

NOTA PALEONTOLÓGICA

OSTEOHISTOLOGÍA EN MOSASAURIOS (SQUAMATA: MOSASAURIDAE) DEL CRETÁCICO TARDÍO DE LA CUENCA JAMES ROSS (PENÍNSULA ANTÁRTICA)



MARIANELLA TALEVI^{1,4}, MARTA S. FERNÁNDEZ^{2,4} E IGNACIO CERDA^{3,4}

¹Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, Universidad Nacional de Río Negro, Isidro Lobo 516, R8332AKN General Roca, Río Negro, Argentina. talevimarianela@yahoo.com.ar

²División Paleontología Vertebrados, Museo de La Plata, Paseo del Bosque s/n, B1900FWA La Plata, Argentina. martafer@fcnym.unlp.edu.ar

³Museo de Geología y Paleontología de la Universidad Nacional del Comahue – INIBIOMA, Buenos Aires 1400, Q83O0BCA Neuquén, Argentina. lsalgado@uncoma.edu.ar, nachocerda6@yahoo.com.ar

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Key words. Bone histology. Mosasaurs. Late Cretaceous. Antarctica

Palabras clave. Histología ósea. Mosasaurios. Cretácico Tardío. Antártida.

Los mosasaurios fueron un grupo de escamados que habitaron los océanos y mares epicontinentales de todo el mundo durante el Cretácico Tardío. Su registro fósil abarca todos los continentes, incluyendo Antártida (Gasparini *et al.*, 2007). En la cuenca James Ross (Península Antártica) los restos atribuibles a mosasaurios han sido reportados desde hace más de un cuarto de siglo (Gasparini y del Valle, 1980). La mayor parte del material, excepto por el holotipo del tylosaurino *Taniwhasaurus antarcticus* (Novas, Fernández, Gasparini, Lirio, Nuñez y Puerta, 2002) Martin y Fernández, 2007 corresponde principalmente a dientes y vértebras. Con base en este material se ha podido documentar la presencia de tylosaurinos en el Campaniano tardío (Formación Santa Marta, Isla James Ross), en el Maastrichtiano temprano (Formación Snow Hill Island, Isla Vega), y en el Maastrichtiano tardío (Formación López de Bertodano, Isla Marambio/Seymour Island); y de plioplatecarpinos y mosasaurinos en el Maastrichtiano tardío (Formación López de Bertodano, Isla Marambio/Seymour Island) (Martin *et al.*, 2002; Fernández y Gasparini, en prensa). Los mosasaurios de la Península Antártica han sido estudiados principalmente desde un punto de vista sistemático y paleobiogeográfico. No obstante, la exploración de la microestructura ósea a menudo ofrece una fuente de información sobre hábitos de vida.

Los estudios enfocados en aspectos osteohistológicos de los mosasaurios son relativamente escasos en comparación con otros grupos taxonómicos. Sheldon (1997) efectuó un

análisis microestructural de costillas pertenecientes a diversos géneros de mosasaurios, relacionando los diferentes patrones de microestructura ósea con los hábitos de vida que habrían tenido los diferentes mosasaurios. Recientemente, Hous-saye (2008, 2009) y Houssaye *et al.* (2008) han estudiado la histología y, más específicamente, la microanatomía de diferentes taxones de mosasauroides, discutiendo sus implicancias evolutivas y su relación con el hábito acuático de estos escamados. En el caso particular de los mosasaurios antárticos, el único antecedente publicado corresponde a una breve descripción de la microestructura de una vértebra de un mosasaurio maastrichtiano indeterminado recuperado de la Formación López de Bertodano en la Isla Marambio (Salgado *et al.*, 2007).

En esta contribución, ampliando el conocimiento de mosasaurios de la cuenca James Ross, se realiza una descripción microanatómica y osteohistológica de dos vértebras pertenecientes a dos mosasaurios mosasaurinos exhumados de una misma formación, Formación López de Bertodano (Maastrichtiano tardío, Cretácico Tardío), de la Isla Marambio (Península Antártica) con el objeto de inferir algunos de sus hábitos de vida.

