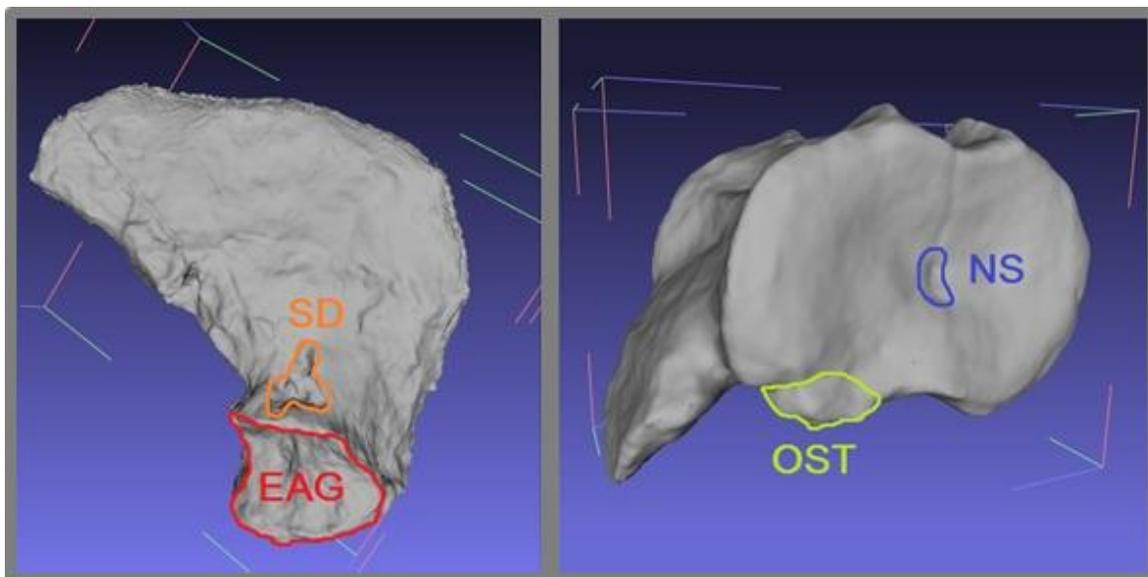


ESTUDIO DE PATOLOGÍAS ÓSEAS EN REPTILES MARINOS MESOZOICOS DE PATAGONIA Y ANTÁRTIDA



I I P G

Trabajo Final
Licenciatura en Paleontología (UNRN 2021)
Universidad Nacional de Río Negro



Autor: Matías Mitidieri

*Universidad Nacional de Río Negro
EEUU 750, General Roca, Río Negro, Argentina.*

Directora: Marianella Talevi

*Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología
Universidad Nacional de Río Negro - CONICET
Av. Roca 1242, General Roca, Río Negro, Argentina.*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por haberme apoyado en cada etapa de mi vida y particularmente en la elección de mi carrera, así como al resto de mi familia (hermanos, tíos, primos y abuelos) por el interés mostrado en el desarrollo de esta Tesis.

A mi directora, Dra. Marianella Talevi, por la lectura crítica de las sucesivas versiones de este Trabajo Final de Licenciatura, por los consejos dados y el apoyo incondicional durante el desarrollo del mismo.

A la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), al Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG) y al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) por brindar el marco institucional y financiamiento necesarios para la realización de este trabajo.

A mis amigos que me acompañaron durante el cursado de la Licenciatura en Paleontología: Gerardo, Lautaro, Lisandro, Lucas y Rocío.

Finalmente, deseo agradecer a todos aquellos que, aunque no mencionados explícitamente, han colaborado de muchas maneras a lo largo de estos cinco años.

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	6

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.....	8
1.2. Hipótesis de trabajo.....	9
1.3. Objetivos.....	10
1.4. Plesiosaurios.....	10
1.5. Reseña histórica de estudios patológicos en plesiosauria.....	12
1.5.1. Necrosis avascular.....	12
1.5.2. Necrosis séptica.....	13
1.5.3. Marcas de mordedura.....	14
1.5.4. Nódulos de Schmorl.....	16
1.5.5. Artrosis.....	17
1.5.6. Fusiones vertebrales debido a traumatismos.....	18
1.6. Mosasaurios.....	20
1.7. Reseña histórica de estudios patológicos en mosasaurios.....	22
1.7.1. Necrosis avascular.....	22
1.7.2. Neoplasia (tumores).....	23
1.7.3. Fracturas óseas.....	25
1.7.4. Fusiones vertebrales debido a infecciones óseas.....	27
1.7.5. Fusiones vertebrales debido a traumatismos.....	31
1.7.6. Osteomielitis.....	33
1.7.7. Artritis.....	35

CAPÍTULO 2 – MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Marco geológico.....	37
2.1.1. Ejemplar MML-PV 1305. Vértebra cervical de plesiosaurio.....	37
2.1.2. Ejemplar MLP 87-II-7-1. Escápula izquierda de mosasaurio.....	39

2.2. Elementos analizados.....	41
2.2.1. Plesiosaurio.....	41
2.2.2. Mosasaurio.....	41
2.3. Análisis y documentación.....	42
2.3.1. Microtomografías computarizadas.....	42
2.3.2. Fotogrametría.....	42
2.4. Abreviaturas institucionales.....	43
2.5. Abreviaturas anatómicas.....	44
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS	
3.1. Ejemplar MML-PV 1305. Vértebra cervical de plesiosaurio.....	45
3.1.1. Descripción general.....	45
3.1.2. Análisis macroscópico.....	46
3.1.3. Análisis de las microtomografías computarizadas.....	47
3.2. Ejemplar MLP 87-II-7-1. Escápula izquierda de mosasaurio.....	49
3.2.1. Descripción general.....	49
3.2.2. Análisis macroscópico.....	49
3.2.3. Análisis de las microtomografías computarizadas.....	50
3.3. Fotogrametría de los materiales.....	51
CAPÍTULO 4 – DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	
4.1. Diagnósis Patológica del ejemplar MML-PV 1305.....	54
4.2. Diagnósis Patológica del ejemplar MLP 87-II-7-1.....	57
4.3. Conclusiones.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

RESUMEN

Los estudios paleopatológicos se han utilizado para comprender la historia de lesiones y enfermedades en el registro fósil, y permiten deducir el tipo de daño esquelético que ocurre en ejemplares fósiles, su causa aparente y por los aspectos relacionados con la paleoecología y de comportamiento. El análisis de las características patológicas de los reptiles marinos mesozoicos de Patagonia y Antártida, se presenta como un vasto campo de estudio aun escasamente explorado, y capaz de ofrecer información novedosa. El objetivo principal del trabajo es analizar elementos óseos de un plesiosaurio y un mosasaurio recuperados de Patagonia y Antártida respectivamente, los cuales presentan indicios de diversas paleopatologías. Los elementos de los ejemplares se analizaron macroscópicamente así como también mediante microtomografías computarizadas. Asimismo, a través de la técnica de fotogrametría se realizó una reconstrucción en 3D de los elementos, que luego fueron impresos mediante una impresora 3D (Creality Ender 3). El primer ejemplar (MML-PV 1305) consta de una vértebra cervical perteneciente a un plesiosaurio adulto, recuperado del Maastrichtiano superior de Patagonia (Bajo de Santa Rosa, Río Negro). Éste representa el primer informe de una paleopatología ósea en un reptil marino de Argentina. El análisis macroscópico reveló en la cara articular anterior del centro vertebral la presencia un nódulo de Schmorl acompañado de osteofitos en el borde inferior izquierdo del centro vertebral. El análisis de las microtomografías permitió evidenciar una depresión en la región central del centro vertebral, seguida de una erosión que se extendió internamente hasta la región media del mismo. Todas estas características observadas en el ejemplar resultan consistentes con el diagnóstico de un trauma por estrés mecánico, generado por esfuerzos de torsión y compresión producidos por la propia longitud del cuello o en momentos de alimentación. Esta condición patológica pudo generar dificultades en el movimiento y ocasionar dolores recurrentes en la región cervical del individuo. El segundo ejemplar (MLP 87-II-7-1) consta de una escápula izquierda perteneciente a un mosasaurio juvenil, recuperado del Maastrichtiano superior de Antártida (Isla Marambio), que representa el primer informe de una patología ósea en un reptil marino de Antártida.

El análisis macroscópico reveló una expansión de la articulación glenohumeral, la cual se encontraba profundamente erosionada y remodelada, y un seno de drenaje a la altura del cuello escapular, el cual se encontraba rodeado de un delgado margen de hueso perióstico nuevo. El análisis de las microtomografías reveló tejido trabecular desorganizado y dos senos de drenaje. Todas estas características observadas en el ejemplar resultan consistentes con el diagnóstico de una artritis infecciosa. La articulación de la escápula y el húmero fue interrumpida por la erosión de la fosa glenoidea, comprometiendo su función normal. Aunque no está directamente relacionada con la muerte del mosasaurio, esta condición pudo haber contribuido a reducir su efectividad para obtener alimento o aumentar su susceptibilidad a enfermedades fatales, lesiones adicionales o incluso depredación. Los resultados obtenidos a partir del trabajo realizado complementan el estado de conocimiento sobre patologías actuales en formas extintas y su prospección evolutiva, así como aspectos paleoecológicos de los organismos estudiados.

Palabras clave: Patología. Reptiles marinos. Cretácico. Patagonia. Antártida.

ABSTRACT

Paleopathological studies have been used to understand the history of injuries and diseases in the fossil record, and allow deducing the type of skeletal damage that occurs in fossil specimens, its apparent cause, and aspects related to palaeoecology and behavior. The analysis of the pathological characteristics of the Mesozoic marine reptiles of Patagonia and Antarctica, is presented as a vast field of study still scarcely explored, and capable of offering novel information. The main objective of the work is to analyze bone elements of a plesiosaur and a mosasaur recovered from Patagonia and Antarctica which show signs of various paleopathologies. The elements of the specimens were analyzed macroscopically as well as by computerized microtomography. Also, through the photogrammetry technique, a 3D reconstruction of the elements was made, which were then printed using a 3D printer (Creality Ender 3). The first specimen (MML-PV 1305) consists of a cervical vertebra belonging to an adult plesiosaur, recovered from the upper Maastrichtian of Patagonia (Bajo de Santa Rosa, Río Negro). This represents the first report of a bone paleopathology in a marine reptile from Argentina. The macroscopic analysis revealed the presence of a Schmorl nodule accompanied by osteophytes on the lower left edge of the vertebral centrum on the anterior articular face. The analysis of the microtomographs revealed a depression in the central region of the vertebral centrum, followed by an erosion that extended internally to the middle region of it. All these characteristics observed in the specimen are consistent with the diagnosis of a mechanical stress trauma, generated by torsional and compression forces produced by the length of the neck itself or at feeding moments. This pathological condition could generate difficulties in movement and cause recurrent pain in the individual's cervical region. The second specimen (MLP 87-II-7-1) consists of a left scapula belonging to a juvenile mosasaur, recovered from the upper Maastrichtian of Antarctica (Marambio Island), which represents the first report of a bone pathology in a marine reptile from Antarctica. The macroscopic analysis revealed an expansion of the glenohumeral joint, which was deeply eroded and remodeled, and a draining sinus at the level of the scapular neck, which was surrounded by a thin margin of new periosteal bone. Microtomography analysis revealed disorganized trabecular

tissue and two draining sinuses. All these characteristics observed in the specimen are consistent with the diagnosis of infectious arthritis. The joint of the scapula and humerus was interrupted by erosion of the glenoid fossa, compromising its normal function. Although not directly related to the death of the mosasaur, this condition may have contributed to reducing its effectiveness in obtaining food or increasing its susceptibility to fatal disease, additional injury, or even predation. The results obtained from the work complement the state of knowledge about current pathologies in extinct forms and their evolutionary prospecting, as well as paleoecological aspects of the organisms studied.

Keywords: Pathology. Marine reptiles. Cretaceous. Patagonia. Antarctica

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los estudios paleopatológicos se han utilizado para comprender la historia de lesiones y enfermedades en el registro fósil (Rothschild y Martin, 2006). Este tipo de estudios permiten deducir el tipo de daño esquelético que ocurre en poblaciones fósiles, su causa subyacente y por inferencia, aspectos relacionados con la paleoecología y el comportamiento (Moodie, 1918; Rothschild y Martin, 2006). Las paleopatologías generalmente se identifican solo si dañan el esqueleto y típicamente son el resultado de una lesión traumática (ej. fracturas, marcas de dientes), malformaciones postraumáticas (ej. fusiones vertebrales), modificación del tejido óseo a partir de una infección (ej. osteomielitis), defectos congénitos y neoplasias (ej. tumores) (Martin y Rothschild, 1989; Rothschild y Martin, 1993; Bell y Martin, 1995).

Ejemplos de paleopatologías han sido observados y reconocidos entre distintos grupos de reptiles marinos fósiles. Algunos elementos óseos afectados por traumatismos llevan evidencia de curación y remodelación ósea, lo que sugiere que los individuos afectados lograron sobrevivir (Martin y Rothschild, 1989; Bell y Martin, 1995; Schulp *et al.*, 2004; Pardo-Pérez *et al.*, 2017, 2018), proporcionando información importante sobre el sistema inmune y el potencial de curación en este grupo de vertebrados fósiles. Por otro lado, las evidencias osteológicas de infecciones en restos fósiles de reptiles marinos revelan el papel que cumplieron en los ecosistemas pasados, los agentes patógenos y su virulencia (capacidad de infectar un huésped) (Rothschild *et al.*, 2012a; Schulp *et al.*, 2006; Surmik *et al.*, 2017, 2018). Las enfermedades infecciosas, también pueden desarrollarse después de un trauma (ej. abscesos), o pueden estar relacionadas con la edad (ej. osteoartritis) (Moodie, 1923; Lingham-Soliar, 2004; Rothschild, 2012). Alternativamente, las patologías óseas pueden ser el resultado de otros factores que causan problemas mecánicos o estrés fisiológico (ej. osificación de ligamentos vertebrales) (Kompanje, 1999; Mulder, 2001; Rothschild y Martin, 2006; Cooper y Dawson, 2009; Rothschild y Everhart, 2015).

Por otro lado, el reconocimiento y estudio de ciertas patologías óseas vinculadas al medio de vida acuático ha permitido conocer aspectos precisos de la fisiología y paleoecología de algunos grupos de reptiles marinos (Motani *et al.*, 1999; Rothschild y Storrs, 2003). En ictiosaurios, plesiosaurios y mosasaurios (Rothschild y Martin, 1987; Motani *et al.*, 1999; Rothschild y Storrs, 2003; Rothschild *et al.*, 2012a, 2012b; Pardo Pérez *et al.*, 2017; Surmik *et al.*, 2017) se ha registrado en ciertos huesos una patología conocida como necrosis avascular, la cual indicaría que, bajo ciertas circunstancias, estos grupos sufrían del llamado “Síndrome de Descompresión”, como consecuencia del desarrollo de hábitos buceadores.

En el caso de los reptiles marinos mesozoicos provenientes de Patagonia y Antártida, las publicaciones de paleopatologías son escasas. Talevi *et al.* (2018, 2019a, 2019b) describieron el primer registro de patología esquelética presente en un mosasaurio del hemisferio sur. De este modo, el análisis de las características paleopatológicas de los reptiles marinos de Patagonia y Antártida, se presenta como un vasto campo de estudio aun escasamente explorado. En el presente trabajo final de grado se estudian las patologías presentes en dos ejemplares de reptiles marinos mesozoicos provenientes de Patagonia (plesiosaurio) y Antártida (mosasaurio), analizando las limitaciones que pudieron afectar su comportamiento y las posibles estrategias de supervivencia bajo las cuales estos individuos vivieron.

Cabe destacar que en el transcurso de la realización de este trabajo final y de una beca CIN obtenida por el autor, el material perteneciente al mosasaurio recuperado de Antártida, fue publicado en coautoría (ver Talevi *et al.*, 2019a), por lo que, en este Trabajo Final, se amplían las descripciones, se incorporan nuevas figuras y un modelo 3D que no fue posible incluir en el manuscrito publicado.

1.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las hipótesis que se plantearon para el trabajo final de grado son las siguientes:

H1. La microestructura ósea permite inferir la presencia de patologías óseas.

H2. La existencia de paleopatologías en los huesos fósiles de reptiles marinos pueden ser inferidas a partir de estudios análogos en huesos de otros organismos actuales o fósiles, infiriendo datos sobre la fisiología y paleoecología.

H3. Sobre la base de las características de la microestructura y los datos aportados por las tomografías, es posible inferir las estrategias de supervivencia de los ejemplares analizados.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo es obtener información sobre las patologías presentes en una vértebra cervical de plesiosaurio y una escápula izquierda de mosasaurio registrados en el Cretácico de Patagonia y Antártida respectivamente. En función de ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar y describir los patrones de microestructura ósea del tejido sano y patológico a partir de tomografías computarizadas.
2. Registrar la presencia de paleopatologías óseas en dos elementos (vértebra cervical y escápula) pertenecientes ejemplares de plesiosaurio y mosasaurio respectivamente, utilizando estudios análogos en huesos de otros organismos actuales o fósiles.
3. Integrar los resultados obtenidos del análisis de la microestructura ósea y las microtomografías realizadas con aspectos fisiológicos, etológicos y paleoecológicos de los ejemplares estudiados.

1.4. PLESIOSAURIOS

Los plesiosaurios son reptiles marinos mesozoicos que constituyeron el grupo más derivado dentro de Sauropterygia (clado de reptiles diápsidos acuáticos) (Rieppel, 2000; Kear, 2003; O’Gorman, 2013). Su biocrón abarca desde el Triásico Tardío (Rhaetiense - 208 Ma) hasta el Cretácico Tardío (Maastrichtiano - 66 Ma); habiéndoselos registrado en todos los continentes, incluida Antártida (ej. Persson, 1963; del Valle *et al.*, 1977; Brown, 1981; Carpenter, 1999; Bardet *et al.*, 1999; Kear, 2003; Ketchum y Benson, 2010; O’Gorman *et al.*, 2018).

Los integrantes de este grupo se desplazaban en el medio acuático utilizando sus extremidades anteriores y posteriores, que tienen forma de aletas (Bernard *et al.*, 2010; O'Keefe y Chiappe, 2011; Fleischle *et al.*, 2018). Por otro lado, la morfología observada en los plesiosaurios varía entre dos grandes planes corporales: el primero corresponde a los pliosauros (Fig. 1), los cuales presentan un cráneo relativamente grande y una región cervical relativamente corta; el segundo corresponde a los plesiosauromorfos (Fig. 2), caracterizados por un cráneo relativamente pequeño y una región cervical relativamente larga (Brown, 1981; O'Gorman, 2013).



Figura 1. Reconstrucción artística de un plesiosaurio perteneciente a la Familia Rhomaleosauridae (ilustración de Bogdanov, 2004).

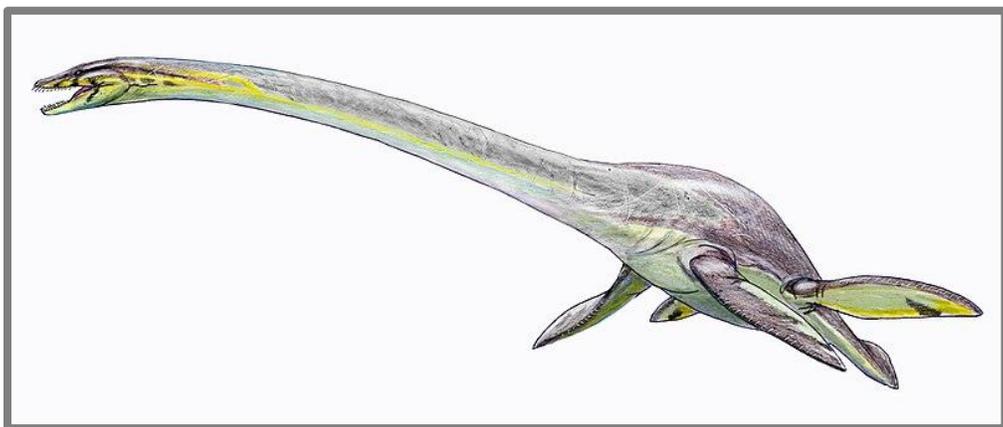


Figura 2. Reconstrucción artística de un plesiosaurio perteneciente a la Familia Elasmosauridae (ilustración de Bogdanov, 2015).

1.5. RESEÑA HISTÓRICA DE ESTUDIOS PATOLÓGICOS EN PLESIOSAURIA

Las patologías en los plesiosaurios se reconocieron en la década de 1870 (Mudge, 1878), y desde entonces se han registrado diversas enfermedades en estos reptiles, incluida la necrosis séptica (Surmik *et al.*, 2017), la necrosis avascular (Rothschild y Martin, 1987; Rothschild y Storrs, 2003), nódulos de Schmorl (Hopley, 2001), artrosis erosiva (Sassoon *et al.*, 2012), fusiones vertebrales (Sassoon, 2019) y una gran cantidad de marcas de dientes que presentan indicios de curación (Thulborn y Turner, 1993; Einarsson *et al.*, 2010; Shimada *et al.*, 2010; Rothschild *et al.*, 2018). A continuación, se describen cada una de las patologías registradas en plesiosaurios.

1.5.1. *Necrosis avascular*

Los hábitos de buceo de estos reptiles marinos han dejado en evidencia un tipo de patología particular, denominada necrosis avascular (Rothschild y Martin, 1987, 1993; Motani *et al.*, 1999). Esta es una patología que incluye la muerte del tejido óseo y puede ser el resultado del síndrome de descompresión (Rothschild, 1982), el cual se registra en humanos y otros vertebrados después de inmersiones subacuáticas profundas, seguidas de descompresión por etapas de cambios rápidos de profundidad (Kooyman *et al.*, 1973; Strauss y Sampson, 1986).

Rothschild y Storrs (2003) propusieron que los plesiosaurios eran susceptibles al síndrome de descompresión (Fig. 3) con base en el análisis de diversos materiales óseos, esto implicaría un comportamiento de buceo profundo, prolongado y repetitivo. A su vez estos autores observaron que la familia Cryptoclididae no padecía regularmente el síndrome de descompresión y propusieron diferencias de tipo ecológicas entre ésta y otros grupos de plesiosaurios (Rothschild y Storrs, 2003). Estudios posteriores (Farke, 2007) cuestionaron la metodología utilizada por Rothschild y Storrs (2003) para llegar a esta conclusión y mencionan que no hay una diferencia en cuanto a la tasa general de patologías

óseas presentes en las extremidades por lo que no existirían diferencias de comportamiento de buceo entre las diferentes familias de plesiosaurios.

