

Facies anóxicas, procesos deposicionales y herpetofauna de la rampa marina titoniano-berriasiana en la Cuenca Neuquina (Yesera del Tromen), Neuquén, Argentina

Luis A. Spalletti

Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Calle 1, 644, 1900 La Plata, Argentina
e-mail: spalle@cig.museo.unlp.edu.ar

Zulma Gasparini

Departamento de Paleontología de Vertebrados, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata, Argentina

Gonzalo Veiga

Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Calle 1, 644, 1900 La Plata, Argentina

Ernesto Schwarz

Marta Fernández

Departamento de Paleontología de Vertebrados, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata, Argentina

Sergio Matheos

Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Calle 1, 644, 1900 La Plata, Argentina

RESUMEN

Se estudia una localidad ubicada en el centro de la Cuenca Neuquina (La Yesera del Tromen, Provincia del Neuquén, República Argentina), portadora de una importante fauna de reptiles marinos. Los restos se encuentran en la sección inferior (Titoniano-Berriasiano) de la Formación Vaca Muerta, constituida por un potente espesor de lutitas negras asociadas con margas también negras y delgados niveles de 'packstones, wackestones' y sedimentos silicoclásticos finos producto de lluvias de ceniza. La sección analizada se interpreta como el depósito distal de una rampa marina (ambiente de cuenca a rampa exterior), caracterizado por la disposición cíclica de materiales silicoclásticos y carbonáticos, producto de decantación a partir de suspensiones subácueas, entre los que se registran incursiones esporádicas de flujos orbitales y gravitacionales inducidos por tormentas. El elevado tenor de nutrientes fue soporte de una biota diversa, con abundante fitoplancton, así como invertebrados y vertebrados nectónicos. Se describen aquí catorce restos de predadores pelágicos de 'off-shore' (ictiosaurios, pliosaurios y cocodrilos metriorrínquidos), identificados en un área de 2,1 km², incluyendo algunos de grandes dimensiones. La importante productividad planctónica asociada con el aislamiento fisiográfico de la cuenca, áreas circundantes de bajo relieve y condiciones de clima seco, favorecieron el estancamiento de las aguas, el desarrollo de una marcada termopicnoclina y la anoxia en las áreas cuencales y de rampa exterior. La excelente preservación de los esqueletos de los reptiles se vincula con la toxicidad del fondo marino que no permitió el desarrollo de predadores bentónicos, así como con el estancamiento de las aguas profundas y la generación de un sustrato muy blando compuesto por una columna de fangos saturados en agua.

Palabras claves: Facies anóxicas, Procesos deposicionales y herpetofauna de rampa titoniano-berriasiana, Cuenca Neuquina, Argentina.

ABSTRACT

An important marine reptile-bearing locality from the Tithonian-Berriasian of the central Neuquén Basin (La Yesera del Tromen, Neuquén Province, Argentina) is studied. This fauna is located in the lower portion of the Vaca Muerta Formation, which is composed of thick intervals of black shales associated with black marls, thin packstone-wackestone beds and fine-grained pyroclastic fall deposits. The lower Vaca Muerta Formation is the deposit of a basinal to outer ramp environment, characterised by a cyclic arrangement of siliciclastic and carbonate fall-out sediments, with sporadic incursions of very distal storm-induced orbital and gravitational flows. A high nutrient input supported a diverse biota, with exceptionally abundant phytoplankton, and nektonic invertebrate and vertebrate fauna. Fourteen remains of off-shore top pelagic predators (ichthyosaurs, pliosaurs and metriorhynchid crocodiles), including some of the largest Tithonian-Berriasian marine reptiles, were found in an area of 2.1 km², and are here presented and described. The high rate of planktonic productivity, combined with physiographic isolation, low surrounding relief and dry climatic conditions favoured the stagnation of sea water, the generation of a thermo-pycnocline and the development of anoxic bottom conditions in the basinal and outer ramp portions of the basin. Excellent preservation of reptile skeletons is attributed to the lack of both bottom predators and bottom currents, as well as to a soupy substrate composed of a thick column of water-saturated muds.