Abreviaturas institucionales. MLP, Departamento Científico de Paleontología Vertebrados, Museo de La Plata, Argentina; MLP-Ph, colección de preparados histológicos del Museo de La Plata, Buenos Aires, Argentina; MUC-Ph, colección de preparados histológicos del Museo de Geología

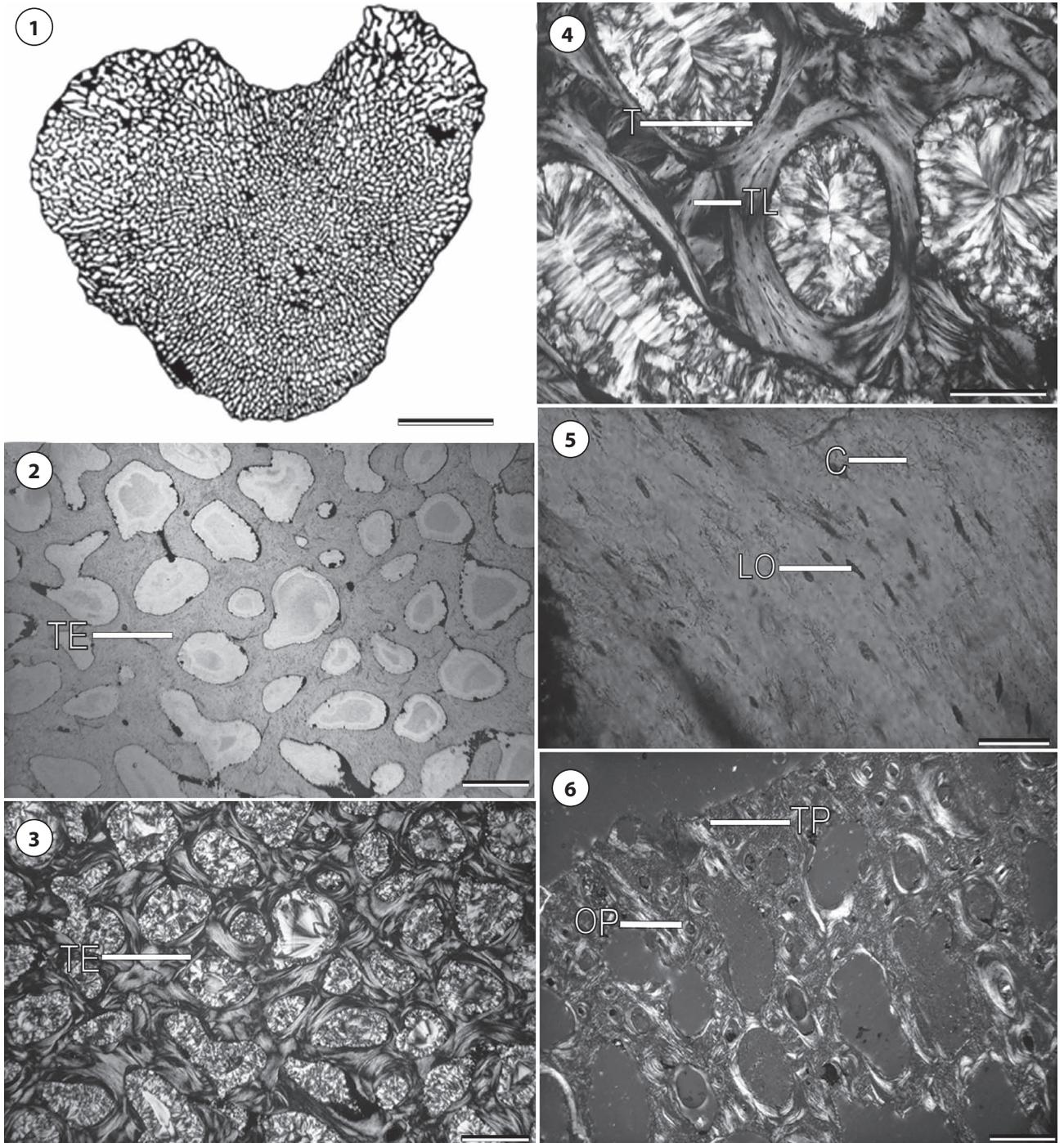


Figura 1. Microanatomía e histología de una vértebra de **Mosasaurinae indet.** (MLP 83-I-12-1/33). **1**, sección transversal del centro vertebral; **2-3**, vista general del tejido esponjoso (TE) interno bajo luz normal (**2**) y polarizada (**3**); **4**, detalle del tejido esponjoso altamente reconstruido mostrando distintas generaciones de tejido lamelar (TL) en cada trabécula (T) (luz polarizada); **5**, detalle del tejido lamelar que compone el tejido esponjoso (luz polarizada). Las lagunas de osteocitos (LO) y los canaliculi (C) se encuentran bien preservados; **6**, región externa de la vértebra mostrando restos de tejido primario (TP) y osteones primarios (OP) (luz polarizada). Escala= 10 mm (1), 500 μ m (2, 3 y 6), 50 μ m (4), 200 μ m (5)/ *Microanatomy and histology of Mosasaurinae indet. vertebra (MLP 83-I-12-1/33). 1, transverse section of the vertebra centrum; 2-3, general view of the cancellous internal tissue (TE) under normal (2) and polarized (3) light; 4, detail of the highly reconstructed cancellous tissue showing different generations of deposited lamellar bone tissue (TL) in each trabeculae (T) (polarized light); 5, detail of the lamellar bone tissue that compose the cancellous bone (polarized light). Osteocyte lacunae (LO) and canaliculi (C) are well preserved; 6, external region of the vertebra showing remains of the primary bone tissue (TP) and primary osteons (OP) (polarized light). Scale bar = 10 mm (1), 500 μ m (2,3 and 6), 50 μ m (4), 200 μ m (5).*

y Paleontología de la Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material paleontológico para este estudio consistió en dos vértebras correspondientes a dos individuos de mosasaurinos. Ambos ejemplares provienen de la Formación López de Bertodano (Maastrichtiano tardío, Cretácico Superior) (Macellari, 1988), Isla Marambio, Península Antártica. Del primer espécimen (MLP 83-I-12-1/33; Mosasaurinae indet.) se obtuvieron tres cortes delgados, uno en sentido parasagital a nivel del proceso transversal (MLP-Ph 8), y dos transversales en el cuerpo vertebral, el primero en la región anterior MPL-Ph 9 y el segundo hacia el extremo posterior (MLP-Ph10). Sobre el segundo espécimen analizado (MPL 92-XII-30-1; *Mosasaurus*, cf. *M. lemmonieri* Dollo, 1889 (Martin *et al.