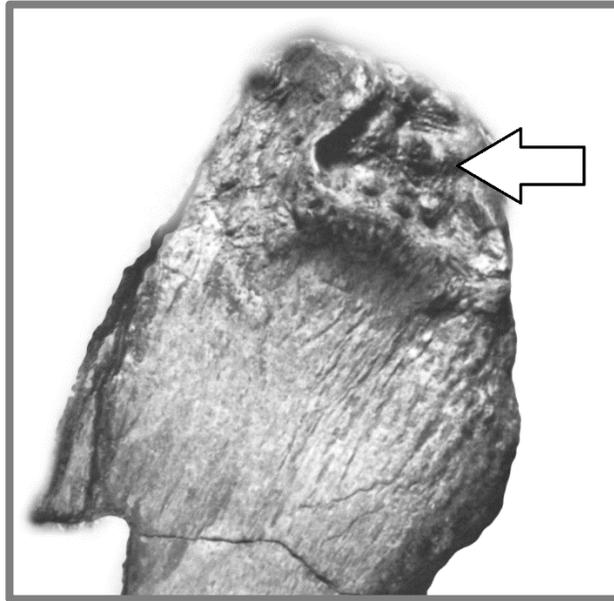


Figura 3. Necrosis avascular en el húmero de *Neusticosaurus*. Se evidencia muerte del tejido óseo en la superficie articular proximal (flecha). Se desconoce la escala del material (tomado y modificado de Rothschild y Storrs, 2003).

1.5.2. *Necrosis séptica*

La necrosis séptica es un proceso infeccioso de la membrana sinovial alrededor de las articulaciones, que reduce o corta el flujo sanguíneo en el área afectada, con la consecuente destrucción del cartílago articular y erosión de las articulaciones (Rothschild *et al.*, 2012b; Anné *et al.*, 2016; Surmik *et al.*, 2017). Esta patología se ha registrado en diversos organismos actuales, como cocodrilos (Huchzermeyer, 2003; Rothschild *et al.*, 2012a) y tortugas marinas (Ogden, 1981; Rothschild *et al.*, 2013). En el caso de los plesiosaurios, se ha registrado necrosis en la superficie articular del fémur de un ejemplar (*Pistosaurus longaevus*) del Triásico Medio de Alemania (Fig. 4), representando el registro más antiguo de necrosis séptica en el clado Sauropterygia (Surmik *et al.*, 2017).

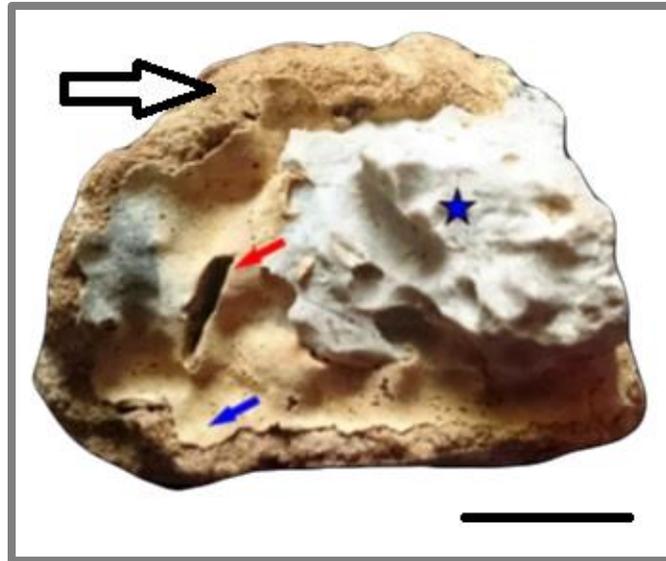


Figura 4. Superficie articular del fémur de *Pistosaurus longaevus* en vista proximal. Se evidencia la superficie articular colapsada y una textura irregular patológica (flecha azul) con aberturas de drenaje (flecha roja). La estrella azul indica la roca caliza que cubre la superficie del espécimen y la flecha blanca indica el tejido óseo no patológico. Escala: 10 mm (tomado y modificado de Surmik *et al.*, 2017).

1.5.3. Marcas de mordedura

Las marcas de mordedura son comúnmente registradas en los plesiosaurios, las mismas pueden llegar a generar una infección o traumatismo del tejido óseo (Rothschild y Martin, 1987). Éstas a menudo se localizan en las extremidades, pero resulta difícil saber si las marcas de mordedura son *pre-mortem* o *post-mortem*, a menos que haya evidencia directa de crecimiento óseo donde ocurrió el daño, demostrando que la lesión tuvo tiempo de curarse parcialmente (Einarsson *et al.*, 2010; Hone y Watabe, 2010; Karl, 2012; DePalma *et al.*, 2013; Araújo *et al.*, 2015). En esta reseña solo se mencionarán aquellas marcas de mordedura que hayan generado algún tipo de reacción del tejido óseo.

Rothschild y colaboradores (2018) describieron un ejemplar de plesiosaurio (*Cryptoclidus eurymerus*), perteneciente a la Formación Oxford Clay (Calloviano, Jurásico Medio), que presenta una pérdida de la superficie humeral proximal debido a un proceso infeccioso, la cual hizo que dicha extremidad fuera funcionalmente ineficaz (Fig. 5). La existencia de marcas de dientes en la cara dorsal del húmero

sugiere que el plesiosaurio fue atacado inicialmente por un depredador y como consecuencia de dicho ataque se produjo un proceso infeccioso que afectó su extremidad. Las cicatrices de dichas marcas y la exostosis en la articulación evidencian que el plesiosaurio logró sobrevivir (Rothschild *et al.*, 2018). Por otro lado, los autores evidenciaron un tubérculo (cavidad de abscesos) en la parte proximal del húmero, que resulta parsimonioso con el proceso infeccioso. La locomoción de este plesiosaurio probablemente se vio afectada al menos por un tiempo hasta que hubo una readaptación de la función de la extremidad para compensar parcialmente la pérdida temporal de su funcionalidad (Rothschild *et al.*, 2018). Si bien la propulsión de los plesiosaurios dependía de las extremidades anteriores (las posteriores proporcionan direccionalidad) (Lingham-Soliar, 2000; Smith, 2013), Rothschild *et al.* (2018) proponen que *Cryptoclidus eurymerus* pudo compensar la pérdida de su extremidad fortaleciendo las restantes y restringiendo su dieta a presas más fáciles de cazar (ej. crustáceos).

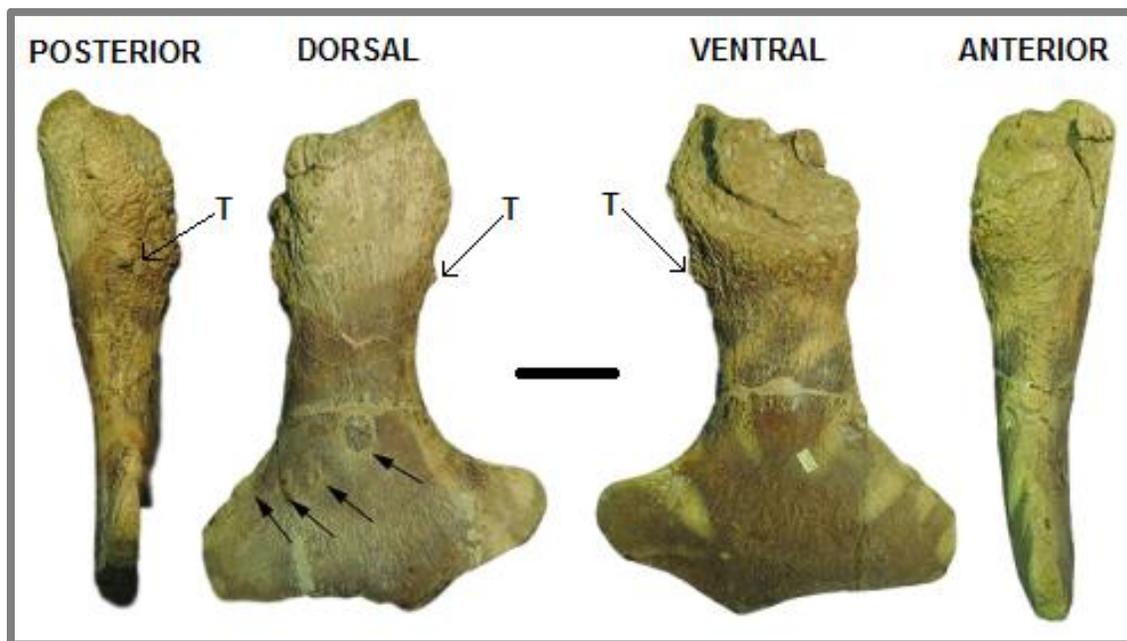


Figura 5. Húmero izquierdo de *Cryptoclidus eurymerus* en varias vistas. Se observa la presencia de una malformación o tubérculo (T) y las flechas negras indican marcas de mordeduras cicatrizadas. Escala: 5 cm (tomado y modificado de Rothschild *et al.*, 2018).

1.5.4. Nódulos de Schmorl

Los nódulos de Schmorl (lesiones de los discos intervertebrales) están bien documentados en humanos, pero son escasos en el registro fósil (Hopley, 2001). Estos nódulos se producen cuando las vértebras son sometidas a una compresión intensa o requerimientos biomecánicos excesivos, lesionando la cara anterior o posterior del centro vertebral (Jarvik y Deyo, 2000; Cornero *et al.*, 2008). Los nódulos de Schmorl frecuentemente ocurren en asociación con otras anomalías de la columna y, por lo tanto, es difícil determinar su causa. Diversos autores han asociado su aparición con osteoporosis (Dent, 1955), hernia de disco (Revel, 1992; Fahey *et al.*, 1998), anomalías congénitas (Boukhris y Becker, 1974) y degeneración (Prescher, 1998). Esta patología se ha diagnosticado en veinticuatro de las veintisiete vértebras preservadas (Fig. 6) de un plesiosaurio (*Plesiosaurus* sp.) del Jurásico Inferior de Inglaterra (Hopley, 2001). Dicho autor propone como causas probables la degeneración de la columna vertebral debido a la vejez, esfuerzos de compresión o una debilidad congénita en los discos vertebrales (Hopley, 2001).

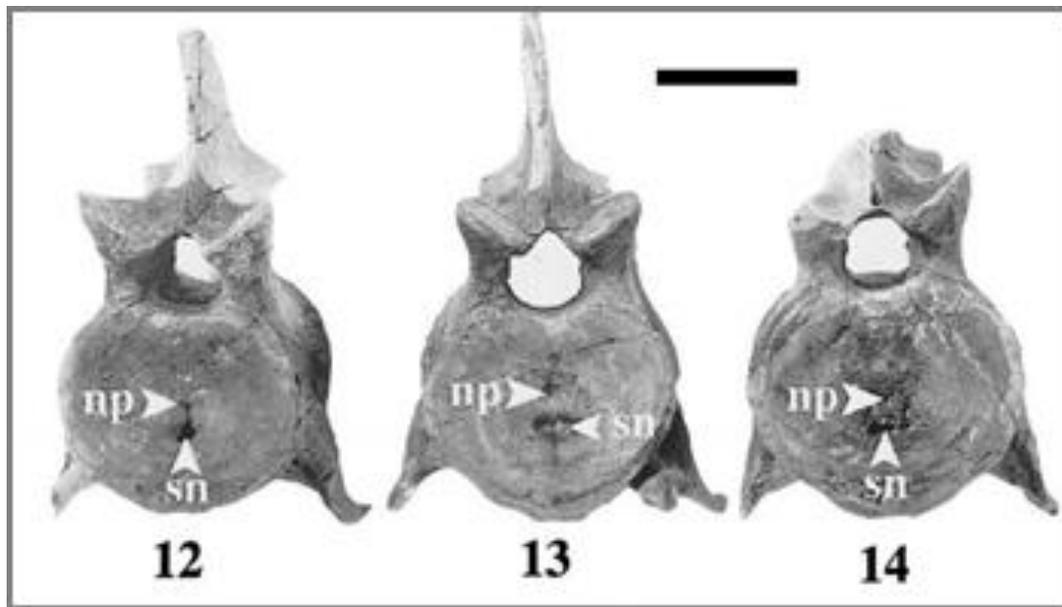


Figura 6. Vértebras cervicales sucesivas (12-14) de *Plesiosaurus* sp. que evidencian nódulos de Schmorl en vista anterior. Abreviaturas: np, pozo notocordal; sn, nódulos de Schmorl. Escala: 2 cm (tomado y modificado de Hopley, 2001).

1.5.5. Artrosis

Las superficies de las articulaciones normalmente están cubiertas con cartílago articular y una membrana sinovial. La degeneración del cartílago es una parte natural del proceso de envejecimiento y como el cartílago carece de su propio suministro sanguíneo en los organismos adultos, una vez dañado no puede repararse (Rothschild y Tanke, 1992; Rothschild y Martin, 1993). La artrosis es una enfermedad crónica caracterizada por el desgaste y la degeneración progresiva del cartílago articular, lo que provoca dolor, pérdida de movilidad y deformación (Rothschild y Martin, 1993; Resnick, 2002; Pérez Alcázar, 2003). En la artrosis lo primero que ocurre es una alteración del cartílago; la zona superficial se hincha y va perdiendo su elasticidad (Resnick, 2002). Lentamente la superficie del cartílago se erosiona, pudiendo llegar a desaparecer y permitiendo con ello que los extremos de los huesos contacten directamente (Resnick, 2002). A medida que se pierde el cartílago, el hueso que está debajo se erosiona y la articulación se deforma por los llamados osteofitos (Resnick, 2002; Pérez Alcázar, 2003; Rothschild y Martin, 2006).

Este tipo de patología ha sido observada en un ejemplar de pliosaurio (*Pliosaurus* sp.) perteneciente al Jurásico Medio (Formación Kimmeridge Clay, Inglaterra). El ejemplar presenta un tipo de artrosis erosiva de la articulación glenoidea (Fig. 7), que provocó una desalineación prolongada de la mandíbula derecha (Fig. 8) y dientes mal ocluidos en el maxilar superior (Sassoon *et al.*, 2012). La artrosis posiblemente debilitó la articulación de la mandíbula derecha lo suficiente como para causar una fractura *peri-mortem* (Sassoon *et al.*, 2012).

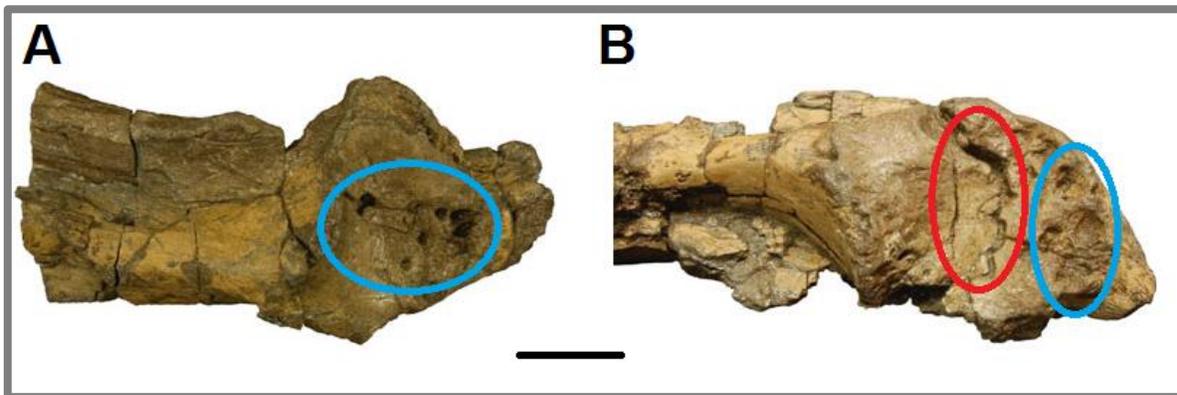


Figura 7. Regiones articulares de la mandíbula de *Pliosaurus* sp. (A) Articular izquierdo y (B) articular derecho en vista dorsal mostrando lesiones patológicas vinculadas a la artrosis erosiva (círculo celeste). El círculo rojo resalta una fractura debido al debilitamiento de la articulación. Escala: 10 cm (tomado y modificado de Sassoon *et al.*, 2012).



Figura 8. Mandíbula de *Pliosaurus* sp. en vista ventral, mostrando una desalineación de mandíbula derecha producto de la patología. Escala: 20 cm (tomado y modificado de Sassoon *et al.*, 2012).

1.5.6. **Fusiones vertebrales debido a traumatismos**

Las fusiones vertebrales son trastornos óseos que aparecen tanto en vertebrados actuales como extintos y no siempre es fácil diagnosticar su causa (Bell y Martin, 1995; Rothschild y Martin, 2006; Rothschild *et al.*, 2012). Éstas pueden estar presentes desde el nacimiento o desarrollarse más tarde en la vida (Erdil *et al.*, 2003). Las fusiones vertebrales de aparición tardía pueden asociarse con hiperostosis ósea e incluyen espondilosis deformante (degeneración no inflamatoria de los discos intervertebrales), hiperostosis esquelética idiopática difusa (osificación de los ligamentos) y espondiloartropatías (varias formas de artritis) (Reswick, 1985; Rothschild y Martin, 2006).

Recientemente se reportaron cuatro especímenes de plesiosaurios provenientes de dos niveles estratigráficos y localidades diferentes que presentaban

fusiones vertebrales (Sassoon, 2019). El primer ejemplar (*Callawayasaurus columbensis*) fue recolectado de la Formación Paja (Cretácico Temprano) en Colombia y presentaba fusiones vertebrales de desarrollo tardío (Fig. 9 A), los tres restantes ejemplares provienen de la Formación Oxford Clay (Calloviano, Jurásico Medio) en Inglaterra. El segundo ejemplar (*Muraenosaurus* sp.) presentaba fusiones vertebrales de tipo congénitas (Fig. 9 B), y el tercer y cuarto ejemplar (*Colymbosaurus megadeirus* y *Plesiosauroidea* indet.) presentaban fusiones vertebrales de desarrollo tardío (Fig. 9 C, D). Las fusiones vertebrales de desarrollo tardío presentan características compatibles a la espondilosis deformante (Sassoon, 2019). Esta patología es una degeneración no inflamatoria de los discos intervertebrales, caracterizada por la formación de proyecciones óseas a través del espacio discal (Rothschild y Martin, 2006; Rothschild *et al.*, 2012). Esta patología se identifica comúnmente en animales domésticos y humanos, pero este es el primer registro de espondilosis deformante en plesiosaurios (Sassoon, 2019).

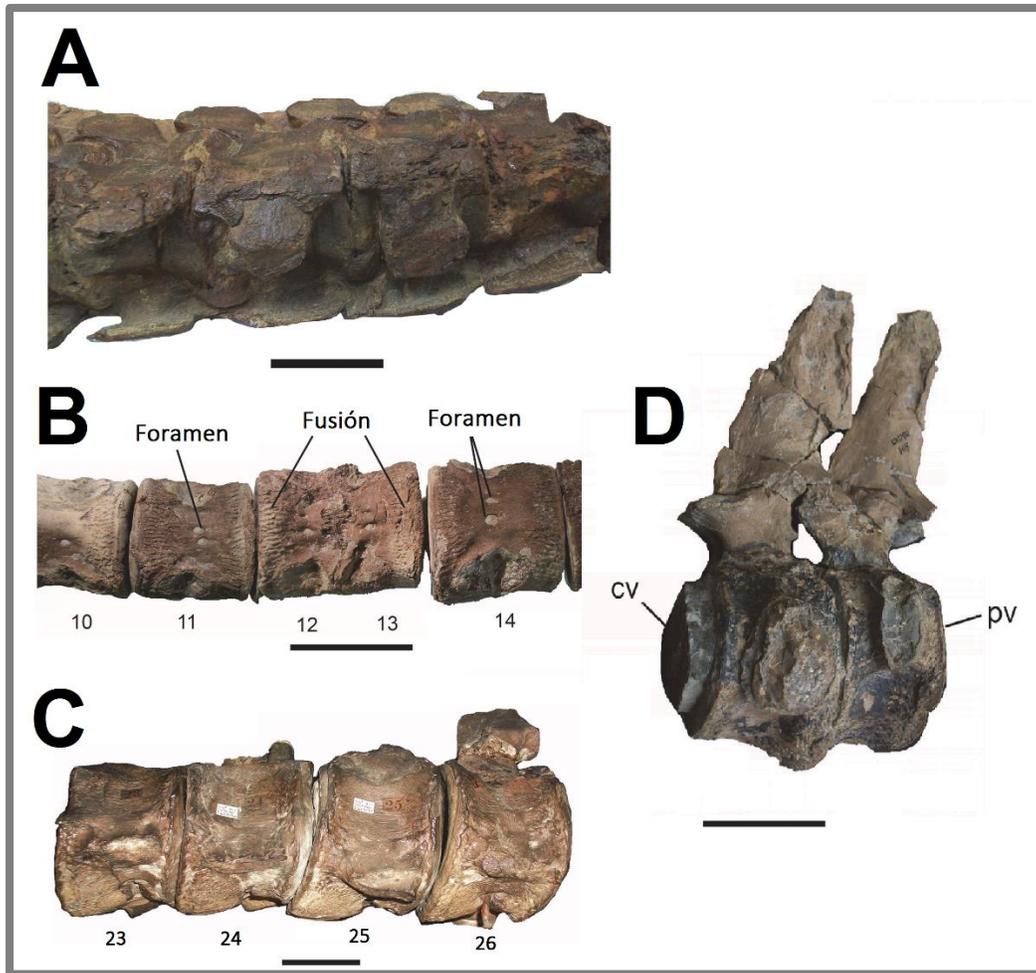


Figura 9. Vértebras de plesiosaurios fusionadas. (A) Vértebras cervicales fusionadas (15-18) de *Callawayasaurus columbensis* en vista ventral. Escala: 5 cm. (B) Vértebras cervicales fusionadas (12-13) de un juvenil *Muraenosaurus* sp. en vista ventral. Escala: 4 cm. (C) Vértebras cervicales fusionadas (23-26) de *Colymbosaurus megadeirus* en vista lateral izquierda. Escala: 3 cm. (D) Fusión de vértebra cervical (cv) y primera vertebra pectoral (pv) de un Plesiosauroide (indet.) en vista lateral izquierda. Escala: 3 cm (tomado y modificado de Sassoon, 2019).

1.6. MOSASAURIOS

Los mosasaurios fueron un grupo diverso de escamados acuáticos que vivieron en océanos y mares epicontinentales durante el Cretácico Tardío, abarcando desde el Cenomaniano (95 Ma) hasta fines del Maastrichtiano (66 Ma) (Russell, 1967; Bell, 1997; Caldwell, 1999). Las adaptaciones más notorias a la vida acuática son la compresión lateral de la cola, la reducción de los miembros con

forma de aleta y la elongación de los cráneos (Fig. 10) (Lindgren *et al.*, 2007, 2011, 2013).

