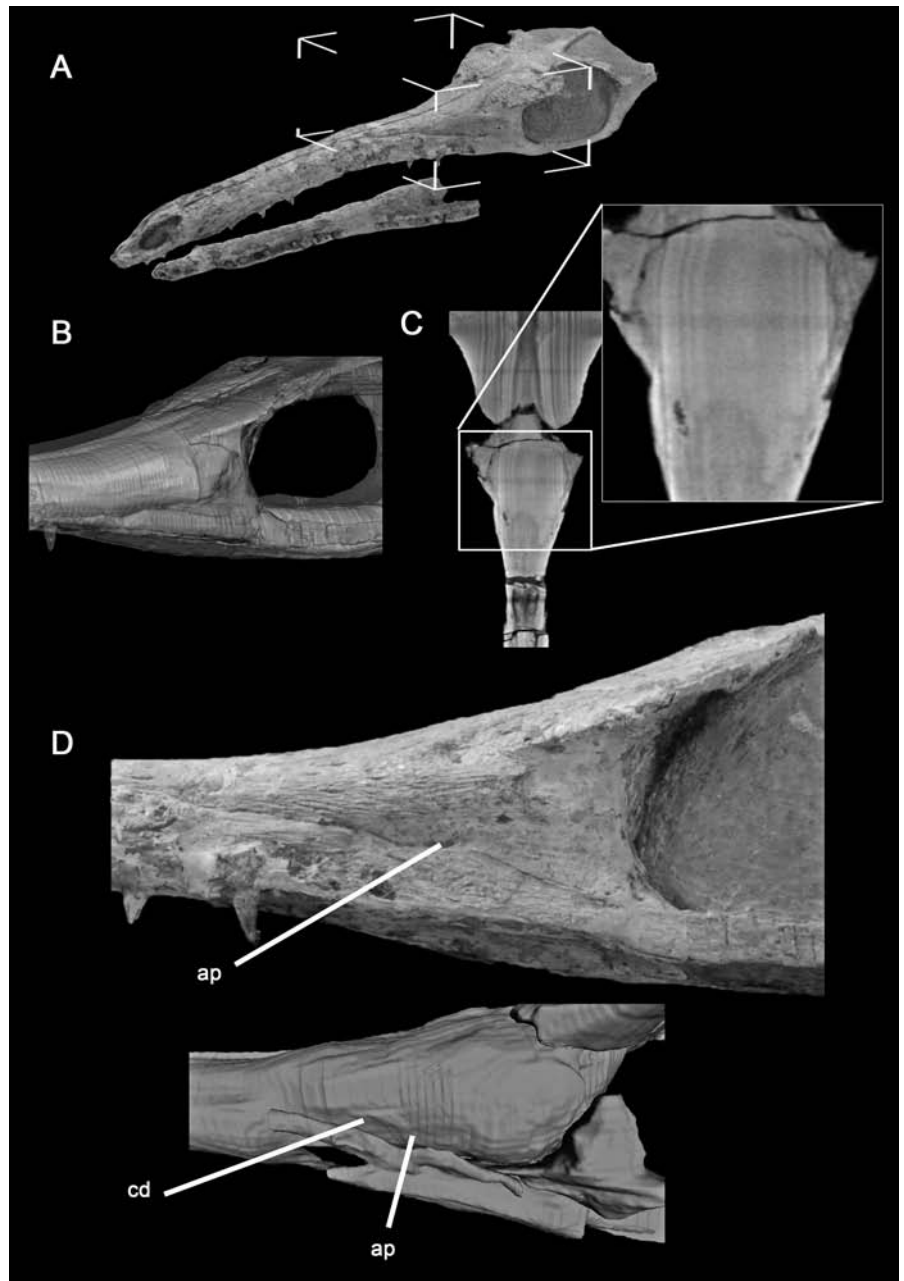


Fig. 2.- *Maledictosuchus riclaensis*, holotipo (MPZ 2001/130). A) Cráneo en vista anterolateral. B) Reconstrucción 3D del cráneo y el relleno endocraneal de la región posteronasal (zona marcada en A) a partir de los datos del TC. C) Corte horizontal del TC (vista dorsal) y detalle de las glándulas de la sal. D) Región preorbital del cráneo en vista lateral y reconstrucción del relleno endocraneal, donde se muestran la abertura preorbital y el canal de drenaje de la glándula. Abreviaturas: ap, abertura preorbital; cd, canal de drenaje; gs, glándula de la sal.