*, 2002), se practicó una sección transversal de un centro vertebral y parte del arco neural, aproximadamente a la altura de su cara articular anterior (MUC-Ph 50). Cabe aclarar que el último espécimen ha sido previamente descrito por Salgado *et al.* (2007). En este trabajo se revisa y amplía dicha descripción, incluyendo además un análisis bajo luz polarizada.

Para la obtención de los cortes delgados se siguió la metodología utilizada por Chinsamy y Raath (1992). El análisis de los cortes incluyó una detallada descripción de los tejidos así como el cálculo del índice de compactación (expresado como el porcentaje ocupado realmente por tejido óseo en un área determinada). Las imágenes obtenidas fueron procesadas mediante el programa ImageJ (Rasband, 2003).

RESULTADOS

Ejemplar MLP 83-I-12-1/33

Cortes delgados MLP-Ph9 y MLP-Ph10. Macroscópicamente se observa que se trata de un tejido esponjoso trabecular (Fig.1.1). Microscópicamente se observa que el centro vertebral se encuentra dominado por tejido finamente esponjoso distribuido de manera uniforme en toda la sección (índice de compactación en MLP-Ph9 es de 48,8%) (Fig. 1.2, 3). El tejido esponjoso es íntegramente de origen secundario, con abundantes espacios internos delimitados por delgadas trabéculas óseas. Dentro de las trabéculas se aprecian numerosas generaciones de tejido lamelar superpuestas entre sí y delimitadas por conspicuas líneas de cemento (Fig. 1.4). Las lagunas de osteocitos se encuentran bien preservadas, pudiéndose reconocer los numerosos *canaliculi* que se originan a partir de ellas (Fig. 1.5). La sección correspondiente al proceso transversal (MLP-Ph8) se encuentra también dominada por tejido

esponjoso. En algunos sectores de la muestra, hacia el margen externo, se distingue una delgada capa de tejido compacto. En la misma se aprecian restos de tejido óseo de origen primario, el cual se compone de osteones primarios embebidos en una matriz fibrosa (Fig. 1.6).