La extinción de los mosasaurios es interpretada de dos formas diferentes, una de ellas sugiere una desaparición progresiva del grupo a lo largo del Cretácico Tardío que se vería representada con una disminución de la diversidad a lo largo de la secuencia estratigráfica (Hallam y Wignall 1997; Archibald *et al.*, 2010). La otra hipótesis está vinculada a los eventos relacionados con el límite Cretácico/Paleógeno (K/Pg) (Ghallager *et al.*, 2012; Polcyn *et al.*, 2014). La disminución en la productividad planctónica (afectando la cadena trófica) de los océanos, impulsada por el impacto del meteorito en la península de Yucatán, pareciera haber provocado la desaparición de los mosasaurios (Gallagher, 2003).

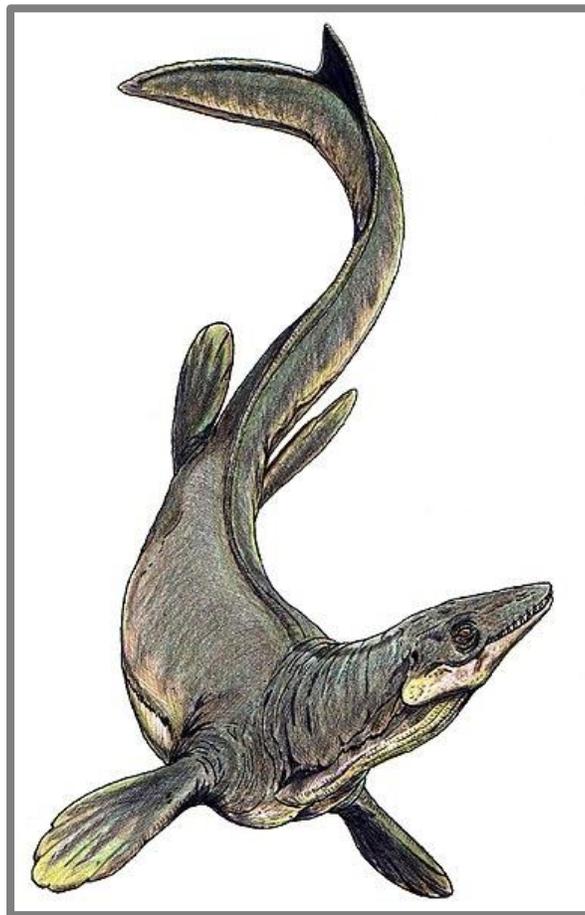


Figura 10. Reconstrucción artística de un mosasaurio perteneciente a la Familia Plioplatecarpinae (ilustración de Bogdanov, 2006).

1.7. RESEÑA HISTÓRICA DE ESTUDIOS PATOLÓGICOS EN MOSASAURIOS

Los reportes de patologías en mosasaurios comenzaron en la década de 1870, pudiendo citarse trabajos pioneros como los de Mudge (1878), Dollo (1882) y Gaudry (1890). Sus trabajos (en su mayoría descriptivos) fueron sucedidos por numerosos informes que describen diversas patologías presentes en los mosasaurios: espondilitis infecciosa (Gaudry, 1890), necrosis avascular (Rothschild y Martin, 1987), neoplasia (Moodie, 1917; Rothschild y Martin, 1993), fracturas óseas (Rothschild y Tanke, 1992; Lingham-Soliar, 2004; Schulp *et al.*, 2004), marcas de mordeduras (Rothschild y Martin, 1987; Schulp *et al.*, 2006; Everhart, 2009; Bastiaans *et al.*, 2020), fusiones vertebrales (Dollo, 1882; Gaudry, 1890; Martin y Rothschild, 1993; Bell y Martin, 1995; Mulder, 2001; Rothschild *et al.*, 2005) y artritis (Moodie, 1923). A continuación, se describen cada una de las patologías registradas en mosasaurios.

1.7.1. *Necrosis avascular*

Al igual que en Plesiosauria, los hábitos de buceo de estos reptiles marinos han dejado en evidencia de la patología denominada necrosis avascular (Rothschild y Martin, 1987, 1993; Moltani *et al.*, 1999), resultado del síndrome de descompresión (Rothschild, 1982). Dicha patología se ha registrado en diversas vértebras (Fig. 11) de mosasaurios como *Platecarpus*, *Tylosaurus* y *Clidastes* (Rothschild y Martin, 1987), las cuales evidencian el síndrome de descompresión. Dichos autores proponen, a partir de esta evidencia, que los mosasaurios no habrían estado bien adaptados para el buceo con rápidos cambios de profundidad (Rothschild y Martin, 1987).



Figura 11. Corte transversal de una vértebra perteneciente a *Platecarpus* sp. con necrosis avascular. Se distingue un patrón amorfo de tejido trabecular (necrosis avascular) en la región central. Se desconoce la escala del material (tomado y modificado de Rothschild y Martin, 1987).

1.7.2. Neoplasia (tumores)

Neoplasia es el término utilizado para nombrar la formación de un neoplasma o tumor, es decir, cualquier crecimiento descontrolado de células o tejidos anormales en el organismo (Rothschild y Martin, 1993; Clohisy *et al.*, 2000; Resnick, 2002). El neoplasma puede ser benigno o maligno: los neoplasmas benignos no crecen agresivamente y sin control, no invaden los tejidos corporales adyacentes y no se diseminan a lo largo del organismo. Por el contrario, los neoplasmas malignos, tienden a crecer rápidamente, invaden los tejidos circundantes y se propagan o diseminan a otras partes del cuerpo mediante un proceso llamado metástasis (Resnick y Niwayama, 1988; Rothschild y Martin, 2006). La palabra cáncer a menudo se confunde con neoplasia, pero solamente los neoplasmas malignos son considerados un tipo de cáncer.

El diagnóstico de neoplasias (tumores) óseas se basa en el patrón de destrucción ósea; se analiza la naturaleza y extensión de la reacción, además de la calcificación de la matriz tumoral (Clohisy *et al.*, 2000; Resnick, 2002). Los tumores se nombran en función del tipo de células que los componen (Resnick y Niwayama, 1988). El cáncer de hueso (desarrollo de tumores, osteomas) habría dado lugar a la formación de trabéculas irregulares (Rothschild *et al.*, 1999) en varios organismos

fósiles. El primer osteoma registrado en un mosasaurio (Fig. 12) está asociado a una vértebra dorsal de *Platecarpus* sp., perteneciente al Cretácico de Kansas, Estados Unidos (Moodie, 1917, 1918a). Se ha observado un caso adicional de osteoma en la vértebra cervical de otro *Platecarpus* sp. perteneciente al Cretácico de Dakota del Sur, Estados Unidos (Fig. 13) (Rothschild y Martin, 1993).



Figura 12. Vértebra dorsal de *Platecarpus* sp. en vista lateral. El osteoma se reconoce como un sobrecrecimiento óseo de morfología redondeada y pequeñas dimensiones (A). Se desconoce la escala del material (tomado y modificado de Moodie, 1917).

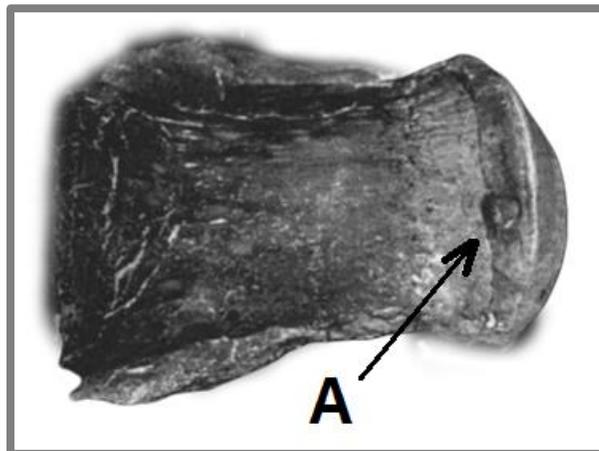


Figura 13. Vértebra cervical de *Platecarpus* sp. en vista lateral. El osteoma se reconoce como un sobrecrecimiento óseo de morfología redondeada y pequeñas dimensiones (flecha). Se desconoce la escala del material (tomado y modificado de Rothschild y Martin, 1993).

1.7.3. Fracturas óseas

Los factores que afectan la ocurrencia de una fractura se relacionan con la naturaleza de la fuerza (magnitud, dirección, tasa de carga y duración) y el área ósea de distribución de esa fuerza (Walker, 1983). A su vez, los factores relacionados con el hueso que determinan la susceptibilidad a la fractura son la densidad, resiliencia y resistencia ósea (Rothschild y Martin, 2006). De acuerdo con Mazess (1982) el 80-90% de la resistencia ósea está determinada por su masa y la resiliencia o capacidad de absorción de energía se relaciona con la carga y la deformación sostenible (Carter y Hayes, 1977). En este trabajo solo se tendrán en cuenta las fracturas que hayan generado alguna reacción del tejido óseo (señales de curación, protuberancias o infección), no se tendrán en cuenta aquellas fracturas generadas *post-mortem*.

Se han descrito protuberancias inusuales en la superficie de una costilla fracturada de *Prognathodon saturator* (Fig. 14), proveniente del Cretácico Superior (Maastrichtiano) de Limburgo, Países Bajos (Schulp *et al.*, 2004). Los autores interpretan estas protuberancias como benignas, pudiendo ser la fractura el desencadenante inicial para su formación. El examen radiológico reveló una curación parcial de la fractura, por lo que se propone que el individuo sobrevivió a la lesión (Schulp *et al.*, 2004). Las fracturas óseas son comúnmente registradas en los mosasaurios, y un pequeño porcentaje de las mismas podría atribuirse a un comportamiento agonístico interespecífico, es decir, cualquier comportamiento social relacionado con la lucha. Esta evidencia también apoya la interpretación de que la patología se desarrolló como resultado de un encuentro con otro mosasaurio (Schulp *et al.*, 2004).

Por otro lado, se observaron numerosas lesiones curadas en la mandíbula de un *Platecarpus ictericus* proveniente de la misma localidad que el material anterior (Limburgo, Países Bajos). El ejemplar presentaba el dentario derecho fracturado acompañado de un proceso infeccioso (Fig. 15) que lo siguió debilitando.

Según los autores, la fractura pudo deberse al impacto de la mandíbula contra un objeto más duro, como el caparazón de una tortuga. La evidencia de dientes rotos y fracturas superficiales por estrés resultan parsimoniosas con el diagnóstico (Lingham-Soliar, 2004). Además, la evidencia de fracturas parcialmente cicatrizadas, denotan que el ejemplar logró sobrevivir durante un tiempo hasta que la infección afectó toda la mandíbula y la hizo ineficaz para la alimentación, lo cual habría conducido a la muerte del individuo (Lingham-Soliar, 2004).

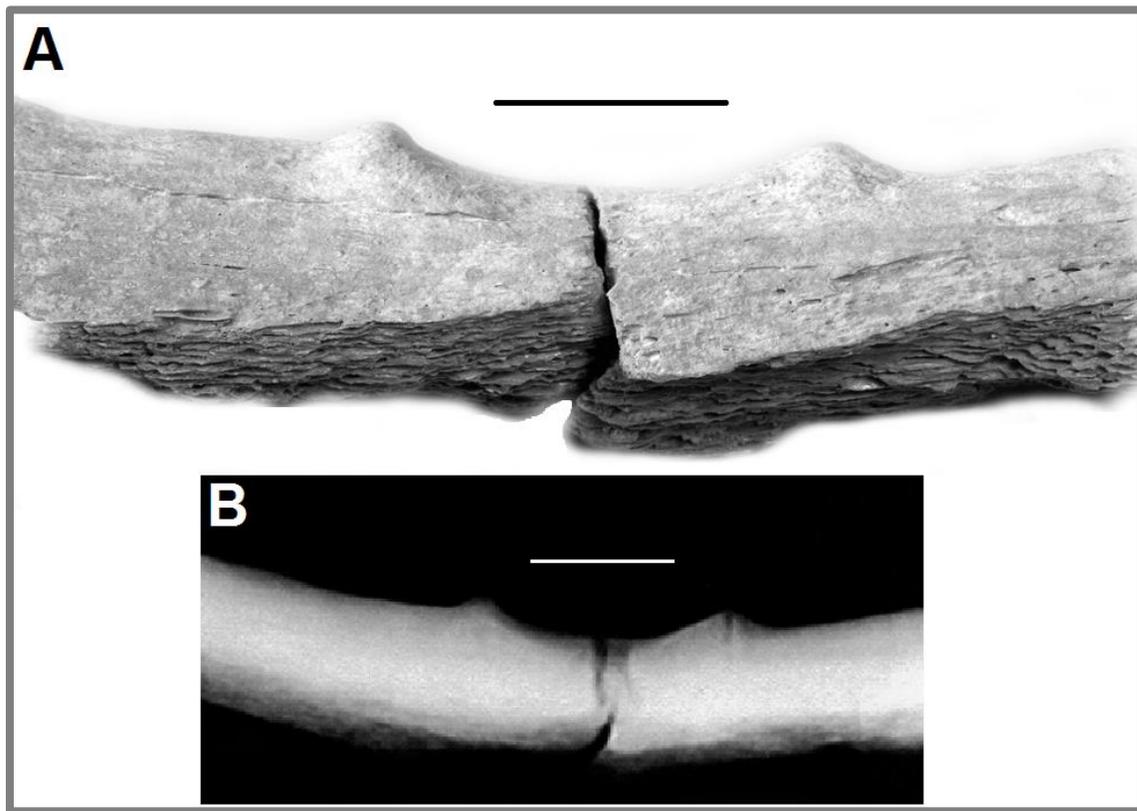


Figura 14. (A) Costilla de *Prognathodon saturator* exhibiendo una fractura y dos protuberancias a los laterales de la misma. (B) Radiografía de la costilla que evidencia leves indicios de cicatrización en la región central. Escala: 2 cm (tomado y modificado de Schulp *et al.*, 2004).

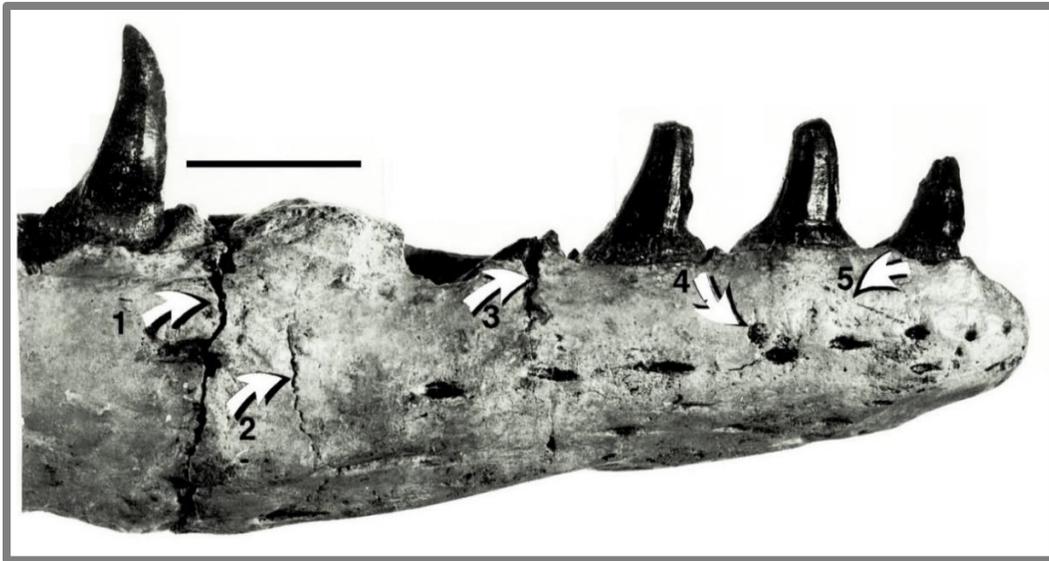


Figura 15. Dentario derecho de *Platecarpus ictericus* en vista lateral. 1) Fractura transversal, evidenciando una callosidad que la recubre parcialmente. 2) Fractura transversal por estrés. 3) Fractura transversal completamente cicatrizada. 4) Pequeña depresión circular. 5) Marca de rasguño superficial. Escala: 4 cm (tomado y modificado de Lingham-Soliar, 2004).

1.7.4. Fusiones vertebrales debido a infecciones óseas

Las infecciones óseas (osteomielitis) pueden tener un fuerte impacto en la morfología del tejido óseo (Resnick, 2002; Lingham-Soliar, 2004). En los estudios paleopatológicos, donde el material disponible generalmente se limita a partes duras (huesos), solo aquellas infecciones lo suficientemente graves dejarán un rastro reconocible en el tejido óseo (Rothschild y Martin, 1993). La osteomielitis puede ser causada por una infección endógena (se disemina de la sangre al hueso) o una infección exógena (por ejemplo, una fractura expuesta o marcas de mordeduras) (Walenkamp, 1997). En la osteomielitis, el desequilibrio entre la lisis celular (ruptura de la membrana celular) y la hiperostosis (crecimiento excesivo de tejido óseo) conduce a la desorganización de la estructura trabecular del hueso esponjoso (Resnick y Niwayama, 1988; Rothschild y Berman, 1991; Resnick, 2002). Además, el efecto de esta patología en el individuo es variable, pudiendo generar una erosión profunda del tejido óseo o la fusión asimétrica de las partes duras (huesos) del individuo (Rothschild y Martin, 2006).

La mayoría de los casos de vértebras fusionadas en mosasaurios parecen atribuirse a los ataques fallidos de tiburones, los cuales desencadenaron algún proceso infeccioso (osteomielitis) que las afectó de manera drástica (Rothschild y Everhart, 2015). Una serie de vértebras fusionadas de un ejemplar de *Clidastes* (Fig. 16), recuperado del Pierre Shale de Dakota del Sur (Maastrichtiano), con un diente incrustado en las mismas confirmó la interacción interespecífica entre mosasaurios y los tiburones cretácicos (Rothschild y Martin, 1987). Por otro lado, se ha descrito un mosasaurio (*Tylosaurus*) que presenta una serie de vértebras caudales fusionadas con otro diente de tiburón asociado (Fig. 17), el mismo también fue recolectado del Pierre Shale de Dakota del Sur (Bell y Martin, 1995). En ambos ejemplares la herida se infectó y resultó en la fusión de las vértebras terminales, evidencia de que los mosasaurios sobrevivieron durante un período de tiempo prolongado (Rothschild y Martin, 1987; Bell y Martin, 1995).

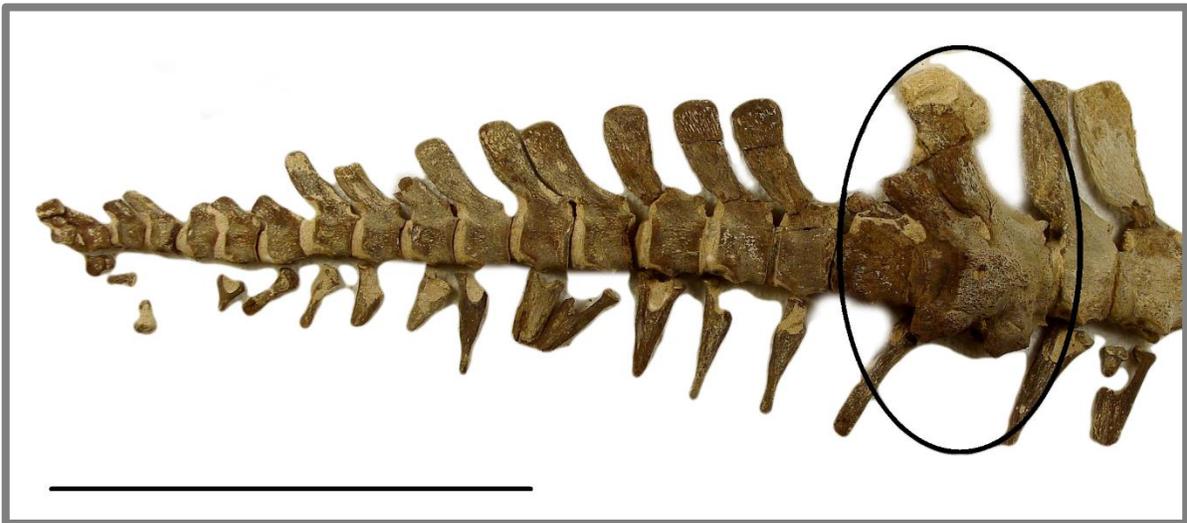


Figura 16. Tres vértebras fusionadas (circulo) de un pequeño *Clidastes*, posiblemente como resultado de una mordedura. Escala: 15 cm (tomada y modificada de Rothschild y Martin, 1987).

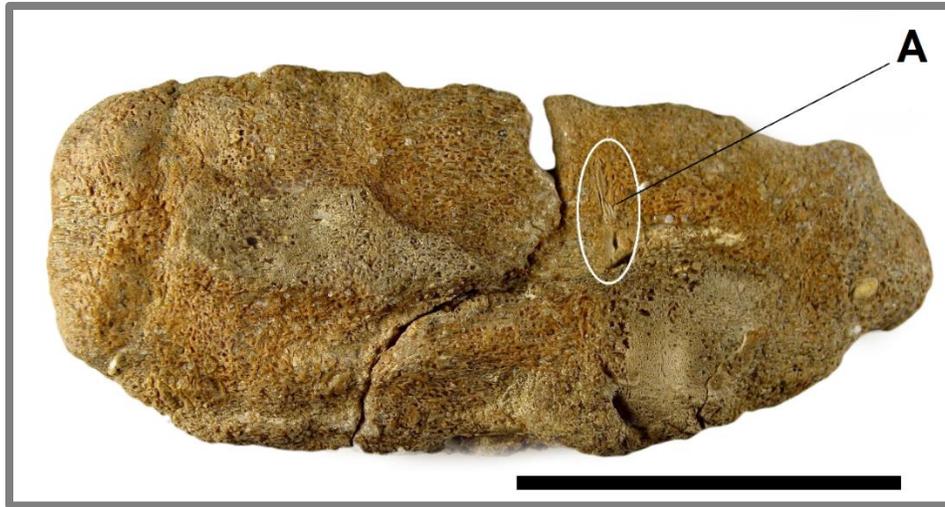


Figura 17. Vértices terminales fusionadas de un *Tylosaurus*. A) Diente de tiburón asociado, posible factor desencadenante de la fusión vertebral. Escala: 3,5 cm (tomada y modificada de Bell y Martin, 1995).