Fig. 2.- *Maledictosuchus riclaensis*, holotipo (MPZ 2001/130). A) Skull in anterolateral view. B) 3D reconstruction of the posteronasal region (area indicated in A) based on the CT scan data. C) Image in horizontal plane (dorsal view) and detail of the salt glands region. D) Preorbital region of the skull in lateral view and cranial endocranium, with the preorbital opening and the gland drainage duct. Abbreviations: ap, preorbital opening; cd, drainage canal; gs, salt gland.

Agradecimientos

Esta publicación forma parte del proyecto CGL2014-53548-P, del Ministerio de Economía y Competitividad. Fondo Europeo de Desarrollo, la Universidad de Zara-

goza y el Gobierno de Aragón ("Grupos Consolidados" and "Dirección General de Patrimonio Cultural"). Se agradece al Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza el acceso al material. Agradecemos también al editor y a las re-

visoras P. Cruzado-Caballero y Y. Herrera, cuyos comentarios han ayudado a mejorar la calidad del trabajo.

Referencias

- Abel, R.L., Laurini C.R. y Richter, M. (2012). *Palaeontología Electronica* 15, 15-26.
- Andrews, C.W. (1913). *A Descriptive Catalogue of the Marine Reptiles of the Oxford Clay: Based on the Leeds Collection in the British Museum (Natural History), (Vol. 2)*. Order of the Trustees, London, 206 p.+ XIII.pl.
- Aurell, M., Meléndez, G. y Bádenas, B. (2002). En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). Geological Society of London, London, 223-235.
- Cruzado-Caballero, P., Fortuny, J., Lácer, S. y Canudo, J.I. (2015). *PeerJ* 3, e802.
- Fernández, M. y Gasparini, Z. (2000). *Lethaia* 33, 269-276.
- Fernández, M. y Gasparini, Z. (2008). *Naturwissenschaften* 95, 79-84.
- Fernández, M. S. y Herrera, Y. (2009). *Journal of Vertebrate Paleontology* 29, 702-714.
- Fraas, E. (1902). *Palaeontographica* 49, 1-72.
- Gandola, R., Buffetaut, E., Monaghan, N. y Dyke, G. (2006). *Journal of Vertebrate Paleontology* 26, 1009-1010.
- Herrera, Y., Fernández, M.S. y Gasparini, Z. (2013). *Lethaia* 46, 331-340.
- Holliday, C.M. y Witmer, L.M. (2009). *Journal of Vertebrate Paleontology* 29, 715-733.
- Jackson, K., Butler, D.G. y Brooks, D.R. (1996). *Biological Journal of Linnean Society* 58, 371-383.
- Llácer Martos, S., Sellés, G.A., Marmi, J., Blanco, A. y Fortuny, J. (2014). En: *XXX Jornadas de Paleontología de la Sociedad Española de Paleontología. Fundamental* 24, 119-121.
- Meléndez, G. y Lardiés, M.D. (1988). En: *III Coloquio Jurásico de España. Guía de Excursiones. Logroño*. Instituto de Estudios Riojanos, Logroño, 265-281.
- Minnich, J.E. (1982). En: *Biology of the Reptilia*, 12 (C. Gans y H. Pough, Eds.). Academic Press, London, 325-395.
- Parrilla-Bel, J. y Canudo, J.I. (2015). *Journal of Iberian Geology* 41, 31-40.
- Parrilla-Bel, J., Young, M.T., Moreno-Azanza, M. y Canudo, J.I. (2013). *PLOS ONE* 8, e54275.
- Peaker, M. y Linzell, J.L. (1975). *Salt glands in birds and reptiles*, Monographs of the Physiological Society 32. Cambridge University Press, New York, 307 p.
- Ramajo, J. (2006). *Evolución sedimentaria del Calloviense-Oxfordiense en el sector central de la Cordillera Ibérica (Rama Aragonesa)*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 405 p.
- Sequeiros, E. y Cariou, E. (1984). *Estudios Geológicos* 40, 411-420.
- Steel R. (1973). *Crocodylia. Handbuch der Paläoherpetologie, Teil 16*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 116 p.
- Tarifeño, E. (2004). En: *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos* (I. Camilo Werlinguer, Ed.). Gobierno de Chile, Consejo Nacional del Libro y la Lectura, 363-390.
- Young, M.T., Brusatte, S.L., Ruta, M. y Andrade, M.B. (2010). *Zoological Journal of the Linnean Society* 158, 801-859.
- Witmer, L.M., Ridgely, R.C., Dufeu, D.L. y Semones, M.C. (2008). En: *Anatomical Imaging* (H. Endo y R. Frey, Eds.). Springer, Japan, 67-87.