Ejemplar MPL 92-XII-30-1

Corte delgado MUC-Pb50. En la región más interna, predomina el tejido compacto, volviéndose más poroso hacia la periferia, con una importante cantidad de celdillas (Fig. 2.1). El índice de compactación de la muestra es de 74,5%. A nivel microscópico, el tejido óseo más compacto se encuentra mayormente constituido por una matriz donde las fibras se organizan formando empaquetamientos fuertemente anisótropos. Los empaquetamientos que conforman el tejido compacto se orientan en distintas direcciones, dándole a la matriz un aspecto fuertemente “entretejido” (Fig. 2.2–4). Las lagunas de osteocitos son abundantes y se orientan conforme a la disposición de las fibras que las contienen (Fig. 2.5). Bajo luz normal, dicha disposición otorga un aspecto “arremolinado” a todo el conjunto de lagunas de osteocitos. El tejido compacto que se observa más periféricamente está invadido por una importante cantidad de fibras de *Sharpey*. Aunque muy reducidos en cantidad, es posible apreciar algunos osteones secundarios en esta región (Fig. 2.6).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los mosasaurios, del mismo modo que en la mayoría de los linajes de tetrápodos acuáticos, se puede observar una relación de la microanatomía ósea y aspectos paleobiológicos tales como la velocidad de nado, y el tipo de ambiente más frecuentado. En un trabajo pionero realizado sobre secciones de costillas, Sheldon (1997) vinculó las características histológicas óseas de los mosasaurios con el lugar que habrían explotado los distintos mosasaurios dentro de la columna de agua (*i.e.*, partición de la columna de agua tal como hoy lo hacen los mamíferos marinos). En el análisis de Sheldon (1997), se propuso que en *Clidastes* Cope, 1868 (mosasaurino) y *Tylosaurus* Marsh, 1872 (tylosaurino), la conformación de las costillas con tejido de condición osteoporótica indica que estos mosasaurios eran formas de nado rápido y que podrían haber frecuentado las porciones más profundas de la columna de agua. Por su parte, *Platecarpus* exhibe una condición paquiosfótica. La paquiosfosis en los tetrápodos acuáticos, (aumento en la densidad de la masa ósea) ha sido recientemente revisada por Houssaye (2009). Si bien no está completamente claro cuáles el rol de esta modificación en la microestructura de los huesos, su distribución en los tetrápodos marinos sugiere que

la presencia de paquiostosis estaría relacionada con la natación lenta, debido a una reducción de la maniobrabilidad y aceleración (Taylor, 2000). El aumento de la masa ósea habría permitido que se alcance una flotabilidad neutra a baja profundidad, además de permitir un incremento en la capacidad

pulmonar, y por lo tanto un mayor almacenaje de oxígeno (Taylor, 2000).

Houssaye (2008, 2009) analizó secciones de vértebras, e incluyó en sus análisis a un mosasauroideo basal (*Haasiasaurus gittelmani* Polcyn, Tchernov y Jacobs, 1999), uno de posición