Otro ejemplar que presenta vértebras caudales fusionadas en dos segmentos de la columna vertebral es *Plioplatecarpus marshi* (Fig. 18), el mismo proviene del Cretácico Superior (Maastrichtiano) de Limburgo, Países Bajos (Mulder, 2001). Según el autor, los dos grupos de vértebras caudales fusionadas muestran signos de una infección ósea (osteomielitis), similar a las condiciones presentes en el ejemplar de Dakota del Sur descrito por Bell y Martin (1995). Es probable que este mosasaurio haya sido mordido más de una vez, lo que resultó en dos grupos de vértebras caudales fusionadas producto de la infección (Mulder, 2001).

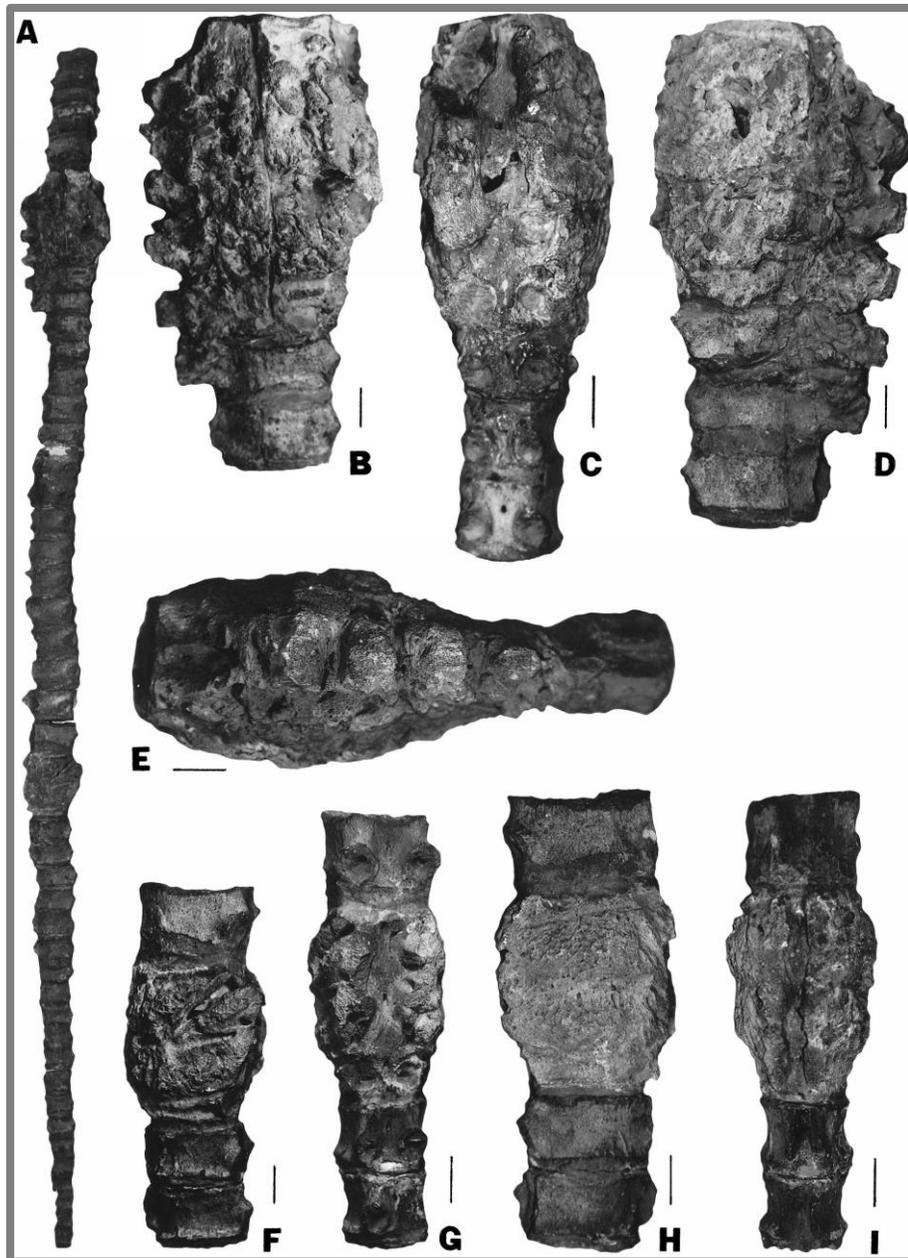


Figura 18. *Plioplatecarpus marshi* con dos grupos de vértebras fusionadas por espondilitis infecciosa. El grupo anterior comprende seis vértebras (B, C, D, E) y el grupo posterior comprende tres vértebras (F, G, H, I). A) Vista lateral derecha, B-F) vista lateral derecha, C-G) vista ventral, D-H) vista lateral izquierda, E-I) vista dorsal. Escala: 2 cm (tomado y modificado de Mulder, 2001).

Por último, la remodelación ósea vertebral observada en un *Platecarpus* (Fig. 19), recuperado del Cretácico Superior de Kansas (Estados Unidos), permite inferir que el ejemplar sobrevivió al ataque de un tiburón (Rothschild *et al.*, 2005). Según

los autores, la fusión vertebral fue resultado de una infección ósea masiva (osteomielitis) producto de la mordedura (Rothschild *et al.*, 2005), al igual que todos los ejemplares de mosasaurios mencionados anteriormente.

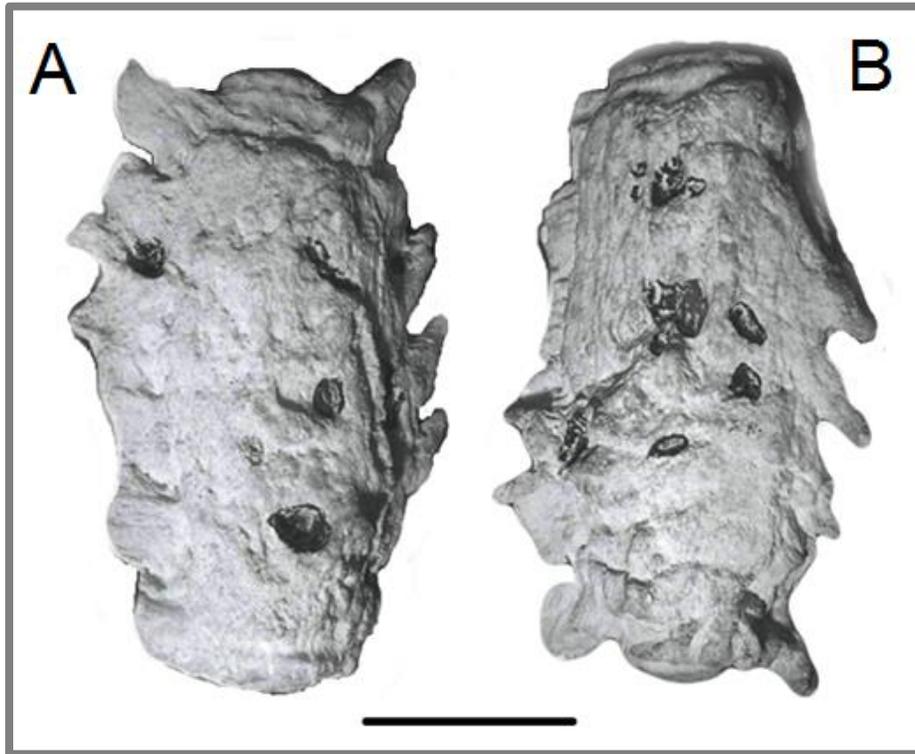


Figura 19. Vértices fusionados de *Platecarpus* en vista lateral izquierda (A) y vista lateral derecha (B). Son visibles ocho depresiones que representan marcas de dientes cicatrizadas. Escala: 5 cm (tomada y modificada de Rothschild *et al.*, 2005).

1.7.5. Fusiones vertebrales debido a traumatismos

Al igual que los plesiosaurios, las fusiones vertebrales pueden estar presentes desde el nacimiento o desarrollarse más tarde en la vida (Erdil *et al.*, 2003). Las fusiones vertebrales de aparición tardía pueden asociarse con hiperostosis ósea e incluyen espondilosis deformante (degeneración no inflamatoria de los discos intervertebrales), hiperostosis esquelética idiopática difusa (osificación de los ligamentos), espondiloartropatías (varias formas de artritis) y osteomielitis (infecciones óseas) (Reswick, 1985; Rothschild y Martin, 2006). Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las fusiones vertebrales en mosasaurios se deben a

procesos infecciosos (osteomielitis), aunque existen algunos ejemplares cuyas fusiones no se produjeron debido a esta patología, sino debido a traumatismos (ej. degeneración del disco intervertebral).

La fusión vertebral en un ejemplar de *Plioplatecarpus* (Fig. 20), recuperado del Cretácico de Estados Unidos, llevó a Dollo (1882) a creer originalmente que representaban un sacro y, por lo tanto, se trataba de un nuevo género. Sólo cuando se dispuso de materiales adicionales (ej. el verdadero sacro) se reconoció la fusión vertebral como patología (Gaudry, 1890). Según Gaudry (1890), la principal causa de la fusión vertebral en el ejemplar descrito por Dollo (1882), se debe a una degeneración del disco intervertebral y la subsecuente fusión de los elementos (espondilosis deformante).

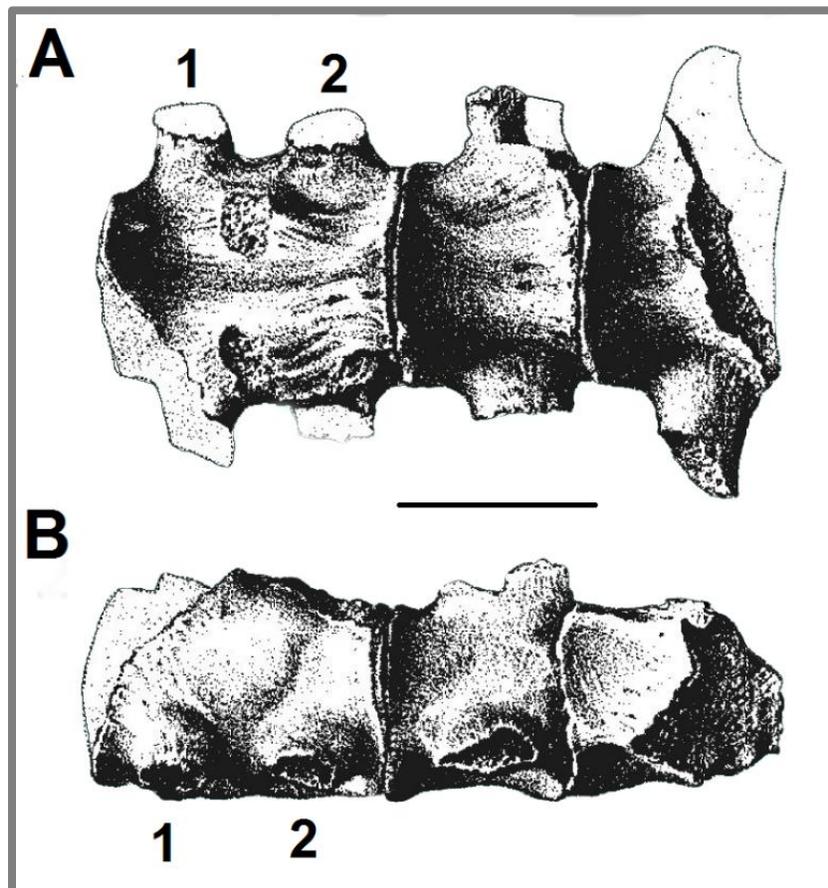


Figura 20. Vértices fusionados (1-2) pertenecientes al holotipo de *Plioplatecarpus* en vista ventral (A) y vista lateral derecha (B). Escala: 6 cm (tomada y modificada de Dollo, 1890).

1.7.6. Osteomielitis

Como se mencionó anteriormente, la osteomielitis puede ser causada por una infección endógena (se disemina de la sangre al hueso) o una infección exógena (por ejemplo, una fractura expuesta o marcas de mordeduras) (Walenkamp, 1997), y su efecto es variable dependiendo la región donde se haya desencadenado la infección. A continuación, se mencionan ejemplos de mosasaurios afectados por procesos infecciosos, los cuales condujeron a una pérdida significativa del tejido óseo de los mismos.

Existen registros de una infección masiva (osteomielitis) que destruyó una parte considerable del cuadrado izquierdo (Fig. 21) y la parte posterior de la mandíbula en un *Mosasaurus hoffmanni*, proveniente del Maastrichtiano de Limburgo, Países Bajos (Schulp *et al.*, 2006). Según los autores, la formación de nuevo tejido óseo sugiere que el mosasaurio sobrevivió a la infección durante un período prolongado de tiempo y que la causa de la misma podría vincularse a una mordedura. En este caso, el mosasaurio atacante probablemente logró perforar la parte inferior del cuadrado, creando una puerta de entrada para la infección (Schulp *et al.*, 2006).

Asimismo, se han descrito múltiples patologías craneales en un *Prognathodon sectorius* (Fig. 22), proveniente del Maastrichtiano de Limburgo (Bastiaans *et al.*, 2020). Éste fue mordido en el rostro por un mosasaurio más grande, lo que desencadenó un proceso infeccioso perjudicial para el ejemplar a largo plazo (Bastiaans *et al.*, 2020). Según los autores, las características radiológicas y morfológicas sugieren una osteomielitis crónica que condujo a la pérdida de una parte del maxilar izquierdo. Esto probablemente obstaculizó la capacidad de alimentación y contribuyó a la muerte del individuo (Bastiaans *et al.*, 2020).

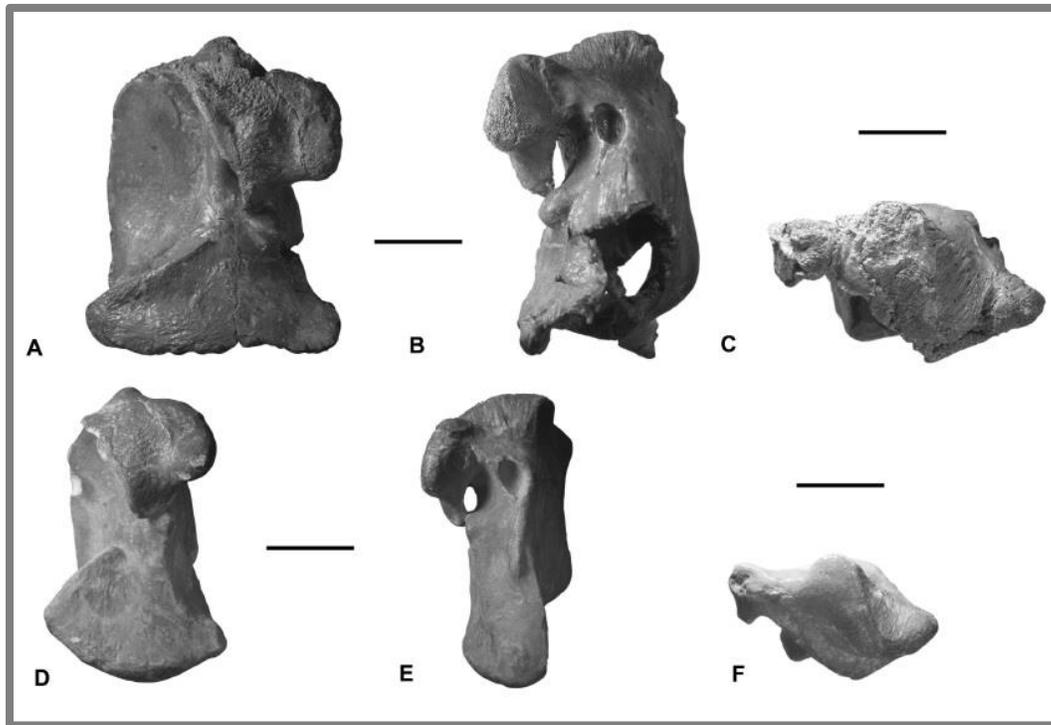


Figura 21. Cuadrado izquierdo patológico de *Mosasaurus hoffmanni* en vista posterior (A), medial (B) y dorsal (C); Cuadrado izquierdo normal de *Mosasaurus hoffmanni* en vista posterior (D), medial (E) y dorsal (F) para comparación. Escala: 5 cm (tomada y modificada de Schulp *et al.*, 2006).

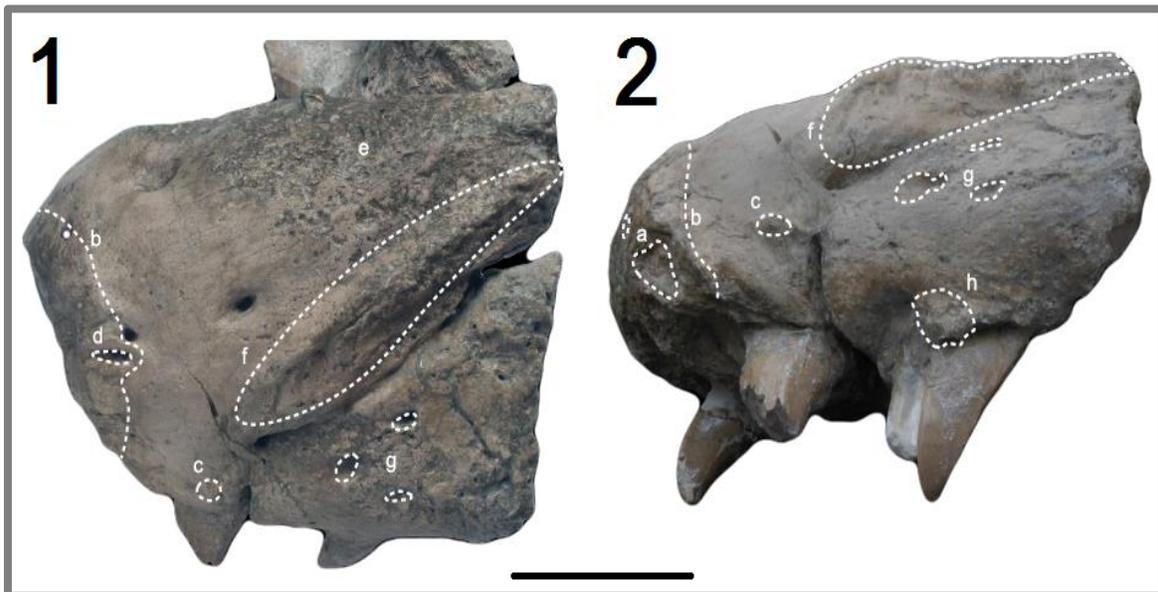


Figura 22. Osteomielitis registrada en el rostro de *Prognathodon sectorius*. (1-2) Maxilar y premaxilar izquierdos en vista dorsal (1) y vista lateral izquierda (2). Las letras denotan las diversas anomalías

visibles en los elementos óseos. Obsérvese el daño extenso en la sección más anterior del premaxilar (a-d) y en el lateral izquierdo del maxilar (f-h) producto de una infección ósea. La rugosidad visible en vista ventral (e) probablemente se asocia a una erosión bacteriana post-mortem. Escala: 5 cm (tomada y modificada de Bastiaans et al., 2020).

1.7.7. Artritis

La artritis causa inflamación de las articulaciones, que a su vez produce dolor y dificultad para el movimiento (Pérez Alcázar, 2003). La inflamación provoca un daño en la región donde el hueso se fija a la membrana sinovial, lesionando los ligamentos y tendones circundantes (Resnick, 2002). La sobrecarga en las articulaciones inflamadas contribuye a acelerar su destrucción y también puede provocar que el cartílago adelgace (Pérez Alcázar, 2003).

El primer registro de artritis en mosasaurios lo realiza Williston (1898) observando en *Platecarpus* un crecimiento anormal del húmero (Fig. 23). Más tarde, se identificó la patología de este ejemplar como osteoperiostitis con artritis deformante (Moodie, 1923). Esta patología indica la presencia de bacterias debajo del periostio, que producen excrecencias óseas que difieren del hueso normal (Moodie, 1923). Recientemente, se registró un caso de artritis infecciosa en una escápula de mosasaurio juvenil recuperado del Maastrichtiano superior de la Antártida (Talevi *et al.*, 2018, 2019a, 2019b). El examen macroscópico de la escápula reveló una articulación gleno-humeral remodelada, profundamente excavada y expandida (Talevi *et al.*, 2018, 2019a, 2019b). Dicha escápula forma parte de los materiales a analizar del siguiente trabajo final de grado y será explicada con mayor detalle más adelante.

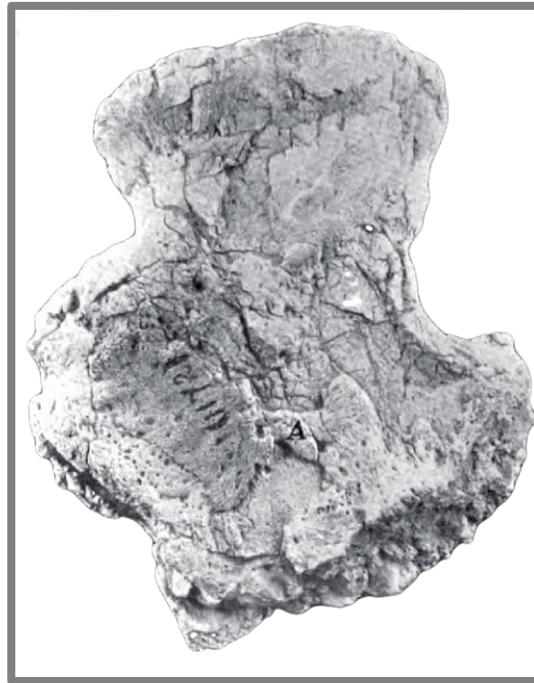


Figura 23. Húmero de *Platecarpus* que presenta un crecimiento exostosial que difieren del hueso normal. Las excrecencias patológicas indican la presencia de bacterias debajo del periostio. Se desconoce la escala del material (tomada y modificada de Moodie, 1923).

CAPÍTULO 2 – MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MARCO GEOLÓGICO

Los materiales analizados proceden de formaciones geológicas diferentes, pertenecientes al Cretácico Superior de Patagonia y Antártida. Sus procedencias geográficas y estratigráficas se mencionarán a continuación.

2.1.1. Ejemplar MML-PV 1305. Vértebra cervical de plesiosaurio.

Recolectado en la localidad del Bajo de Santa Rosa (Formación Allen), que se encuentra aproximadamente a 150 km al suroeste de la ciudad de Lamarque, en el centro sur de la provincia de Río Negro, Argentina (Fig. 24). En esta área, las rocas sedimentarias mesozoicas expuestas corresponden a tres formaciones del Cretácico Superior: Bajo de la Carpa, Allen y Jagüel (Hugo y Leanza, 2001).