Key words: Anoxic facies, Depositional processes and herpetofauna of a Tithonian - Berriasian marine ramp: Neuquén Basin, Argentina.

INTRODUCCION

La Cuenca Neuquina posee un excelente registro de sedimentitas jurásico-cretácicas, originadas bajo diversas condiciones ambientales, desde netamente continentales a marinas de rampa y/o plataforma externa. Los extensos afloramientos de estas rocas en la República Argentina son propicios para el desarrollo de trabajos de campo orientados a la búsqueda de vertebrados marinos, los que dieron resultados muy positivos. Es por ello que la Cuenca Neuquina constituye la región del Pacífico Oriental más reconocida por su riqueza en reptiles marinos jurásicos (Gasparini y Fernández, 1996; Gasparini *et al.*, en prensa). La mayor parte de los reptiles estudiados hasta el momento proviene de distintos niveles titonios de la Formación Vaca Muerta (unidad que comprende desde el Titoniano hasta el Valanginiano inferior) y de diferentes paleoambientes marinos de offshore (Gasparini *et al.*, en prensa). Estos organismos constituyen, por su diversidad, el conjunto de reptiles marinos titonios pelágicos más completo conocido hasta el momento en el mundo, por lo que su estudio taxonómico y su análisis en un marco paleoambiental son fundamentales para comprender la historia evolutiva de varios clados no relacionados que existieron hacia el final del Jurásico.

En el norte de la Provincia del Neuquén (República Argentina), al pie del faldeo oriental del Macizo Volcánico del Tromen, se encuentra el área de La Yesera (Fig. 1), donde -desde comienzos de la

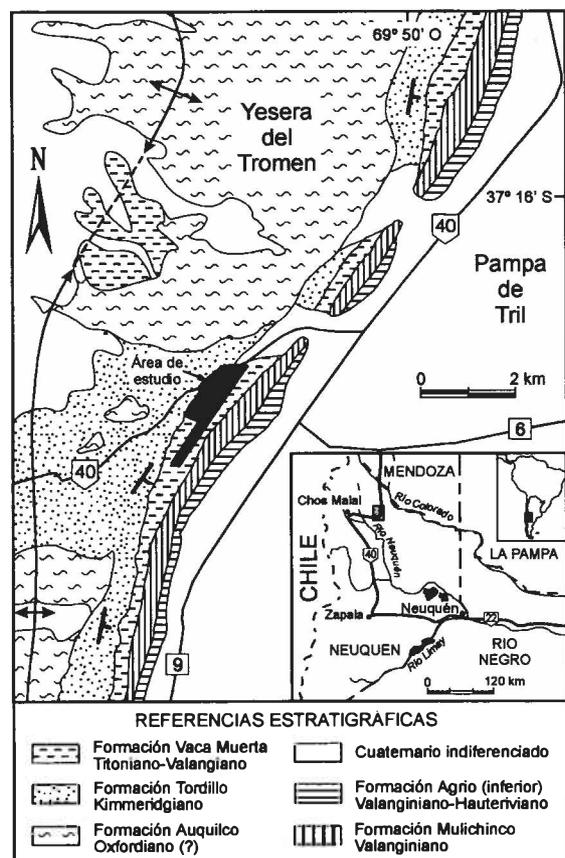


FIG. 1. Mapa geológico del área de estudio.

década del 80- se conoce la presencia de restos de reptiles titonianos. Durante 1997 y 1998 se efectuaron trabajos de campo, en los que participaron los integrantes de este estudio con la colaboración de personal del Museo Olsacher de Zapala (MOZ, provincia del Neuquén). Estas tareas permitieron localizar numerosos restos de vertebrados marinos en una superficie no mayor que 2,1 km². El área de estudio (Fig. 1) corresponde a uno de los flancos de un gran anticlinal, en el que la sucesión sedimentaria se dispone con rumbo general noreste-suroeste e inclina significativamente al sureste (en el orden de los 40 a más de 60°). En esos afloramientos se aprecian con claridad los contactos estratigráficos entre las sedimentitas de la Formación Vaca Muerta con las subyacentes de la Formación Tordillo y las suprayacentes de la Formación Mulichinco.