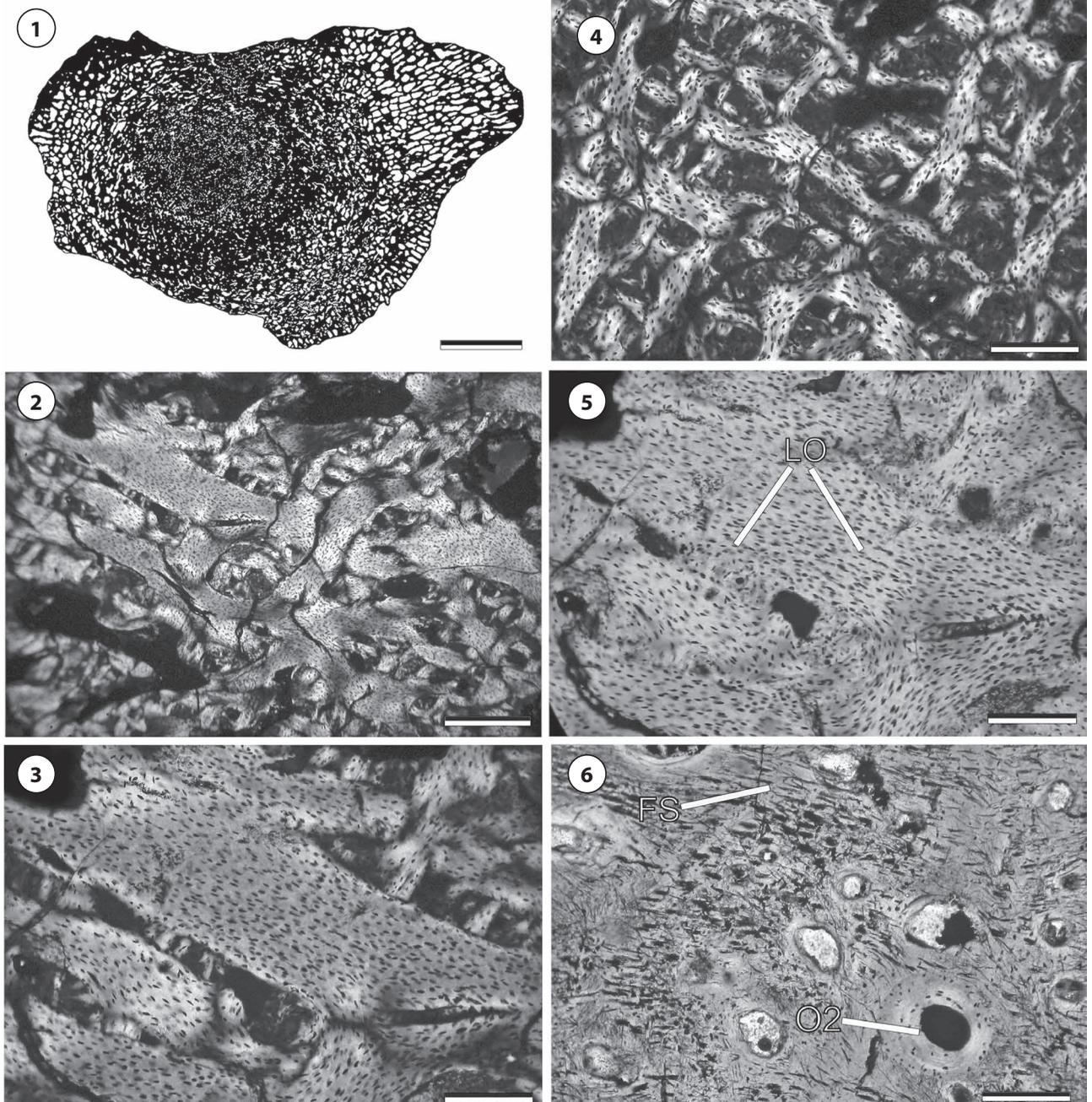


Figura 2. Microanatomía e histología de una vértebra de *Mosasaurus* sp.cf. *M. lemonnieri* (MPL 92-XII-30-1). **1**, vista general de la sección transversal del centro vertebral; **2-3** tejido compacto interno visto bajo luz polarizada. Nótese el aspecto “entrelazado” del tejido; **4-5**, detalle del tejido primario bajo luz polarizada (4) y luz normal (5); **6**, fibras de Sharpey (FS) y osteones secundarios (OS) en la región externa de la vértebra. Escala = 10 mm (1), 500 μ m (2 y 3), 200 μ m (4, 5 y 6) / **Microanatomy and histology of *Mosasaurus* sp. cf. *M. lemonnieri* vertebra MPL 92-XII-30-1.** **1**, general view of the vertebral centrum in transverse section; **2-3**, internal compact tissue viewed under polarized light. Note the “woven” aspect of the bone tissue; **4-5**, detail of the primary bone tissue under polarized (4) and normal (5) light; **6**, Sharpey’s fibres (FS) and secondary osteons (OS) in the external region of the vertebra. Scale bar = 10 mm (1), 500 μ m (2 and 3), 200 μ m (4, 5, and 6).