La Formación Allen es la primera unidad litoestratigráfica del Grupo Malargüe, correspondiente a la primera transgresión atlántica en la cuenca Neuquina (Casamiquela, 1978; Hugo y Leanza, 2001). La misma se extendió sobre el norte de Patagonia, llegando al sur de las provincias de Mendoza y La Pampa (González Riga y Casadio, 2000).

Los estudios paleoambientales de la Formación Allen (ej. Barrio, 1990; Casadio, 1994; Page *et al.*, 1999; Gasparini *et al.*, 2007) sugieren la presencia de un ambiente fluvial en la sección basal, volviéndose submareal con influencia continental en la sección media, y finalmente, en la sección superior se representa una regresión marina, con la evaporación de lagunas poco profundas cercanas al mar. Basado en los ostrácodos y la magnetoestratigrafía, la Formación Allen es considerada de edad Campaniano superior - Maastrichtiano temprano (Ballent, 1980; Hugo y Leanza, 2001).

En el Bajo de Santa Rosa, la Formación Allen consta de dos miembros de aproximadamente 70 metros de espesor cada uno (Hugo y Leanza, 2001). Por un lado, el miembro inferior está compuesto por areniscas y lutitas con carbonato intercalado (Page *et al.*, 1999). Por otro lado, el miembro superior está dominado por pelitas grises y rocas evaporíticas (Page *et al.*, 1999).

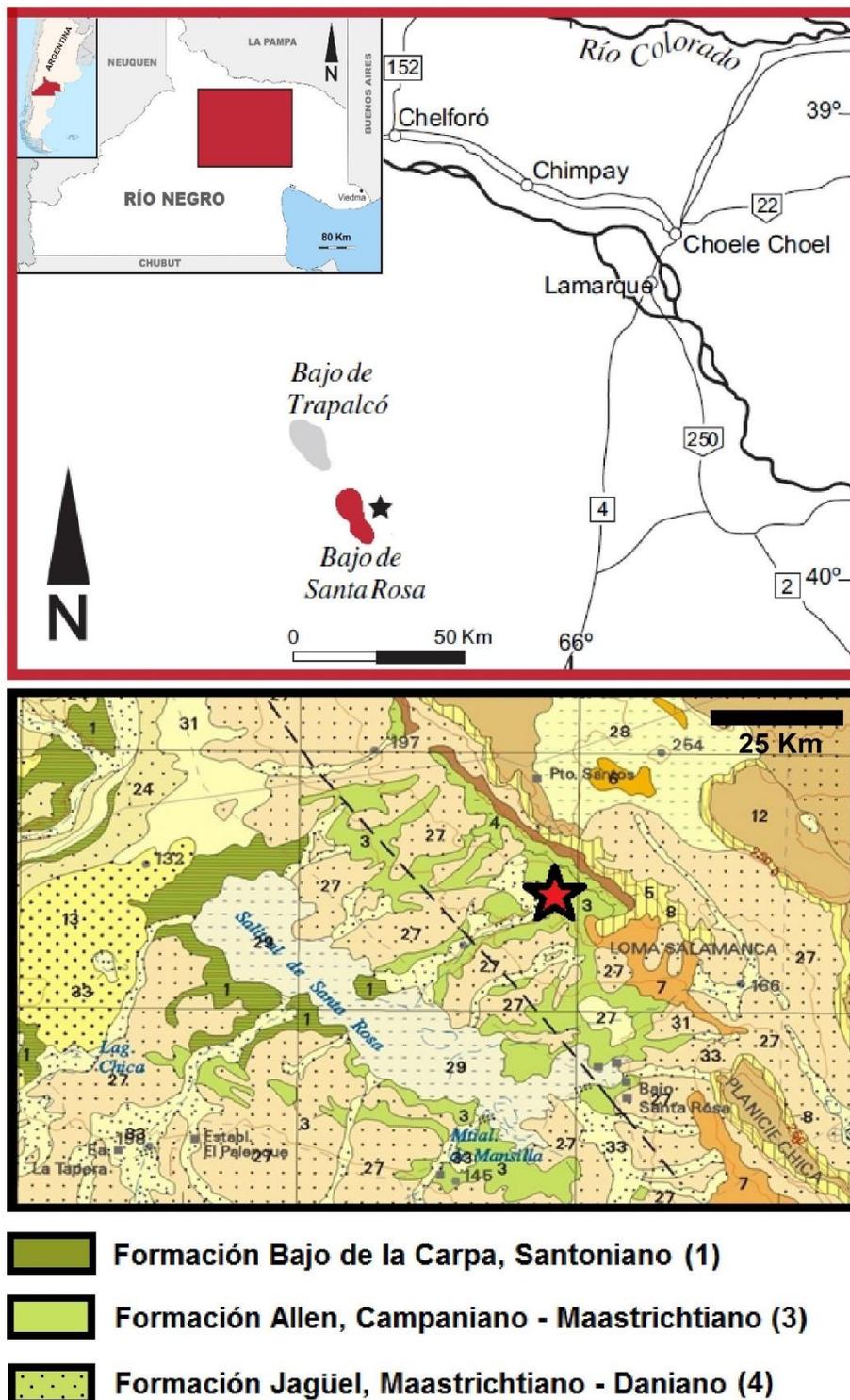


Figura 24. Mapa de ubicación del Bajo de Santa Rosa, localizado en la provincia de Río Negro, Argentina. En el Bajo de Santa Rosa se reconocen 3 formaciones pertenecientes al Cretácico Superior: Bajo de la Carpa, Allen (marcada con una estrella) y Jagüel (tomada y modificada de Hugo y Leanza, 2001; Gómez *et al.*, 2008).

2.1.2. Ejemplar MLP 87-II-7-1. Escápula izquierda de mosasaurio.

Recolectado en 1987 durante una expedición en la Península Antártica (Fig. 25), realizada por el personal de la División Paleontología de Vertebrados (Museo de La Plata, Argentina) y el Instituto Antártico Argentino. El material fue recuperado de la Formación López de Bertodano, ubicada en la Isla Marambio (Isla Seymour). Esta formación pertenece al Grupo Marambio (Rinaldi, 1982), que también incluye las formaciones Santa Marta, Snow Hill Island, López de Bertodano y Sobral (Olivero, 2012).

La Formación López de Bertodano fue originalmente descrita por Rinaldi *et al.* (1978). Las sedimentitas de esta formación fueron depositadas desde el Maastrichtiano temprano hasta el Daniano temprano (Olivero, 2012), y afloran principalmente en las islas Marambio y Snow Hill, mientras que secciones más jóvenes afloran parcialmente en la Isla Vega (Olivero, 2012). Macellari (1988) dividió originalmente la Formación López de Bertodano en diez unidades (Unidades 1-10), pero recientemente se ha considerado que la Unidad 1 es parte del miembro Haslum Crag Sandstone de la Formación Snow Hill Island (Olivero y Malumián, 2008; Olivero, 2012). Las unidades inferiores, de 2 a 6, se denominan informalmente "Unidades Rotularia", mientras que las unidades superiores, de 7 a 10, se denominan "Unidades de moluscos". Estas últimas son altamente fosilíferas, especialmente las unidades 9 y 10, que se extienden sobre el límite de K/Pg (Elliot *et al.*, 1994; Macellari, 1998; Zinsmeister, 1998). La escápula de mosasaurio fue recolectada entre la unidad 8 y 9. Estas consisten en lutitas masivas y areniscas limosas de grano muy fino intercaladas con bancos de arenisca fina glauconítica (Talevi *et al.*, 2018). Estos depósitos representan una transgresión oceánica seguida de una tendencia regresiva en la parte superior de la Formación López de Bertodano (Olivero, 2012). En general, la profundidad del agua aumenta desde el posible estuario en las unidades inferiores hasta la plataforma completamente abierta en las unidades superiores (Zinsmeister, 1998).

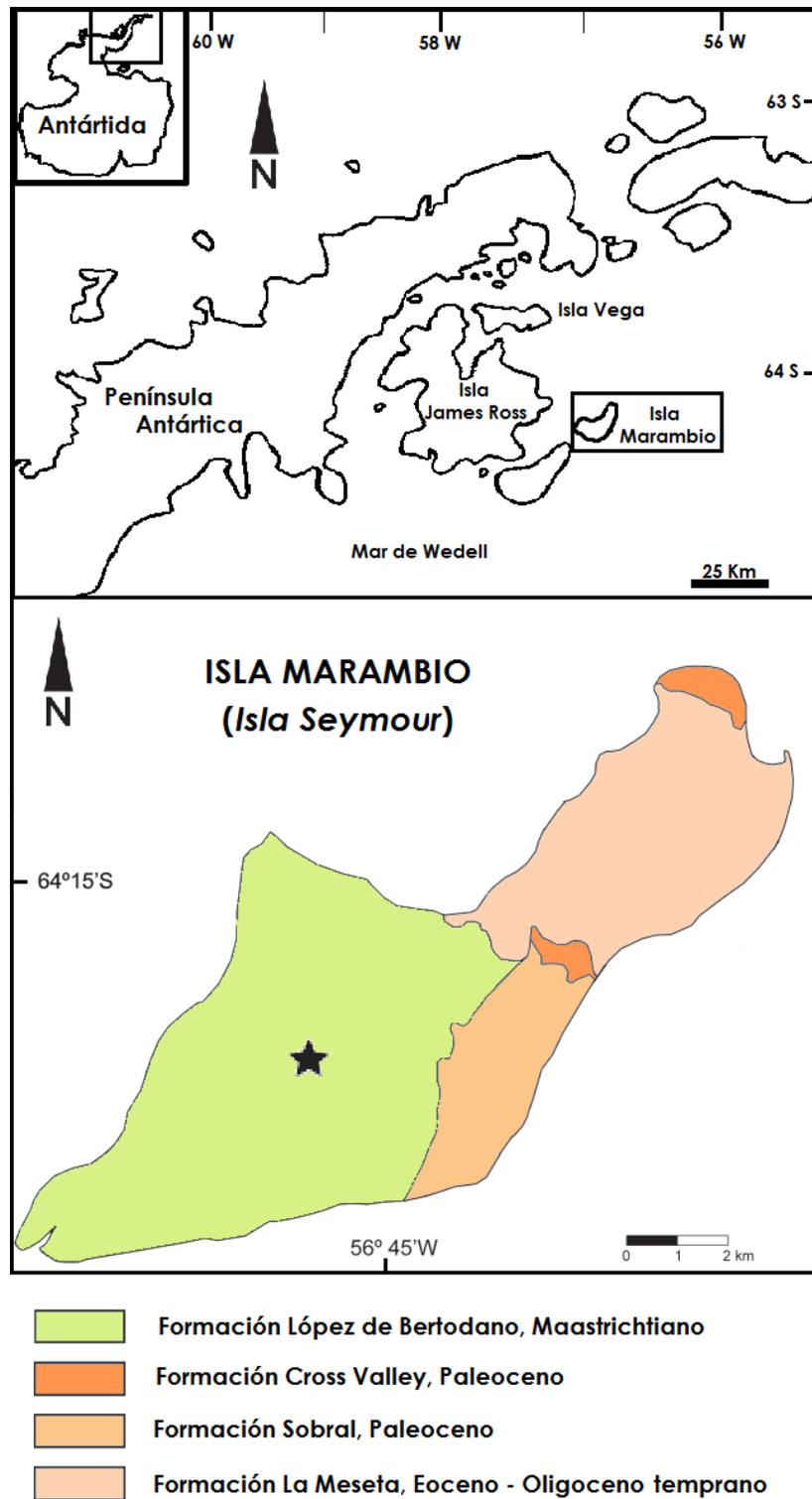


Figura 25. Mapa de ubicación de la Isla Marambio (Isla Seymour), localizada en el archipiélago James Ross, Antártida. En la Isla Marambio se reconocen 4 formaciones principales: López de Bertodano (marcada con una estrella), Cross Valley, Sobral y La Meseta (tomada y modificada de Martin, 2006; Otero *et al.*, 2015).

2.2. ELEMENTOS ANALIZADOS

2.2.1. Plesiosaurio

Paleontología Sistemática

Ejemplar MML-PV 1305

Clase REPTILIA Linnaeus, 1758

Subclase DIAPSIDA Osborn, 1903

Superorden SAUROPTERYGIA Owen, 1860

Orden PLESIOSAURIA de Blainville, 1835

Superfamilia PLESIOSAUROIDEA Welles, 1943

Familia ELASMOSAURIDAE Cope, 1869

Elasmosauridae indet.

Procedencia geográfica y estratigráfica. Bajo de Santa Rosa (Río Negro, Argentina). Formación Allen, Campaniano superior - Maastrichtiano inferior.

Comentarios: El elemento analizado se refiere a Elasmosauridae por la presencia de una vértebra cervical elongada, cuya cara articular presenta una concavidad ventral (Gasparini *et al.*, 2007; Benson y Druckenmiller, 2014). Las características externas (fusión del arco neural al centro vertebral) indicaría que la vértebra cervical tendría rasgos de un ejemplar adulto.

2.2.2. Mosasaurio

Paleontología Sistemática

Ejemplar MLP 87-II-7-1

Clase REPTILIA Linnaeus, 1758

Subclase DIAPSIDA Osborn, 1903

Orden SQUAMATA Opperl, 1811

Familia MOSASAURIDAE Gervais, 1852

Subfamilia PLIOPLATECARPINAЕ Dollo, 1884

Plioplatecarpinae indet.

Procedencia geográfica y estratigráfica. Isla Marambio (Antártida). Formación López de Bertodano, Maastrichtiano tardío.

Comentarios: El elemento analizado corresponde a un individuo juvenil referido a Plioplatecarpinae por la presencia de una superficie de articulación con el coracoides suavemente convexa, lo que sugiere que, como en *Platecarpus*, *Plioplatecarpus* y *Tylosaurus*, ambos elementos no están firmemente unidos (Russell, 1967).

2.3. ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN

2.3.1. Microtomografías computarizadas

Las muestras se analizaron en “YPF Tecnología” (Y-TEC) mediante microtomografías computarizadas de rayos X industrial (mCT, Bruker SkyScan 1773); las instalaciones pertenecen a la empresa YPF y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en La Plata (Argentina). Los materiales se escanearon a 130 kV, 61 mA, archivo de salida de 1120 x 1120 píxeles por proyección, distancia entre cortes de 50 mm y tamaño de vóxel de 40,06 mm. El haz de rayos X se filtró mediante un filtro metálico de cobre de 0,25 mm de espesor. Se adquirió un conjunto de 720 proyecciones mediante un detector de panel plano (Hamamatsu 130/300) en un ángulo de exploración total de 360. Los cortes de mCT resultantes se reconstruyeron utilizando el software comercial NRecon versión 1.6.9.8. Los cortes reconstruidos se importaron (como una pila de archivos BMP de 8 bits) a ImageJ para analizar las imágenes microCT. Este método permitió observar la estructura interna en tres dimensiones y la extensión de la condición patológica. Asimismo, se tomaron diferentes medidas del material empleando un calibre digital.

2.3.2. Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica utilizada para estudiar y definir con precisión la forma, dimensión y posición en el espacio de cualquier objeto, utilizando principalmente medidas tomadas sobre una o más fotografías de ese objeto (Derenyi, 1996; Schenk, 2005). Esta técnica se basa generalmente en la iluminación

de un objeto y la medición de puntos conjugados, apareciendo en dos imágenes fotográficas o midiendo la conjunción de puntos en múltiples imágenes fotográficas (Givi *et al.*, 2019). Es necesario asegurarse que la superficie del objeto tenga suficiente luz y textura óptica para permitir que los puntos conjugados se emparejen a través de dos o más imágenes (Murphy *et al.*, 2013; Givi *et al.*, 2019). El procesamiento de imágenes se realiza mediante un software específico (Agisoft Metashape) para generar una nube de puntos, que luego servirá para la creación del modelado 3D. La precisión de la reconstrucción depende de la calidad de las imágenes y texturas (Murphy *et al.*, 2013; Givi *et al.*, 2019).

La fotogrametría consta de tres partes principales según Mallison y Wings (2014):

- A) Fotografía del material en múltiples vistas.
- B) Edición de imágenes (siempre y cuando sea necesario).
- C) Cálculo del modelo. Este consiste en los siguientes pasos:
 1. Configuración de datos en el programa (incluye preparativos de escalado).
 2. Alineación de las fotografías (incluye escalamiento).
 3. Generación de nubes de puntos densa.
 4. Generación de malla poligonal.
 5. Generación de textura.
 6. Exportación de datos para la creación del modelo 3D.

Por último, se tomaron fotografías y mediciones de cada uno de los elementos óseos. Este proceso se realizó meticulosamente con ambos ejemplares, teniendo en cuenta la luz incidente y la orientación del elemento. Las fotografías se realizaron con una cámara Nikon modelo Coolpix L820 de 16 megapíxeles. A su vez, el programa utilizado para la creación del modelo 3D fue Agisoft Metashape.

2.4. ABREVIATURAS INSTITUCIONALES

MML - Museo Paleontológico Municipal de Lamarque

MLP - Museo de Ciencias Naturales de La Plata

UNRN - Universidad Nacional de Río Negro

2.5. ABREVIATURAS ANATÓMICAS

Arco neural (**AN**); Articulación glenohumeral (**AG**); Cara articular con el coracoides (**AC**); Costilla cervical derecha (**CCD**); Costilla cervical izquierda (**CCI**); Cuello de la escápula (**CE**); Foramen ventral (**FV**); Hoja escapular (**HE**); Longitud anteroposterior (**LAP**); Longitud dorsoventral (**LDV**); Longitud media (**LM**); Longitud transversal (**LT**).

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS

3.1. Ejemplar MML-PV 1305. Vértebra cervical de plesiosaurio elasmosáurido.

3.1.1. Descripción general

El elemento analizado presenta las siguientes medidas anatómicas: la longitud dorsoventral (LDV) es de 44,3 milímetros, la longitud anteroposterior (LAP) es de 59,3 milímetros y la longitud transversal (LT) es de 71,2 milímetros. El centro vertebral presenta múltiples fracturas longitudinales y transversales, las cuales no son patológicas sino debidas a factores diagenéticos. Además, las costillas cervicales se encuentran incompletas y el arco neural está ausente. Las facetas articulares son ligeramente cóncavas con forma de mancuerna (Fig. 26, A-B) y en vista ventral se evidencian dos forámenes ventrales.

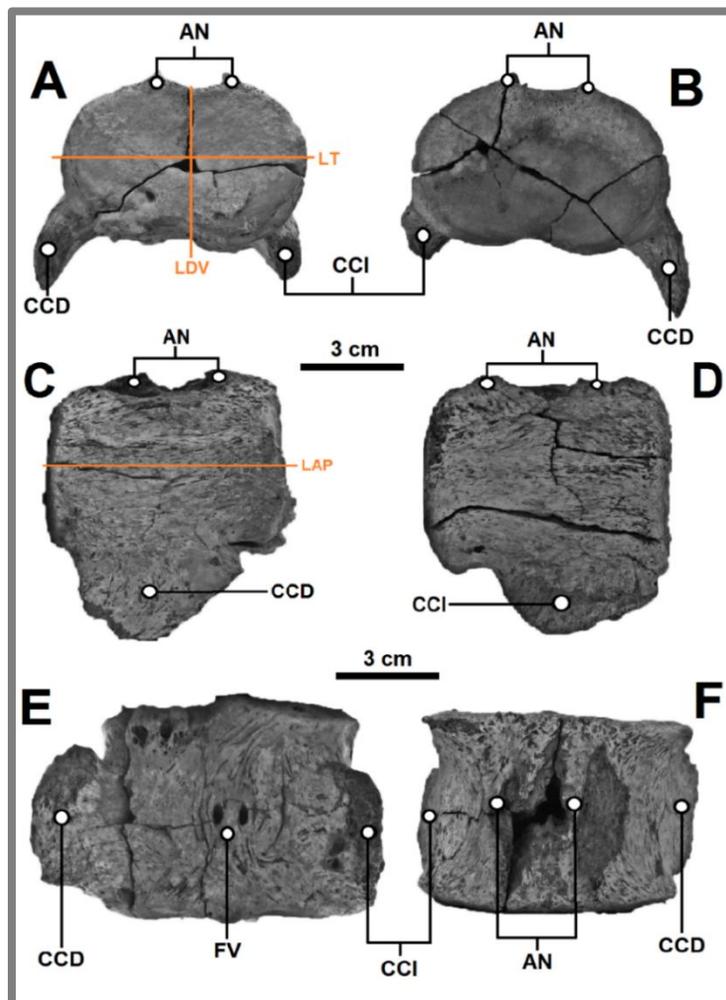


Figura 26. Vértebra cervical de plesiosaurio en vista anterior (A), posterior (B), lateral derecho (C), lateral izquierdo (D), ventral (E) y dorsal (F). Véase abreviaturas anatómicas al final del capítulo 2.

3.1.2. Análisis Macroscópico

Entendemos por análisis macroscópico a la observación del elemento óseo a ojo desnudo o con pocos aumentos de magnificación. El elemento analizado presenta en la cara articular anterior del centro vertebral (Fig. 27) un posible nódulo de Schmorl, con intrusión en la corteza ósea y erosión del tejido trabecular, acompañado de osteofitos en el borde inferior izquierdo. Los nódulos de Schmorl se reconocen como pequeños ahuecamientos en los centros vertebrales, la mayoría de las veces presentes en la región central de los mismos. Por otro lado, los osteofitos se reconocen como excrescencias óseas (protuberancias) localizadas en las zonas de articulación.

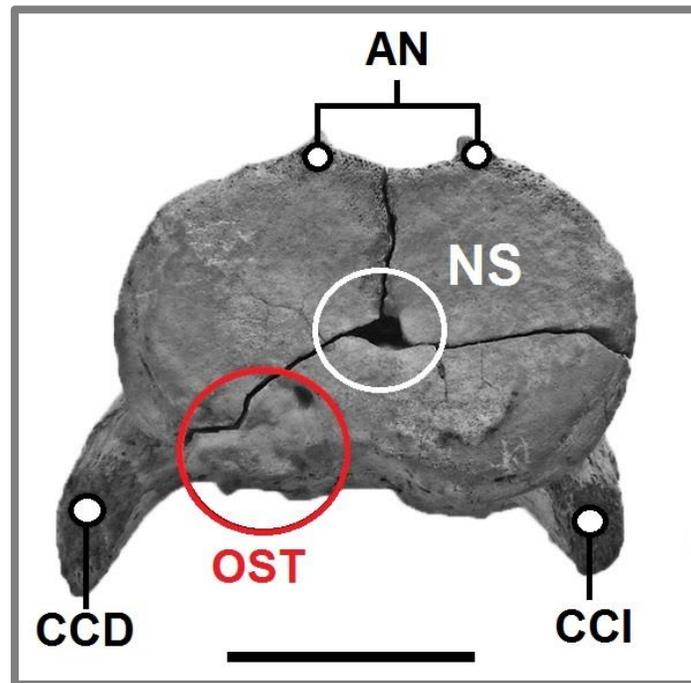


Figura 27. Vértebra cervical de plesiosaurio en vista anterior. Se evidencia un Nódulo de Schmorl (NS) acompañado de osteofitos (OST). Escala: 3 cm. Véase abreviaturas anatómicas al final del capítulo 2.

3.1.3. Análisis de las Microtomografías Computarizadas

De las 1163 microtomografías realizadas sobre la vértebra se seleccionaron las más representativas de la condición patológica. Las microtomografías revelaron una pequeña depresión en el centro vertebral. Debido a su pequeño tamaño (40 mm de ancho y 80 mm de largo), la región en la que se presenta y por sus características morfológicas (ej. forma de riñón) se la identificó como un posible Nódulo de Schmorl (Fig. 28, A). Asimismo, se observó el desarrollo de osteofitos en el borde inferior izquierdo de la cara articular anterior (Fig. 28, A). Es notable cómo el tejido óseo afectado por el desarrollo de osteofitos difiere del hueso normal, observándose una hiperostosis ósea (crecimiento excesivo de tejido óseo) en la región mencionada. Además, se observó una erosión interna del tejido trabecular (EI) en la región central del centro vertebral (Fig. 28, B-D). Esta condición se extiende internamente desde la región anterior hasta la región media del centro vertebral y podría estar vinculada con el desarrollo del Nódulo de Schmorl.

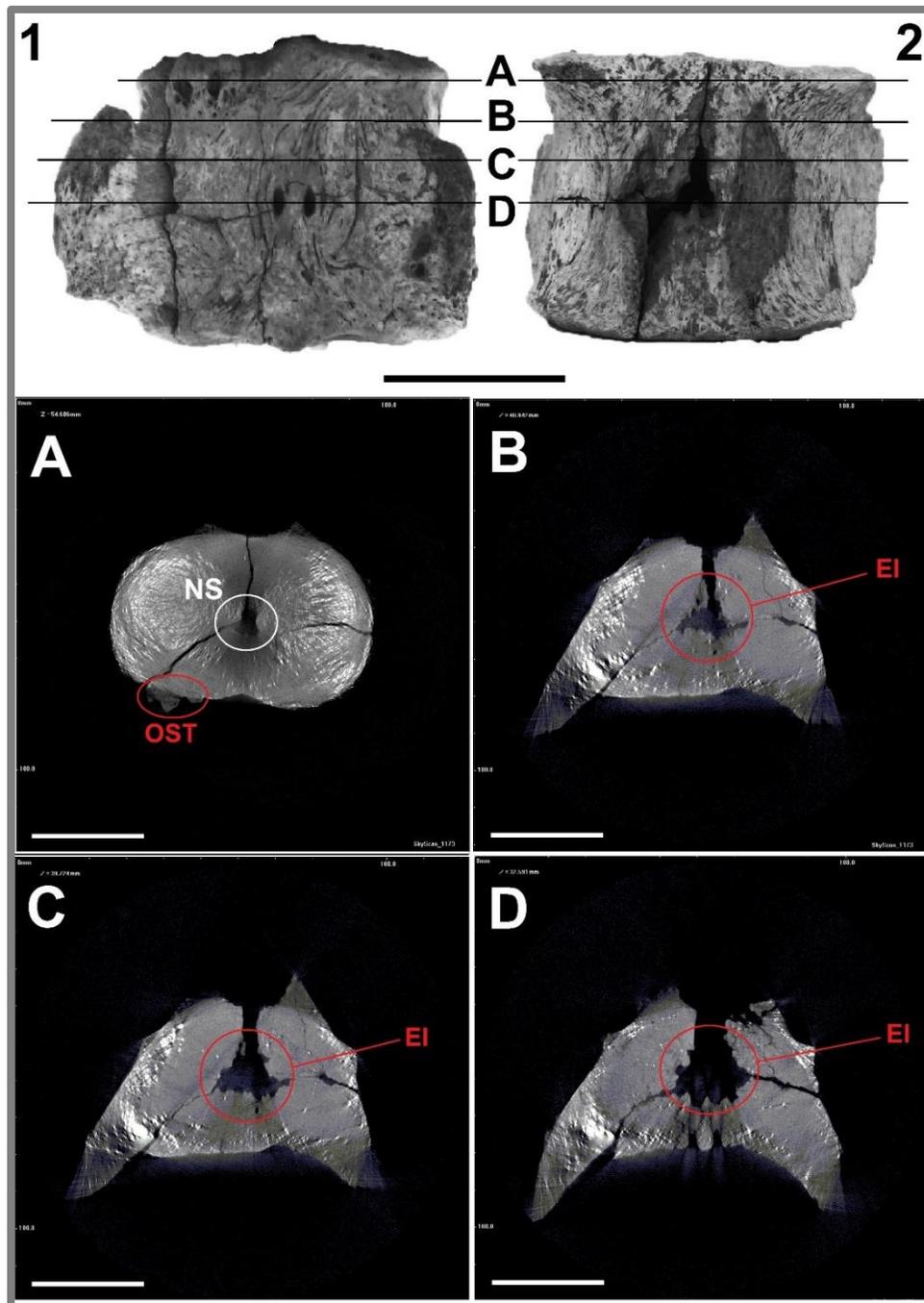


Figura 28. Vértebra cervical de plesiosaurio en vista ventral (1) y dorsal (2). (A-D) Microtomografías realizadas en diferentes secciones del elemento óseo. (A) Se observa un nódulo de Schmorl (**NS**) acompañado de osteofitos (**OST**) en la cara articular anterior de la vértebra. Además, se evidencia una erosión interna (**EI**) del centro vertebral en varias secciones (B-D). Escala: 3 cm.

3.2. Ejemplar MLP 87-II-7-1. Escápula izquierda de mosasaurio pliopletecarpino.

3.2.1. Descripción general

El elemento analizado presenta las siguientes medidas anatómicas: la longitud media (LM) es de 92 milímetros, la longitud anteroposterior (LAP) es de 67 milímetros y la longitud dorsoventral (LDV) tomada en el cuello escapular es de 42 milímetros. La hoja escapular (HE) es ligeramente convexa, el cuello de la escápula (CE) es corto y sus bordes son más delgados en la región anterior y posterior (Fig. 29).

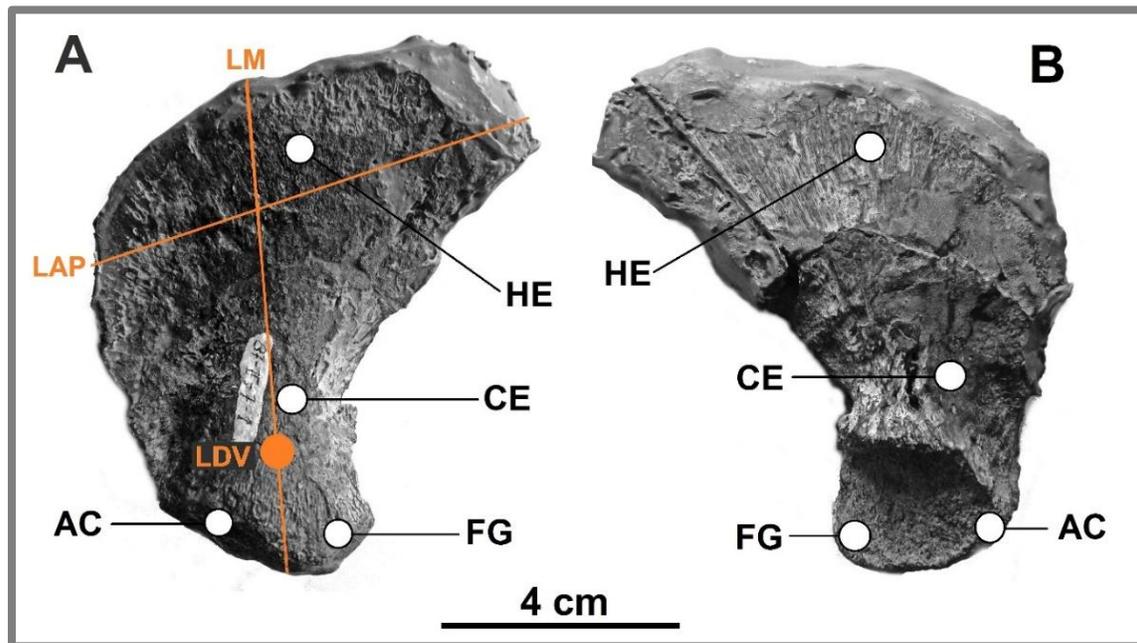


Figura 29. Escápula izquierda de mosasaurio en vista dorsal (A) y vista ventral (B). Véase abreviaturas anatómicas al final del capítulo 2.

3.2.2. Análisis Macroscópico

El análisis macroscópico de la escápula reveló una expansión de la articulación glenohumeral (EAG), la cual se encontraba profundamente excavada y remodelada (Fig. 30, A-B). Además, en vista ventral se evidenció un seno de drenaje (SD) (Fig. 30, A), el cual se ubica 26 mm por encima de la cara articular con el coracoides. El mismo presenta un diámetro de 0,6 mm por 0,26 mm de profundidad y se encuentra rodeado por un delgado margen de hueso perióstico nuevo, elevándose 0,12 mm por encima de la superficie ósea normal.

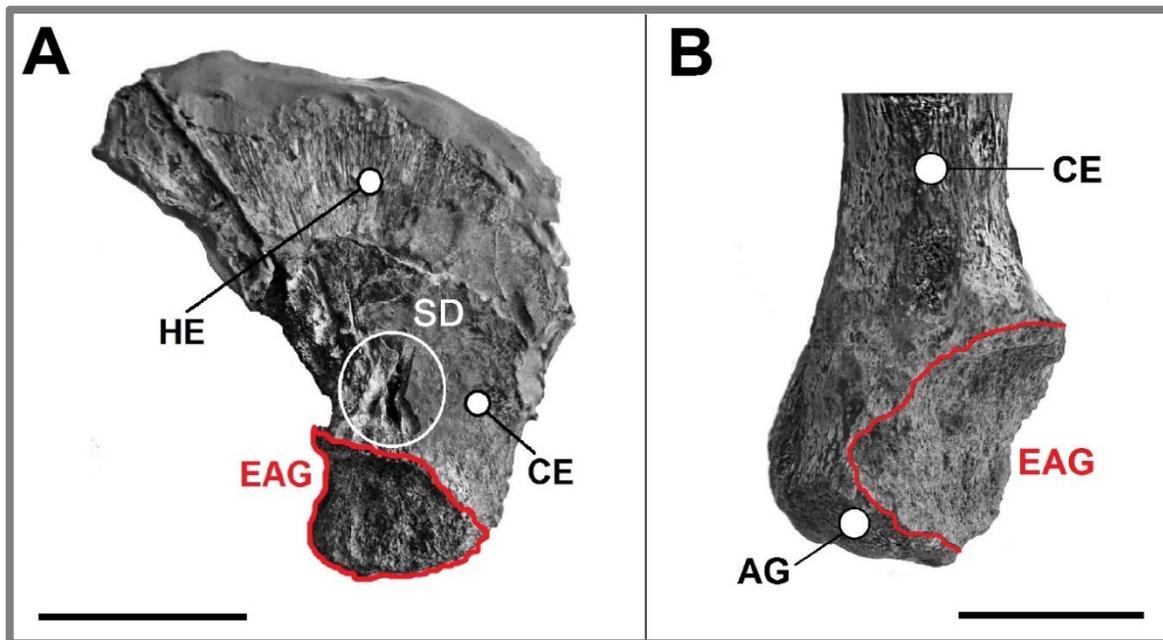


Figura 30. Escápula izquierda de mosasaurio en vista ventral (A) y vista posterior (B). Se evidencia una excavación de la articulación glenohumeral (**EAG**) acompañada de un seno de drenaje (**SD**) a la altura del cuello escapular. Escala: 4 cm (A) y 2 cm (B). Véase abreviaturas anatómicas al final del capítulo 2.

3.2.3. Análisis de las Microtomografías Computarizadas

De las 1114 microtomografías realizadas sobre la escápula se seleccionaron las más representativas de la condición patológica. Se reveló una excavación profunda que expandía la articulación glenohumeral, acompañada de tejido óseo trabecular desorganizado (Fig. 31, B-C). Además, a la altura del cuello escapular se evidenciaron varias depresiones (Fig. 31, A) que llegaban hasta el centro del elemento óseo. Las mismas fueron catalogadas como senos de drenaje, debido a procesos infecciosos que serán discutidos en el siguiente capítulo.

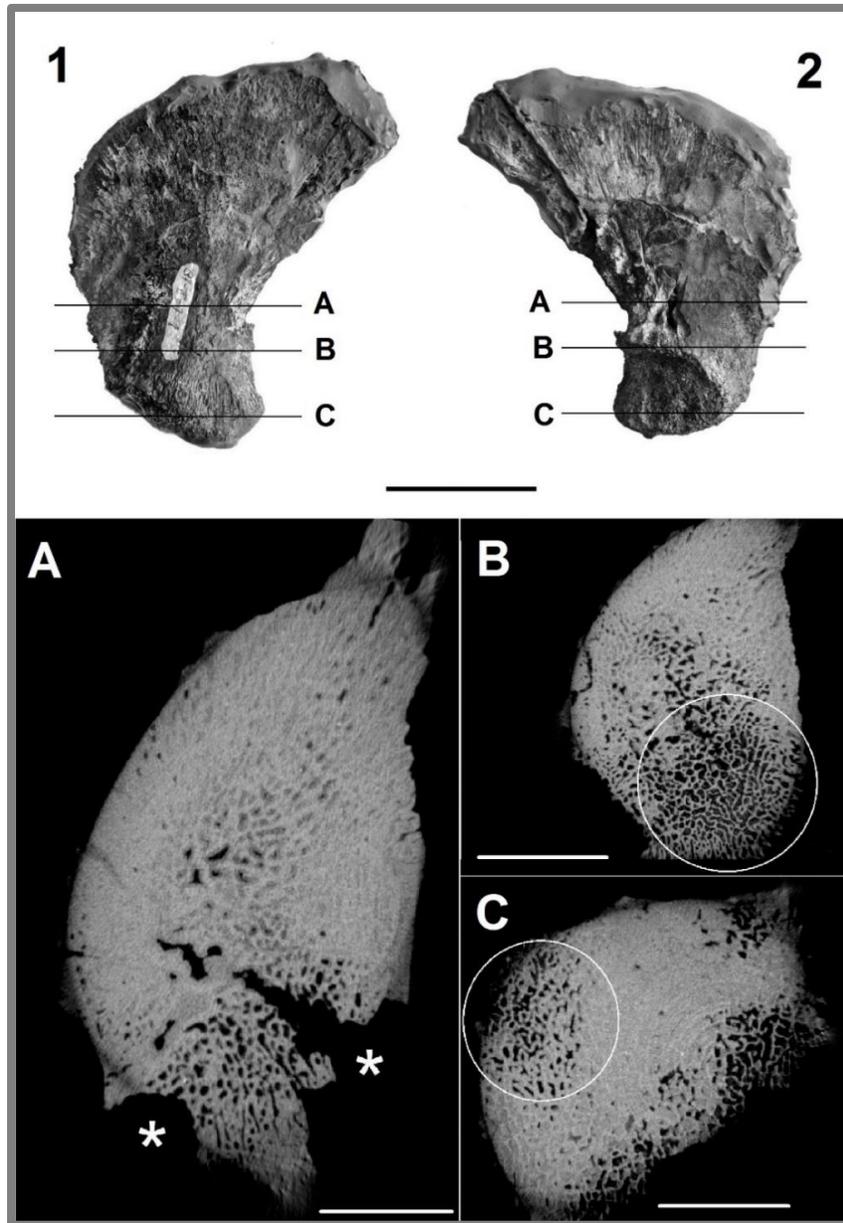


Figura 31. Escápula izquierda de mosasaurio en vista dorsal (1) y ventral (2). (A-C) Microtomografías realizadas en diferentes secciones del elemento óseo. (A) Se evidencian dos senos de drenaje (asterisco) a la altura del cuello escapular. Además, se observa tejido óseo trabecular desorganizado en varias secciones (B-C). Escala: 4 cm (1-2) y 1 cm (A-C) (tomada y modificada de Talevi *et al.*, 2019a).

3.3. FOTOGRAMETRÍA DE LOS MATERIALES

Se tomó un total de 139 fotografías de la vértebra cervical y 68 de la escápula izquierda, las mismas fueron obtenidas con una cámara fotográfica digital Nikon

modelo Coolpix L820 de 16 megapíxeles. Las imágenes fueron importadas al programa Agisoft PhotoScan y se procedió a realizar la nube de puntos para encontrar coincidencias entre las fotografías. Esta técnica no solo permitió la digitalización de los materiales (Fig. 32-33), sino también exportarlos en diversos formatos (.stl /.obj /.mtl) para imprimirlos mediante una impresora 3D. Las impresiones fueron realizadas por el emprendimiento “argentina.3d” mediante una máquina Creality Ender 3.

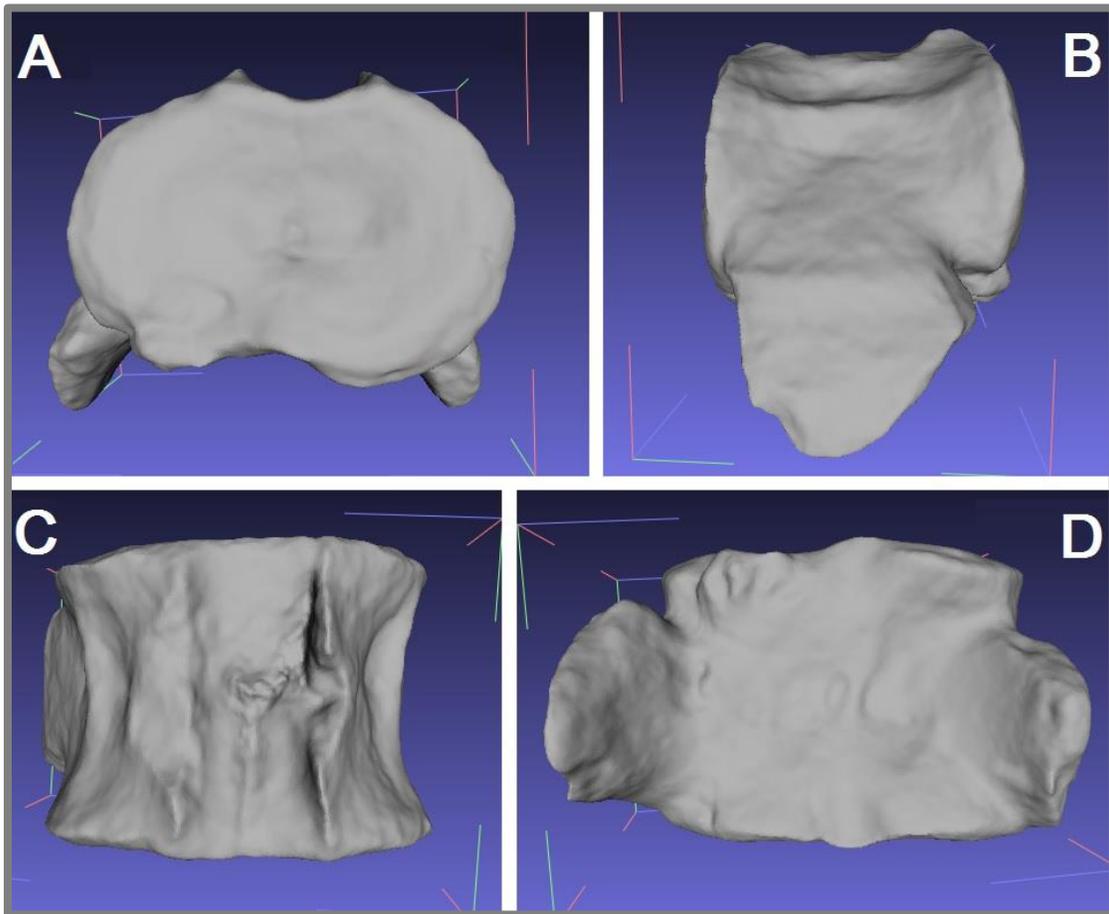


Figura 32. Modelo 3D digitalizado de la vértebra cervical en vista anterior (A), lateral derecho (B), dorsal (C) y ventral (D).

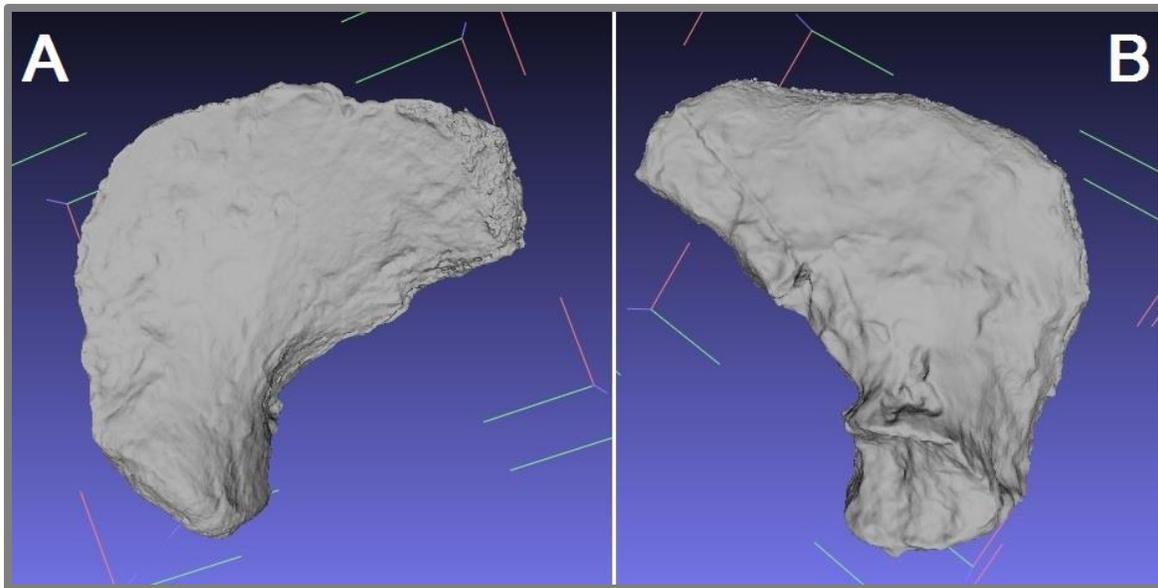


Figura 33. Modelo 3D digitalizado de la escápula izquierda en vista dorsal (A) y ventral (B).