filogenética intermedia (*Tethysaurus nopscai* Bardet, Pereda Suberbiola y Jalil, 2003) y un mosasaurio derivado (*Mosasaurus hoffmanni* Mantell, 1829). Houssaye (2008) observó una correlación entre el patrón de microestructura ósea paquiostótica y las condiciones plesio pedal-plesio pélvica característica de las formas basales (*Haasiyasaurus gittelmani*), y una correlación entre la presencia de tejido óseo más liviano formado por una red trabecular y la condición hidropedal-hidropélvica de las formas más derivadas (*Mosasaurus hoffmanni*). *Tethysaurus nopscai*, cuya morfología externa es intermedia (plesio pedal-hidropélvica), presenta un patrón de microestructura ósea también intermedio entre las condiciones anteriormente citadas. Básicamente, Houssaye (2008) estableció que los mosasauroides más basales (con estructura plesio pedal-plesio pélvica) eran de pequeño tamaño y vivían en ambientes marinos costeros presentando una típica estructura paquiostótica *sensu lato* (Houssaye, 2008), mientras que mosasaurios más derivados (con anatomía hidropedal-hidropélvica) alcanzaron tamaños mayores, eran nadadores rápidos y vivían en ambientes de mar abierto. En el caso del material de vértebras aquí estudiado, se registró la presencia de los dos tipos principales de tejidos reconocidos por Houssaye (2008), esto es, compacto y liviano. Así, el ejemplar de *Mosasaurus* sp. cf. *M. lemonnieri* MLP 92-XII-30-1, recuperado de la Formación López de Bertodano (Isla Marambio, Península Antártica), presenta un patrón de tipo paquiostótico *s.l.* donde prevalece la estructura compacta sobre la esponjosa (índice de compactación 74,5%). La compactación está dada por una osteosclerosis, esto es, la compactación de la estructura interna de la vértebra. Por esta razón, podría esperarse que el ejemplar de *Mosasaurus* sp. cf. *M. lemonnieri* frecuentase zonas poco profundas de la columna de agua o ambientes marinos someros, donde la paquiositosis *s.l.* juega un rol funcional en el peso para la regulación hidrostática del cuerpo (Houssaye, 2008). Por el contrario, en las vértebras del mosasaurio indeterminado recuperado de la misma formación y localidad (MLP 83-I-12-1/33), se observó un patrón histológico coincidente con el descrito por Houssaye (2008) en *Mosasaurus hoffmanni*. En este caso la condición osteoporótica estaría adquirida a través del desarrollo de una estrecha red trabecular, típica de taxones que habitan ambientes pelágicos. La adquisición de esta condición estaría relacionada con un control hidrodinámico del cuerpo. De acuerdo con de Ricqlès y de Buffrénil (2001), el estado osteoporótico se caracteriza por déficit óseo. Houssaye (2008) propuso que *Mosasaurus* tiene una multiplicación del número de trabéculas y una reducción en el ancho de las mismas, resultando en una verdadera red trabecular; entonces, hay una

reorganización del tejido óseo y no una disminución del volumen. Para poder determinar si el alivianamiento del hueso corresponde a un proceso de osteoporosis, como propusieron de Ricqlès y de Buffrénil (2001), o si por el contrario corresponde a una reorganización del tejido óseo trabecular, como propuso Houssaye (2008), resulta indispensable ampliar el análisis de la microestructura ósea a un mayor número de ejemplares.