CAPÍTULO 4 – DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DIAGNOSIS PATOLÓGICA DEL EJEMPLAR MML-PV 1305

La diagnosis patológica de la vértebra cervical de plesiosaurio elasmosáurido (MML-PV 1305) reveló la presencia de un posible nódulo de Schmorl acompañados de osteofitos en la cara articular anterior.

Los nódulos de Schmorl fueron descritos anteriormente en tres vértebras cervicales de un plesiosaurio proveniente del Jurásico Inferior de Inglaterra (Hopley, 2001), y hasta la fecha no se han reportado más casos. Estos nódulos son herniaciones del núcleo pulposo de los discos intervertebrales dentro de los centros vertebrales adyacentes (Fig. 34) (Suby, 2014). Los discos intervertebrales son estructuras cilíndricas, compuestas por un núcleo pulposo central altamente hidratado, rodeado por un anillo fibroso de colágeno (Moore, 2006). En la región anterior y posterior de cada disco se encuentran los platillos vertebrales, compuestos por tejido cartilaginoso, que separan las vértebras de los discos. Estos platillos absorben la presión hidrostática que resulta de la carga mecánica producida sobre la columna vertebral (Moore, 2006). En condiciones normales, los platillos vertebrales previenen que el núcleo pulposo penetre en las vértebras adyacentes, impidiendo así la formación de nódulos de Schmorl (Suby, 2014). Sin embargo, los platillos tienden a ser más delgados en la región central, y es mediante estas áreas de debilitamiento que se produce el prolapso del núcleo dentro de la vértebra (Schmorl y Junghans, 1971).

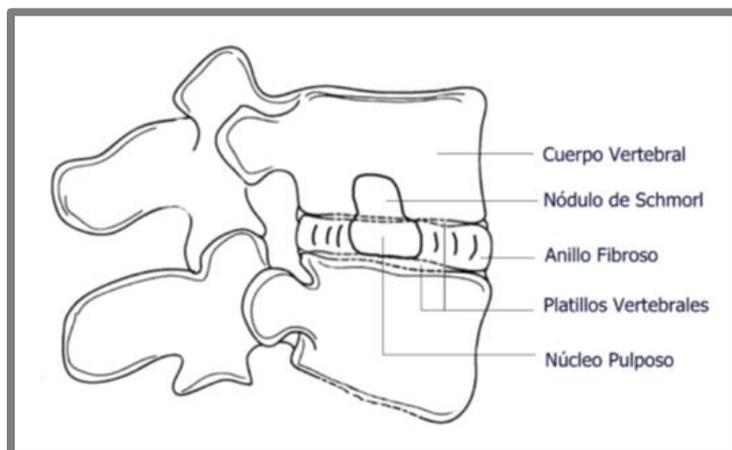


Figura 34. Estructura anatómica básica de las vértebras, discos intervertebrales, platillos vertebrales y nódulos de Schmorl en humanos (tomado y modificado Suby, 2014).

Los nódulos de Schmorl frecuentemente ocurren en asociación con otras anomalías de la columna (osteoporosis, trauma, anomalías congénitas y degeneración por la edad) y, por lo tanto, es difícil determinar su causa (Zhang *et al.*, 2010). El ejemplar estudiado (MML-PV 1305) representa un elemento de características adultas con base en la fusión de los arcos neurales al centro vertebral (Brown, 1981), sin embargo, no se observa una osteofitosis extensa por lo que se descarta la degeneración por la edad. A su vez, se descarta la posibilidad de que el nódulo de Schmorl sea debido a una anomalía congénita (de nacimiento), ya que la vértebra debería verse mucho más comprometida de lo que está, o por causa de osteoporosis, dado que en el caso de reptiles marinos la osteoporosis es una adaptación al ambiente acuático y no una condición patológica (Wiffen *et al.*, 1995). Se propone como probable causa un trauma por estrés mecánico generado por esfuerzos de torsión y compresión producidos por la propia longitud del cuello o en momentos de alimentación.

Por su parte, los registros de osteofitos en plesiosaurios son más comunes, habiéndoselos registrado principalmente en ejemplares del Jurásico Medio y Superior de Inglaterra (ej. Stepanov *et al.*, 2004; Sassoon *et al.*, 2012; Sassoon, 2019).

Cuando se produce una degeneración de la unión entre el centro vertebral y el disco intervertebral se forman excrescencias óseas llamadas osteofitos (Arvonen *et al.*, 2010). Este fenómeno se ha descrito usando una variedad de nombres diferentes, pero actualmente el más aceptado es el de “espondilosis deformante” (Arvonen *et al.*, 2010). La causa de esta patología ha sido un tema de discusión, no obstante, se ha aceptado que el factor inicial correspondería a una rotura en el lugar de anclaje del anillo fibroso, en las denominadas fibras de Sharpey (fibras fuertes que forman el último sitio de unión entre el disco intervertebral y la vértebra). Esta discontinuidad permite el desplazamiento anterolateral del disco (Schmorl y

Junghans, 1971), lo que genera en la vértebra una respuesta debido al estrés (la formación del osteofito).

De esta manera los osteofitos son definidos como una hiperostosis en el lugar de anclaje de las fibras de Sharpey (Resnick, 1985). Se reconocen radiológicamente como una excrecencia ósea triangular situada unos milímetros por encima del borde del centro vertebral (Fig. 35), de trayectoria primero horizontal y luego vertical (Nathan, 1972). Los osteofitos son una patología bien documentada en humanos que se asocia con la degeneración y la alteración mecánica de las articulaciones (O'Neill *et al.*, 1999). Algunos autores sugieren una relación entre los nódulos de Schmorl y la presencia de osteofitos de moderado desarrollo (Pfirrmann y Resnick, 2001). Como se mencionó anteriormente, el ejemplar estudiado (MML-PV 1305) presenta osteofitos en el borde inferior izquierdo del centro vertebral y la causa del mismo podría atribuirse a la degeneración del disco intervertebral, que generó a su vez un posible nódulo de Schmorl.

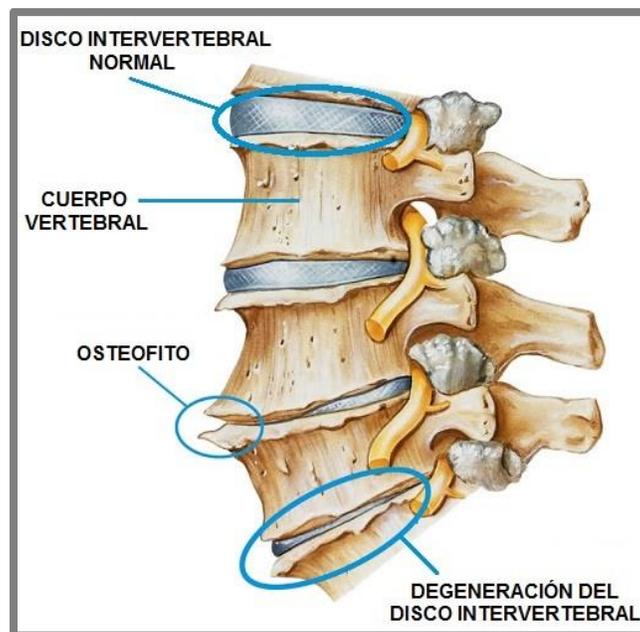


Figura 35. Estructura anatómica básica de las vértebras, discos intervertebrales y osteofitos en humanos (tomado y modificado de Litin y Nanda, 2019).

Por último, resulta difícil evaluar como afectaron estas patologías a las demás vértebras cervicales, ya que el elemento se encontró aislado. Tanto los nódulos de Schmorl como los osteofitos pueden generar dificultades en el movimiento de las vértebras del individuo y ocasionar dolores recurrentes en las zonas afectadas.

4.2. DIAGNOSIS PATOLÓGICA DEL EJEMPLAR MLP 87-II-7-1

La diagnosis patológica de la escápula izquierda de mosasaurio plioplatecarpino (MLP 87-II-7-1) reveló la presencia de una artritis infecciosa en la región del cuello escapular y en la articulación glenohumeral. Esta patología se ha reconocido previamente en vértebras de mosasaurios (Rothschild y Martin, 2006; Rothschild *et al.*, 2012a; Rothschild y Everhart, 2015).

La palabra artritis actualmente significa inflamación articular (Goldenberg y Reed, 1985), es usada para describir más de 100 enfermedades y condiciones que afectan las articulaciones, los tejidos que rodean la articulación y otros tejidos conectivos (Goldenberg y Reed, 1985). La artritis infecciosa, también llamada séptica, piógena, supurativa o purulenta, es una inflamación de la articulación que puede ser causada de forma directa o indirecta por cualquier agente bacteriano (ej. la bacteria *Staphylococcus epidermidis*), viral (hepatitis, rubéola o virus de la inmunodeficiencia humana) y fúngico (ej. el hongo *Cándida albicans*) (García y Picazo, 1996; González Ferrández *et al.*, 2010). De todos estos agentes infecciosos, los patógenos bacterianos son los más significativos a causa de su poder rápidamente destructivo (Palma Sánchez y Marras Fernández, 2006). El daño articular producido en estas infecciones es consecuencia de la invasión bacteriana, de la respuesta inflamatoria del huésped y de la isquemia (reducción del flujo sanguíneo) de los tejidos (Palma Sánchez y Marras Fernández, 2006). Esta patología no sólo puede conducir a la rápida destrucción del cartílago hialino y a la pérdida irreversible de la función articular, sino que puede ser mortal en muchos casos (Gillespie, 1990; Carreño y Bouza, 1998).

El primer signo radiológico de una artritis infecciosa es la reducción de la densidad ósea del elemento, que se produce dos semanas después del inicio de la

infección (Steinbach, 1966). En muchas ocasiones puede observarse la reabsorción de la superficie cortical, así como la formación de nuevo tejido óseo (Rothschild y Martin, 2006). El hueso recién formado tendrá un aspecto fibroso, con trabéculas distribuidas al azar (Rothschild y Martin, 2006). Si bien puede ocurrir una reacción perióstica suave y uniforme lejos del sitio activo de la infección, la afectación real del periostio con mayor frecuencia lo despoja del hueso cortical (Rothschild y Martin, 2006). También se pueden formar cavidades de abscesos (acumulación de pus), las cuales pueden terminar generando senos de drenaje (Rothschild y Martin, 2006). Estas cavidades en el hueso trabecular son típicamente elípticas, con su eje más largo perpendicular al eje largo del hueso afectado (Rothschild y Martin, 2006).

En el caso del ejemplar estudiado (MLP 87-II-7-1), la presencia de senos de drenaje, la formación reactiva de nuevo tejido óseo alrededor de éstos, la erosión de la articulación glenohumeral y el tejido trabecular desorganizado subyacente a la superficie articular, resultan consistentes con el diagnóstico de una artritis infecciosa. La articulación de la escápula con el húmero fue interrumpida por esta erosión, comprometiendo su función normal como punto de apoyo. Así, la extremidad se volvió inestable, incapaz de contribuir a la propulsión o direccionalidad del individuo.

El mosasaurio sobrevivió el tiempo suficiente para una curación parcial, dada la presencia de formación de nuevo tejido óseo. Este proceso puede durar poco tiempo (ej. algunos días) en los mamíferos, pero comúnmente es más prolongado (ej. un mes) en los reptiles (Smith y Barker, 1988). Sin embargo, dada la alta tasa de crecimiento (Houssaye *et al.*, 2013) y el metabolismo endotérmico (Harrell *et al.*, 2016) de los mosasaurios hidropélicos, la deposición de nuevo tejido óseo puede haber ocurrido mucho más rápido que en los escamosos actuales.

Por último, el mosasaurio no siguió creciendo durante mucho tiempo después de la aparición de la lesión. Aunque no está directamente relacionada con la muerte del individuo, esta condición pudo haber reducido su efectividad para obtener alimento o aumentar la susceptibilidad a enfermedades fatales, lesiones adicionales o incluso depredación. Un mosasaurio juvenil con esta condición eventualmente lo convertiría en una presa fácil.

4.3. CONCLUSIONES

El presente trabajo final de grado tuvo como objetivo registrar e interpretar las paleopatologías presentes en dos elementos óseos (vértebra cervical y escápula izquierda) pertenecientes a reptiles marinos mesozoicos de Patagonia y Antártida respectivamente. Se analizaron macroscópicamente, así como también mediante microtomografías pudiendo proponer causales y las limitaciones que generaron en los individuos.

En virtud de lo mencionado, se puede concluir que:

(1) Se registró por primera vez la presencia de una patología ósea en un ejemplar de plesiosaurio recuperado de Patagonia. El elemento analizado consistió en una vertebral cervical que evidencia un posible nódulo de Schmorl y osteofitos.

(2) Se registró la presencia de una patología ósea en un ejemplar de mosasaurio recuperado del continente Antártico (ver Talevi *et al.*, 2019). El elemento analizado consistió en una escapula izquierda que evidencia signos de una artritis infecciosa en la región del cuello escapular y en la articulación glenohumeral.

(3) Sobre la base de las características de la microestructura y los datos aportados por las tomografías, fue posible inferir las limitaciones de los ejemplares analizados. En el plesiosaurio, tanto el nódulo de Schmorl como los osteofitos pudieron generar dificultades en el movimiento y ocasionar dolores recurrentes en la región cervical. Se propone como probable causa un trauma por stress mecánico generado por esfuerzos de torsión y compresión producidos por la propia longitud del cuello o en momentos de alimentación. En el mosasaurio, la articulación de la escápula con el húmero fue interrumpida por una erosión producto de la condición patológica (artritis infecciosa). Posiblemente, la extremidad se volvió inestable, incapaz de contribuir a la propulsión o direccionalidad del individuo. Un mosasaurio juvenil con esta condición eventualmente lo convertiría en una presa fácil.

Los resultados obtenidos a partir del trabajo realizado complementan el estado de conocimiento sobre patologías en formas extintas y su prospección evolutiva, así como aspectos paleoecológicos de los organismos estudiados.

Futuras investigaciones permitirán ampliar el registro y conocimiento de paleopatologías en reptiles marinos patagónicos y antárticos, tópico hasta el presente, escasamente explorado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreis, R.A., Rodríguez, A.M., Lluch, J.J., Sabio, D.A. 1974. Estudio sedimentológico de las formaciones del Cretácico Superior del área del Lago Pellegrini (Prov. de Río Negro, Rep. Argentina). *Revista de La Asociación Geológica Argentina* 29: 85-104.

Anné, J., Hedrick, B.P., Schein, J.P. 2016. First diagnosis of septic arthritis in a dinosaur. *Royal Society Open Science* 3: 160-222.

Archibald, D., Clemens, W.A., Padian K., Rowe T., MacLeod, N., Barret, P.M., Gale, A. Holroid, P., Sues, H.D., Arens, N.C., Horner, J.R., Willson, G.P, Goodwin, M.B., Brochu, C.A, Lofgren, D.L., Hurlbert, S.H., Hartman, J.H., Eberth, D.A, Wignall, P.B., Currie, P.J., Weil, A. Prasad, G.V.R., Dingus, L., Courtillot, V., Millner, A., Millner An., Bajpai, S., Ward, D.J., Sahni, A., Fluteau, F., Keller, G., Adatte, T., Pardo, A., Samant, B., Schulte, P., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Barton, P.J., Bown, P.R., Bralower, T.J., Christeson, G.L., Claeys, P., Cockell, C.S., Collins, G.S., Deutsch, A., Goldin, T.J., Goto, K., Grajales-Nishimura, J.M., Grieve, R.A.F., Gulick, S.P.S., Johnson, K.R., Kiessling, W., Koeberl, C., Kring, D.A., MacLeod, K.G., Matsui, T., Melosh, J., Montanari, A., Morgan, J.V., Neal, C.R., Norris, R.D., Pierazzo, E., Ravizza, G., Rebolledo-Vieyra, Reimold, W.U., Robin, E., Salge, T., Speijer, R.P., Sweet, A.R., Urrutia-Fucugauchi, J., Vajda, V., Whalen, M.T., Willumsen, P. S., 2010. Cretaceous extinctions: Multiple causes. *Science* 238: 973-976.

Arvonen, A., Segura, B., Andrés, R., 2010. Los «fitos» de la columna. *Seminarios de la Fundación Española de Reumatología* 11: 43-48.

Ballent, S. 1980. Ostrácodos de ambiente salobre de la Formación Allen (Cretácico Superior) en la Provincia de Río Negro (República Argentina). *Ameghiniana* 17: 67-82.

Bardet, N., Godefroit, P., Sciau, J., 1999. A new elasmosaurid plesiosaur from the Lower Jurassic of southern France. *Palaeontology* 42: 927-952.

Barrio, C.A. 1990. Paleogeographic control of Upper Cretaceous Tidal Deposits, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 3: 31-49.

- Bastiaans, D., Kroll, J., Cornelissen, D., Schulp, A., Jagt, J., 2020. Cranial palaeopathologies in a Late Cretaceous mosasaur from the Netherlands. *Cretaceous Research* 112: 104-115.
- Bell, G., 1997. A phylogenetic review of North American and Adriatic Mosasauroida. In: Callaway, J.M., Nicholls, E.L., (Eds.), *Ancient Marine Reptiles*. Academic Press, San Diego, California. 293-332.
- Bell, G.L., Martin, J.E., 1995. Direct Evidence of Aggressive Intraspecific Competition in *Mosasaurus conodon* (Mosasauridae:Squamata). *Journal of Vertebrate Paleontology* 15: 18.
- Benson, R.B.J., Druckenmiller, P.S., 2014. Faunal turnover of marine tetrapods during the Jurassic–Cretaceous transition. *Biological Reviews* 89: 1-23.
- Bernard, A., Lécuyer, C., Vincent, P., Amiot, R., Bardet, N., Buffetaut, E., Cuny, G., Fourel, F., Martineau, F., Mazin, J. M., Prieur, A., 2010. Regulation of Body Temperature by Some Mesozoic Marine Reptiles. *Science* 328: 1379-1382.
- Bogdanov, D., 2004. Reconstruction of *Simolestes vorax*. CC BY 3.0 via Wikimedia Commons. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Simolestes>.
- Bogdanov, D., 2006. Reconstruction of *Plioplatecarpus*. CC BY 3.0 via Wikimedia Commons. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Plioplatecarpinae>.
- Bogdanov, D., 2015. Reconstruction of *Elasmosaurus*. CC BY 3.0 via Wikimedia Commons. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Plesiosauroidea>.
- Boukhris, R., Becker, K., 1974. Schmorl's nodes and osteoporosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 104: 275-280.
- Brown, D.S., 1981. The English Upper Jurassic Plesiosauroidea (Reptilia) and a review of the phylogeny and classification of the Plesiosauroidea. *Bulletin of British Museum of Natural History, Geology* 35: 253-347.
- Caldwell, M.W., 1999. Squamate phylogeny and the relationships of snakes and mosasauroids. *Zoological Journal of the Linnean Society* 125: 115-147.
- Carpenter, K., 1999. Revision of North American elasmosaurids from the Cretaceous of the Western Interior. *Paludicola* 2: 148-173.

Carreño, P.L., Bouza S.E., 1998. Artritis de articulaciones periféricas por microorganismos piógenos. *Tratado de Reumatología*. Arán ediciones, Madrid. 1267-1280.

Carter, D.R., Hayes, W.C., 1977. Compact bone fatigue damage. I. Residual strength and stiffness. *Biomechanics* 10: 325-337.

Casadío, S.A., 1994. Estratigrafía y Paleontología del intervalo Maastrichtiano-Daniano en el occidente de la Provincia de La Pampa, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. 853.

Casamiquela, R.M. 1978. La zona litoral de la transgresión Maastrichtense en el norte de Patagonia. Aspectos ecológicos. *Ameghiniana* 15: 137-148.

Clohisy, D.R., Perkins, S.L., Ramnaraine, M.L., 2000. Review of cellular mechanisms of tumor osteolysis. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 373: 104-114.

Cooper, L.N., Dawson, S.D., 2009. The trouble with flippers: a report on the prevalence of digital anomalies in Cetacea. *Zoological Journal of the Linnean Society* 155: 722-735.

Cope, E.D., 1869. On the reptilian orders, Phytonomorpha and Streptosauria. *Proceedings of the Boston Society of Natural History* 12: 250-266.

Cornero, S., Rigalli, A., Puche, R., 2008. Patología de columna vertebral de una población prehistórica costera del río San Javier (Alejandra, Santa Fe, Argentina). *Actualizaciones en Osteología* 4: 113-119.

de Blainville, H.M.D., 1835. Description de quelques espèces de reptiles de la Californie precede de l'analyse d'un système general d'erpétologie et d'amphibiologie. *Nouvelles Annales du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris* 3: 233-296.

del Valle, R.A., Medina, F., Gasparini, Z., 1977. Nota preliminar sobre el hallazgo de reptiles fósiles marinos del suborden Plesiosauria en las islas James Ross y Vega, Antártida. *Contribución del Instituto Antártico Argentino* 212: 1-13.

Dent, C.E., 1955. Idiopathic osteoporosis. *Royal Society of Medicine* 48: 574.

Derenyi, E.E., 1996. *Photogrammetry: The Concepts*. Canada: Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick. 18-25.