El material de vértebras analizadas en esta contribución corresponde a ejemplares incompletos cuya asignación a nivel genérico y/o específico es incierta. No obstante, la macromorfología de las vértebras en ambos casos (*i.e.* vértebras con cóndilos y cótilos aproximadamente circulares y arcos hemales fusionados) permiten su identificación como Mosasaurinae. En el caso del ejemplar MLP 92-XII-30-1, la asociación de las vértebras con restos de material dentario permitió su identificación como *Mosasaurus* sp. cf. *M. lemonnieri* (Martin *et al.*, 2002). A pesar de que los ejemplares aquí analizados no pueden ser referidos con certeza a niveles taxonómicos más exclusivos, es interesante destacar que documentan la co-ocurrencia en la misma formación (Formación López de Bertodano, Isla Marambio) de dos mosasaurios mosasaurinos cuyo patrón de microestructura ósea indicaría que correspondían uno a una forma de hábitos costeros (MLP 92-XII-30-1) y otro a una forma de hábito pelágico (83-I-XII-1/33). En este sentido, huesos altamente porosos como el descrito en el ejemplar MLP 83-I-12-1/33 estarían vinculados a altas velocidades de nado y se desplazarían con una mayor amplitud en la columna de agua; a su vez, el aligeramiento del cuerpo aumentaría la capacidad de maniobrar en el agua y esto es útil en animales que viven en mar abierto (Sheldon, 1997). A nivel histológico, esta característica se evidencia en una disminución del espesor del hueso compacto cortical y en la expansión de las cavidades medulares. Esta tendencia ha sido bien documentada en ictiosaurios (de Buffrénil y Mazin, 1990), plesiosaurios y pliosaurios adultos (Wiffen *et al.*, 1995), mosasaurios adultos (Sheldon, 1997), entre otros.

Por el contrario, animales con huesos más compactos como el espécimen MLP 92-XII-30-1 tendrían una velocidad de nado menor y una flotabilidad más restringida, y estarían ligados a ambientes costeros. A nivel histológico esta característica se evidencia con la presencia de una compactación interna del tejido óseo. Estas características han sido observadas en plesiosaurios juveniles (Wiffen *et al.*, 1995). En síntesis, los resultados de este estudio indicarían la presencia de dos formas de mosasaurinos maastrichtianos con distintos modos de vida en una misma formación (Formación López de Bertodano) aflorante en la Isla Marambio (Cuenca James Ross, Antártida).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a M. Reguero por el acceso al material. Este trabajo fue financiado por los siguientes proyectos: Agencia de Promoción Científica y Tecnológica PICT 0261; Universidad Nacional de La Plata, Programa de incentivos N607; CONICET PIP 0426.