- Dingus, L., Clarke, J., Scott, G.R., Swisher, C.C., Chiappe, L.M., Coria, R.A. 2000. Stratigraphy and Magnetostratigraphic/Faunal Constraints for the Age of Sauropod Embryo-Bearing Rocks in the Neuquén Group (Late Cretaceous, Neuquén Province, Argentina). *American Museum Novitates* 3290: 1-11.
- Dollo, L., 1882. Note sur l'ostéologie des Mosasauridae. *Bulletin du Musée Royal d'histoire naturelle de Belgique* 3: 55-80.
- Dollo, L., 1884. Le mosasaure. *Revue des Questions Scientifiques* 16: 648-653.
- Einarsson, E., Lindgren, J., Kear, B.P., Siverson, M., 2010. Mosasaur bite marks on a plesiosaur propodial from the Campanian (Late Cretaceous) of southern Sweden. *Geologiska Föreningens Stockholm Förhandlingar* 132: 123-128.
- Elliot, D.H., Askin, R.A., Kyte, F.T., Zinsmeister, W.J., 1994. Iridium and dinocysts at the Cretaceous - Tertiary boundary on Seymour Island, Antarctica: Implications for the K-T event. *Geology* 22: 675-678.
- Erdil, H., Yildiz, N., and Cimen, M., 2003. Congenital fusion of cervical vertebrae and its clinical significance. *Journal of the Anatomical Society of India* 52: 125-127.
- Fahey, V., Opeskin, K., Silberstein, M., Anderson, R., Briggs, C., 1998. The pathogenesis of Schmorl's nodes in relation to acute trauma. *Spine* 23: 2272-2275.
- Farke, A.A., 2007. Reexamination of paleopathology in plesiosaurs and implications for behavioral interpretations. *Journal of Vertebrate Paleontology* 27: 724-726.
- Fleischle, C.V., Wintrich, T., Sander P.M., 2018. Quantitative histological models suggest endothermy in plesiosaurs. *PeerJ* 6: 49-55.
- Gallagher, W.B., 2003. Oligotrophic oceans and minimalist organisms: collapse of the Maastrichtian marine ecosystem and Paleocene recovery in the Cretaceous-Tertiary sequence of New Jersey. *Netherlands Journal of Geosciences* 82: 225-231.
- Gasparini, Z., Salgado, L., Parras, A., 2007. Late cretaceous plesiosaurs from northern Patagonia, Argentina. *Geological Journal* 42: 185-202.
- Gaudry, A., 1890. Les enchaînements du monde animal dans les temps géologiques: Fossiles secondaires. Librairie F. Savy, Paris. 323.
- Gervais, P., 1852. *French Zoology and Paleontology (Vertebrate Animals) or New Research on the Living and Fossil Animals of France.* First edition. Paris. 271.

Ghallager, W.B., Miller, K.G., Sherrell, R.M., Browning, J.V., Field, M.P., Olsson, R.K., Sugarman, P.J., Tuorto, S., Wahyudi, H., 2012. On the last mosasaurs: Late Maastrichtian mosasaurs and the Cretaceous-Paleogene boundary in New Jersey. *Bulletin de la Société Géologique de France* 183: 145-150.

Gillespie, W.J., 1990. Epidemiology in bone and joint infection. *Infectious Disease Clinics of North America* 4: 361-376.

Givi, M., Cournoyer, L., Reain, G., Eves, B.J., 2019. Performance evaluation of a portable 3D imaging system. *Precision Engineering* 59: 156-165.

Goldenberg, D.L., Reed, J.I., 1985. Bacterial arthritis. *The New England Journal of Medicine* 312: 764-771.

Gómez, R., Báez, A., Rougier, G., 2008. An anilioid snake from the Upper Cretaceous of northern Patagonia. *Cretaceous Research* 29: 481-488.

Gonzalez Riga, B., Casadío, S. 2000. Primer registro de Dinosauria (Ornithischia, Hadrosauridae) en la Provincia de La Pampa (Argentina) y sus implicancias paleobiogeográficas. *Ameghiniana* 37: 341-351.

Hallam, A., Wignall, P., 1997. *Mass extinctions and their aftermath.* Oxford University Press, United Kingdom. 320.

Harrell, T.L., Pérez-Huerta, A., Suarez, C.A., 2016. Endothermic mosasaurs? Possible thermoregulation of Late Cretaceous mosasaurs (Reptilia, Squamata) indicated by stable oxygen isotopes in fossil bioapatite in comparison with coeval marine fish and pelagic seabirds. *Palaeontology* 59: 351-363.

Hopley, P.J., 2001. Plesiosaur spinal pathology: the first fossil occurrence of Schmorl's nodes, *Journal of Vertebrate Paleontology* 21: 253-260.

Houssaye, A., Lindgren, J., Pellegrini, R., Lee, A.H., Germain, D., Polcyn, M.J., 2013. Microanatomical and Histological Features in the Long Bones of Mosasaurine Mosasaurs (Reptilia, Squamata) e Implications for Aquatic Adaptation and Growth Rates. *PLoS One* 8: 74-76.

Huchzermeyer, F.W., 2003 *Crocodiles: biology, husbandry and diseases.* 1st edition. Wallingford, Oxon, United Kingdom. 232-241.

Hugo, C.A., Leanza, H.A., 2001. Hoja Geológica 3966-111, Villa Regina. Provincia de Rio Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. 53-64.

Jarvik, J.G., Deyo, R.A., 2000. Imaging of lumbar intervertebral disk degeneration and aging, excluding disk herniations. *Radiology Clinic* 38: 1255-1266.

Kear, B.P., 2003. Cretaceous marine reptiles of Australia: a review of taxonomy and distribution. *Cretaceous Research* 24: 277-303.

Ketchum, H.F., Benson, R.B.J., 2010. Global interrelationships of Plesiosauria (Reptilia, Sauropterygia) and the pivotal role of taxon sampling in determining the outcome of phylogenetic analyses. *Biological Reviews* 85: 361-392.

Kompanje, E.J.O., 1999. Considerations of the comparative pathology of the vertebrae in Mysticeti and Odontoceti; evidence for the occurrence of discarthrosis, zygarthrosis, infectious spondylitis and spondyloarthritis. *Zoologische Mededelingen* 73: 99-130.

Kooyman, G.L., Schroeder, J.P., Green, D.G., Smith, V.A., 1973. Gas exchange in penguins during simulated dives to 30 and 68 meters. *American Journal of Physiology* 225: 467-471.

Lindgren, J., Jagt, J.W.M., Caldwell, M.W., 2007. A fishy mosasaur: the axial skeleton of *Plotosaurus* (Reptilia, Squamata) reassessed. *Lethaia* 40: 153-160.

Lindgren, J., Kaddumi, H.F., Polcyn, M.J., 2013. Soft tissue preservation in a fossil marine lizard with a bilobed tail fin. *Nature* 4: 24-23.

Lindgren, J., Polcyn, M.J., Yooung, B.A., 2011. Landlubbers to leviathans: evolution of swimming in mosasaurine mosasaurs. *Paleobiology* 37: 445-469.

Lingham-Soliar, T., 1998. Unusual death of a Cretaceous giant. *Lethaia* 31: 308-310.

Lingham-Soliar, T., 2000. Plesiosaur locomotion: Is the four-wing problem real or merely an atheroretical exercise? *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 217: 45-87.

Lingham-Soliar, T., 2004. Palaeopathology and injury in the extinct mosasaurs (Lepidosauromorpha, Squamata) and implications for modern reptiles. *Lethaia* 37: 255-262.

Linnaeus, C., 1758. *Systema Naturae* (Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Editio décima, reformata). Holmiae Salvii. 824.

Litin, S.C., Nanda, S., 2019. *Mayo Clinic Family Health Book: The Ultimate Home Medical Reference*. 5th Edition. Rosetta Books. Minnesota. 579.

Macellari, C., 1998. Stratigraphy, sedimentology and paleoecology of Upper Cretaceous/ Paleocene shelf-deltaic sediments of Seymour Island (Antartic Peninsula). In: Feldmann, R.M., Woodbum, M.O. (Eds.), *Geology and Paleontology of Seymour Island*. Geological Society of American Memoir 169: 25-53.

Mallison, H., Wings, O., 2014. Photogrammetry in paleontology, a practical guide. *Journal of Paleontological Techniques* 12: 1-31.

Martin, J., 2006. Biostratigraphy of the Mosasauridae (Reptilia) from the Cretaceous of Antarctica. Geological Society, London, Special Publications 258: 101-108.

Martin, L.D., Rothschild, B.M., 1989. Paleopathology and diving mosasaurs. *American Scientist* 77: 460-467.

Mazess, R.B., 1982. On aging bone loss. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 162: 239-252.

Moodie, R.L., 1917. Studies in paleopathology: General consideration of the evidences of pathological conditions found among fossil animals. *Annals of medical history* 1: 374-393.

Moodie, R.L., 1918a. Synthesis of paleontology and medical history. *Science* 48: 619-620.

Moodie, R.L., 1918b. Pathological lesions among extinct animals: a study of the evidences of disease millions of years ago. *Surg Clin Chicago* 2: 319-31.

Moodie, R.L., 1923. *The Antiquity of Disease*. University of Chicago Press. 148-150.

Moore, R.J., 2006. The vertebral endplate: disc degeneration, disc regeneration. *European Spine Journal* 15: 333-337.

Mosquera Martínez, J.A., 2001. Espondiloartropatías. Concepto, clasificación y etiopatogenia. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* 8: 1605-1607.

Motani, R., Rothschild, B., Wahl, W., 1999. Large eyeballs in diving ichthyosaurs. *Nature* 402: 747.

Mudge, B.F., 1878. *Geology of Kansas: First Biennial Report of the Kansas State Board of Agriculture.* Topeka. 60-63.

Mulder, E.W.A., 2001. Co-ossified vertebrae of mosasaurs and cetaceans: implications for the mode of locomotion of extinct marine reptiles. *Paleobiology* 27: 724-734.

Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S., 2013. Historic building information modelling - Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 76: 89-102.

Nathan, H., 1962. Osteophytes of the vertebral column. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 44: 243-268.

O’Gorman, J., Gouiric Cavalli, S., Scasso, R., Reguero, M., Moly, J., Acosta-Burlaille, L., 2018. A Late Jurassic plesiosaur in Antarctica: Evidence of the dispersion of marine fauna through the Trans-Erythraean Seaway? *Comptes Rendus Palevolution* 17: 158-165.

O’Gorman, J., Salgado, L., Gasparini, Z., 2011. Plesiosaurios de la Formación Allen (Campaniano-Maastrichtiano) en el Área del Salitral de Santa Rosa (Provincia de Río Negro, Argentina). *Ameghiniana* 48: 129-135.

O’Gorman, J.P., Talevi, M., Fernández, M., 2017. Osteological ontogenetic changes in aristonectines (plesiosauria; elasmosauridae): insight from a perinatal specimen from Antártica (López de Bertodano Formation). *Antartic Science* 29: 61-72.

O’Keefe, F.R., Chiappe, L.M., 2011. Viviparity and K-selected life history in a Mesozoic marine plesiosaur (Reptilia, Sauropterygia). *Science* 333: 870-873.

O’Neill, T.W., McCloskey, E.V., Kanis, J.A., Bhalla, A.K., Reeve, J., Reid, D.M., Todd, C., Woof, A.D., Silman, A.J., 1999. The distribution, determinants, and clinical correlates of vertebral osteophytosis: a population-based survey. *Journal of Rheumatology* 26: 842-848.

Ogden, J.A., Rhodin, A.G.J., Conlogue, G.J., Light, T.R., 1981. Pathobiology of septic arthritis and contiguous osteomyelitis in a leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*). *Journal of Wildlife Diseases* 17: 277-287.

Olivero, E.B., 2012. Sedimentary cycles, ammonite diversity and palaeoenvironmental changes in the Upper Cretaceous Marambio Group, Antarctica. *Cretaceous Research* 34: 348-366.

Olivero, E.B., Malumian, N., 2008. Mesozoic-Cenozoic stratigraphy of the Fuegian Andes, Argentina. *Geologica Acta* 1: 5-18.

Oppel, M., 1811. Die Ordnungen, Familien, und Gattungen der Reptilien als Prodrum einer Naturgeschichte derselben. Joseph Lindauer, München. 87-89.

Osborn, H.F., 1903. On the primary division of the Reptilia into two sub-classes, Synapsida and Diapsida. *Science* 17: 275-276.

Otero, R.A., Rubilar-Rogers, D., Gutstein, C.S., 2015. Un nuevo mosasaurio (Squamata, Mosasauroida) del Cretácico Superior de Antártida. XIV Congreso Geológico de Chile, Actas Volumen III, Simposio 9, Geología y Paleontología Antártica. 664-666.

Owen, R., 1860. On the orders of fossil and recent Reptilia and their distribution in time. *Report of the British Association for the Advancement of Science* 29: 153-166.

Page, R., Ardolino, A., de Barrio, R.E., Franchi, M., Lizuain, A., Page, S., Silva Nieto, D., 1999. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico del Macizo de Somún Curá, provincias de Río Negro y Chubut. En Caminos, R. (ed.) *Geología Regional Argentina*, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Buenos Aires. *Anales* 29: 460-488.

Palma Sánchez, D., Marras Fernández, C., 2006. Tratamiento de la artritis bacteriana. *Seminarios de la Fundación Española de Reumatología* 7: 183-190.

Pardo-Pérez, J.M., Kear, B.P., Gómez, M., Moroni, M., Maxwell, E.E., 2017. Ichthyosaurian palaeopathology: evidence of injury and disease in fossil "fish lizards". *Journal of Zoology* 304: 21-33.

Pardo-Pérez, J.M., Kear, B.P., Mallison, H., Gómez, M., Moroni, M., 2018. Pathological survey on *Temnodontosaurus* from the Early Jurassic of southern Germany. *Plos One* 13: 49-51.

Pfirrmann, C.W., Resnick, D., 2001. Schmorl nodes of the thoracic and lumbar spine: radiographic-pathologic study of prevalence, characterization, and correlation with

degenerative changes of 1, 650 spinal levels in 100 cadavers. *Radiology* 219: 368-374.

Pérez Alcázar, M., 2003. Artritis y artrosis: clínica y tratamiento. *Farmacia Profesional* 17: 50-54.

Persson, P.O., 1963. A revision of the classification of the Plesiosauria with a synopsis of the stratigraphical and geological distribution of the group. *Lunds Universitets Arsskrift* 59: 1-57.

Polcyn, M.J., Jacobs, L.L., Araújo, R., Schulp, A.S., Mateus, O., 2014. Physical drivers of mosasaur evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 400: 17-27.

Prescher, A., 1998. Anatomy and pathology of the aging spine. *European Journal of Radiology* 27: 181-195.

Resnick, M.D., 1985. Degenerative Diseases of the Vertebral Column. *Radiology* 156: 3-14.

Resnick, D., 2002. *Diagnosis of Bone and Joint Disorders* (3rd edition). Philadelphia: W.B. Saunders.

Resnick, D., Niwayama, G., 1988. *Diagnosis of Bone and Joint Disorders*. Philadelphia: W.B. Saunders.

Revel, M., Andre-Deshays, C., Roudier, R., Roudier, B., Hamard, G., Amor, B., 1992. Effects of repetitive strains on vertebral end plates in young rats. *Clinical Orthopedics and Related Research* 279: 303-309.

Rieppel, O., 2000. Paraplacodus and the phylogeny of the Placodontia (Reptilia: Sauropterygia). *Zoological Journal of the Linnean Society* 1311: 635-659.

Rinaldi, C.A. 1982. Upper Cretaceous in the James Ross Island Group. En: Craddock, C. *Antarctic geosciences*. University of Wisconsin Press, Madison. 281-286.

Rinaldi, C.A., Massabie, A., Morelli, J., Rosenman, H.L., Del Valle, R.A. 1978. Geología de la isla Vicecomodoro Marambio. *Instituto Antártico Argentino* 217: 1-44.

Rothschild, B.M., 1982. *Rheumatology: A Primary Care Approach*. Yorke Medical Press, New York. 416-429.

Rothschild, B.M., 2012. Principles of osteoarthritis. Its definition, character, derivation and modality-related recognition. Rijeka: InTech.

Rothschild, B.M., Clark, N., Clark, C., 2018. Evidence for survival in a Middle Jurassic plesiosaur with a humeral pathology: What can we infer of plesiosaur behaviour? *Palaeontologia Electronica*. 1-11.

Rothschild, B.M., Everhart, M., 2015. Co-Ossification of Vertebrae in Mosasaurs (Squamata, Mosasauridae); Evidence of Habitat Interactions and Susceptibility to Bone Disease. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 118: 265-275.

Rothschild, B.M., Martin, L.D., 1987. Avascular necrosis: occurrence in diving Cretaceous mosasaurs. *Science* 236: 75-77.

Rothschild, B.M., Martin, L.D., 1993. *Paleopathology: disease in the fossil record.* Boca Raton: CRC Press.

Rothschild, B.M., Martin, L.D., 2006. *Skeletal Impact of Disease.* Museum of Natural History Press, Albuquerque, New Mexico.

Rothschild, B.M., Martin, L.D., Schulp, A., 2005. Sharks eating mosasaurs, dead or alive? *Netherlands Journal of Geosciences* 84: 335-340.

Rothschild, B.M., Schultze, H., Pellegrini, R., 2012a. *Herpetological Osteopathology.* Springer New York, New York, United States of America.

Rothschild, B.M., Storrs, W., 2003. Decompression syndrome in plesiosaurs (sauropterygia: reptilia). *Journal of Vertebrate Paleontology* 23: 324-328.

Rothschild, B.M., Tanke, D., 1992. Paleopathology: Insights to life style and health in prehistory. *Geoscience* 19: 73-82.

Rothschild, B.M., Witzke, B.J., Hershkovitz, I., 1999. Metastatic cancer in the Jurassic. *Lancet* 354: 398-409.

Rothschild, B.M., Woods, R.J., 1991. Spondyloarthropathy: Erosive arthritis in representative defleshed bones. *American Journal of Physical Anthropology* 85: 125-134.

Rothschild, B.M., Xiaoting, Z., Martin, L.D., 2012b. Adaptations for marine habitat and the effect of Triassic and Jurassic predator pressure on development of decompression syndrome in ichthyosaurs. *Naturwissenschaften* 99: 443-448.

Russell, D.A., 1967. Systematics and morphology of American mosasaurs (Reptilia, Sauria). Bulletin of the Peabody Museum of Natural History 23: 1-237.

Sassoon, J., Noè, L.F., Benton, M.J., 2012. Cranial anatomy, taxonomic implications and palaeopathology of an Upper Jurassic Pliosaur (Reptilia: Sauropterygia) from Westbury, Wiltshire, UK. Palaeontology 55: 743-773.

Sassoon, J., 2019. Congenital and late onset vertebral fusions in long necked plesiosaurs: The first report of spondylosis deformans in Sauropterygians. Palaeontologia Electronica 22: 1-15.

Schenk, T., 2005. Introduction to Photogrammetry. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science. Athens, USA: The Ohio State University. 79-95.

Schmorl, G., Junghans, H., 1971. The human spine in Health and Disease. 2nd Edition. Besemann, New York. 138.

Schulp, A.S., Walenkamp, G.H.I.M., Hofman, P.A.M., Rothschild, B.M., Jagt, J.W.M., 2004. Rib fracture in Prognathodon saturator (Mosasauridae, Late Cretaceous). Netherlands Journal of Geosciences, Geologieen Mijnbouw 83: 251-254.

Schulp, A.S., Walenkamp, G.H., Hofman, P.A., Stuip, Y., Rothschild, B.M., 2006. Chronic bone infection in the jaw of Mosasaurushoffmanni (Squamata). Oryctos 6: 41-52.

Shimada, K., Tsuihiji, T., Sato, T., Hasegawa, Y., 2010. A remarkable case of a shark-bitten elasmosaurid plesiosaur. Journal of Vertebrate Paleontology 30: 592-597.

Smith, A.S., 2013. Morphology of the caudal vertebrae in Rhomaleosaurus zetlandicus and review of the evidence for a tail fin in Plesiosauria. Paludicola 9: 144-158.

Smith, D.A., Barker, I.K., 1988. Healing of cutaneous wounds in the common garter snake (Thamnophis sirtalis). Canadian Journal of Veterinary Research ¼ Revue canadienne de recherche veterinaire 52: 111-119.

Steinbach, H.L., 1966. Infections of bones. Seminars in Roentgenology 1: 337-369.

- Stepanov, S., Arkhangel'skii, M., Ivanov, A., Uspenskii, G., 2004. Paleopathology of Ichthyopterygia. *Archive of Pathology*. 66: 29-30.
- Strauss, M.B., Sampson, R.L., 1986. Decompression syndrome: an update. *Physician and Sports Medicine* 14: 1-9.
- Suby, J.A., 2014. Nódulos de Schmorl en Restos Humanos Arqueológicos de Patagonia Austral. *Universidad de Magallanes. Magallania* 42: 135-147.
- Surmik, D., Rothschild, B.M., Dulski, M., Janiszewska, K., 2017. Two types of bone necrosis in the Middle Triassic *Pistosaurus longaevus* bones: the results of integrated studies. *Royal Society Open Science* 4: 170-204.
- Surmik D., Szczygielski, T., Janiszewska, K., Rothschild, B.M., 2018 Respiratory infection in 245-million-yearsold marine reptile suggested by bone pathologies. *Royal Society Open Science* 5: 180-225.
- Talevi, M., Fernández, M., Mitidieri, M., Reguero, M., 2018. Necrosis ósea en un ejemplar juvenil de mosasaurio de Antártida. *Libro de resúmenes PE-APA*. 98.
- Talevi, M., Rothschild, B., Fernández, M., Reguero, M., Mitidieri, M., 2019a. A pathological scapula in a mosasaur from the upper Maastrichtian of Antarctica: Evidence of infectious arthritis and spondyloarthropathy. *Cretaceous Research* 100: 1-4.
- Talevi, M., Rothschild, B., Fernández, M., Reguero, M., Mitidieri, M., 2019b. First report of a skeletal pathology of a mosasaur from the upper cretaceous of Marambio Island, Antarctic Peninsula. *Libro de resúmenes PE-APA*. 30-31.
- Thulborn, T., Turner, S., 1993. An elasmosaur bitten by a pliosaur. *Modern Geology* 18: 489-501.
- Walenkamp, G.H.I.M., 1997. Chronic osteomyelitis. *Orthopaedica Scandinavica* 68: 497-506.
- Walker, R.H., 1983. Biomechanics of fractures and of fracture fixation. *Orthopaedic Reviews* 12: 65-72.
- Welles, S., 1943. Elasmosaurid plesiosaurs with description of new material from California and Colorado. *Memoirs of the University of California* 13: 125-254.

Wichmann, R., 1927. Sobre la facies lacustre Senomaniana de los estratos con dinosaurios y su fauna. República Argentina (Córdoba). Boletín Académico Nacional de Ciencias 30: 383-405.

Wiffen, J., De Buffrénil, V., De Ricqlès, A., Mazin, J.M., 1995. Ontogenetic evolution of bone structure in late Cretaceous plesiosaurs from New Zealand. *Geobios* 28: 625-640.

Williston, S.W., 1898. Mosasaurs. The University Geological Survey of Kansas 4: 81-347.

Williston, S.W., 1914. Water reptiles of the past and present. Chicago University Press. 251.

Zhang, N., Li, F.C., Huang, Y.J., Teng, C., Chen, W.S., 2010. Possible key role of immune system in Schmorl's nodes. *Medical Hypotheses* 74: 552-554.

Zinsmeister, W.J., 1998. Discovery of fish mortality horizon at the K-T boundary on Seymour Island: re-evaluation of events at the end of the Cretaceous. *Journal of Paleontology* 72: 556-571.