BIBLIOGRAFÍA

- Bardet, N., Pereda Suberbiola, X. y Jalil, N.E. 2003. A new mosasauroid (Squamata) from the Late Cretaceous (Turonian) of Morocco. *Comptes rendus Palevol* 2: 607-616.
- Chinsamy, A. y Raath, M.A. 1992. Preparation of fossil bone for histological examination. *Palaeontographia Africana* 29: 39-44.
- Cope, E.D. 1868. On new species of extinct reptiles. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 20: 180-181.
- de Buffrénil, V. de y Mazin, J.M. 1990. Bone histology of the Ichthyosaurs: comparative data and functional interpretation. *Paleobiology* 16: 435-447.
- de Ricqlès, A. y de Buffrénil, V. 2001. Bone Histology, heterochronies and the return of tetrapods to life in water: where are we? En: J. M. Mazin and V. de Buffrénil (Eds.), *Secondary Adaptation of tetrapods to life in water*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich, p. 289-310.
- Dollo, L. 1889. Première note sur les mosasauriens de Mesvin. *Bulletin de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie* 3: 271-304.
- Fernández, M. y Gasparini, Z. en prensa. Campanian and Maastrichtian mosasurs from Peninsula Antarctica and Patagonia Argentina. *Bulletin de la Société Géologique de France*.
- Gasparini, Z. y del Valle, R. 1980. Mosasaurios: primer hallazgo en el Continente Antártico. *Antártica* 11: 16-20.
- Gasparini, Z., Fernández, M., de la Fuente, M. y Salgado, L. 2007. Reptiles marinos jurásicos y cretácicos de la Patagonia argentina: su aporte al conocimiento de la herpetofauna mesozoica. *Asociación Paleontológica Argentina. Publicación Especial* 11: 125-136.
- Houssaye, A. 2008. A preliminary report on the evolution of the vertebral microanatomy within mosasauroids (Reptilia, Squamata). *Proceedings of the Second Mosasaur Meeting* (Hays), p. 81-89.
- Houssaye, A. 2009. "Pachyostosis" in aquatic amniotes: a review. *Integrative Zoology* 4: 325-340.
- Houssaye, A., Buffrénil, V. de, Rage, J.C., y Bardet, N. 2008. An analysis of vertebral "pachyostosis" in *Carentonosaurus mineai* (Mosasauroida, Squamata) from the Cenomanian (Early Late Cretaceous) of France, with comments on its phylogenetic and functional significance. *Journal of Vertebrate Paleontology* 28: 685-691.
- Macellari, C.E. 1988. Stratigraphy, sedimentology and paleoecology of Upper Cretaceous/Paleocene shelf-deltaic sediments of Seymour Island (Antarctic Peninsula). En: R.M. Feldmann y M.O. Woodburne (Eds.), *Geology and Palaeontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula. Geological Society of America, Memoir* 169: 25-53.
- Mantell, G. A. 1829. A tabular arrangement of the organic remains of the county of Sussex. *Transactions of the Geological Society of London* 2: 201-216.
- Marsh, O.C. 1872. Note on *Rhinosaurus*. *American Journal of Science* 4: 147.
- Martin, J.E., Bell Jr., G.L., Case, J.A., Chaney, D.S., Fernández, M.A., Gasparini, Z., Reguero, M. y Woodburne, M.O. 2002. Mosasurs (Reptilia) from the Late Cretaceous of the Antarctic Peninsula. En: J.A. Gamble, D.N.B. Skinner y S. Henrys (Eds.), *Antarctica at the Close of a Millennium, 8th International Symposium on Antarctic Earth Sciences. Bulletin of the Royal Society of New Zealand* 35: 293-299.
- Martin, J. E. y Fernández, M., 2007. The Synonymy of the Late Cretaceous Mosasaur (Squamata) Genus *Lakumasaurus* from Antarctica with *Taniwhasaurus* from New Zealand and its bearing upon faunal similarity within the Weddellian Province. *Geological Journal* 42: 1-9.
- Novas, F.E., Fernández, M., Gasparini, Z., Lirio, J.M., Núñez, H.J. y Puerta, P. 2002. *Lakumasaurus antarcticus*, n. gen. et sp., a new mosasaur (Reptilia, Squamata) from the Upper Cretaceous of Antarctica. *Ameghiniana* 39: 245-249.
- Polcyn, M. J., Tchernov, E. y Jacobs, L. 1999. The Cretaceous biogeography of the eastern Mediterranean with a description of a new basal mosasauroid from 'Ein Yabrud, Israel. *National Science Museum, Tokyo, Monograph* 15: 259-290.
- Rasband, W. 2003. Image J. National Institutes of Health, Bethesda, MD (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>).
- Salgado, L., Fernández, M. y Talevi, M. 2007. Observaciones histológicas en reptiles marinos (Elasmosauridae y Mosasauridae) del Cretácico Tardío de Patagonia y Antártida. *Ameghiniana* 44: 513-523.
- Sheldon, A. 1997. Ecological implications of Mosasaur bone microstructure. En: J. Callaway y E. Nicholls (Eds.), *Ancient Marine Reptiles*, Academic Press. San Diego, pp. 333-354.
- Taylor, M.A. 2000. Functional significance of bone ballast in the evolution of buoyancy control strategies by aquatic tetrapods. *Historical Biology* 14: 15-31.
- Wiffen, J., de Buffrénil, V., de Ricqlès, A. y Mazin, J. M. 1995. Ontogenetic evolution of bone structure in late Cretaceous plesiosaurs from New Zealand. *Geobios* 28: 625-640.

doi: 10.5710/AMGH.v48i4(505)

Recibido: 30 de mayo de 2011

Aceptado: 9 de agosto de 2011