Este trabajo es el primero de los aportes referi-

dos al estudio interdisciplinario (sedimentológico, tafonómico y paleoecológico) de la sucesión correspondiente al límite Jurásico-Cretácico en el área de la Yesera. Particularmente, se analizan los 140 m basales de la Formación Vaca Muerta que son los portadores de la rica fauna de reptiles marinos titoniano-berriasianos y se presenta un modelo conceptual sobre los mecanismos y ambientes de deposición. Se incluye asimismo una lista comentada sobre todos los tetrápodos fósiles identificados, los que representan el más diverso registro de formas marinas del límite Jurásico-Cretácico fuera de Europa. Por último, se discuten los mecanismos de acumulación y preservación de los restos fósiles en términos de las condiciones dinámicas y fisicoquímicas que prevalecieron en la interfase sedimentaria del depocentro titoniano-berriasiano.

CONTEXTO GEOLOGICO

La Cuenca Neuquina se caracteriza por un registro mesocenoico de alrededor de 2.600 m de espesor y cubre una superficie superior a los 120.000 km² (Yrigoyen, 1991). Está limitada al este y sur por amplias áreas cratónicas, mientras que hacia el oeste se relaciona con el arco magmático andino. Por su ubicación, diversos autores (Digregorio *et al.*, 1984; Feehan, 1984; Neher, 1986; Macellari, 1988; Barrio, 1989; Legarreta y Uliana, 1991) han considerado a la Cuenca Neuquina como una depresión de trasarco/retroarco.

En el centro de la Cuenca Neuquina, en el área de La Yesera del Tromen (Fig. 1), la sucesión de la Formación Vaca Muerta está compuesta por más de 500 m de lutitas bituminosas y margas oscuras. En este sector de la cuenca, la unidad se dispone concordantemente sobre depósitos continentales y transicionales de la Formación Tordillo (Kimmeridgiano) y está cubierta por los depósitos marinos someros valanginianos de la Formación Mulichinco (Fig. 1).

La sucesión sedimentaria titoniano-berriasiano-valanginiana (formaciones Vaca Muerta y Mulichinco) muestra un arreglo marcadamente progradacional en toda la Cuenca Neuquina. Sobre la base de las ideas originales de Groeber (1946), Legarreta y Gulisano (1989) han integrado estos

depósitos en un gran ciclo de somerización al que denominan Mesosecuencia Mendoza Inferior. Legarreta y Gulisano (1989), Legarreta y Uliana (1991) y Legarreta *et al.* (1993) vincularon al conjunto con un ciclo eustático global de segundo orden, combinado con una subsidencia regional persistente que estuvo regulada por procesos de contracción termal de la litósfera. La Mesosecuencia Mendoza Inferior muestra, a su vez, varias secuencias de mayor frecuencia (Gulisano *et al.*, 1984; Mitchum y Uliana, 1985; Legarreta y Gulisano, 1989; Legarreta y Uliana, 1991; Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1994; Spalletti *et al.*, en prensa). Sin embargo, es de señalar que en las zonas depocentrales de la Cuenca Neuquina, su identificación se hace bastante dificultosa debido a la homogeneidad del registro sedimentario de 'offshore' y a la falta de discontinuidades mayores.

Como se indicara anteriormente, la sucesión sedimentaria y los reptiles fósiles objeto de esta investigación aparecen concentrados en los términos inferiores, titoniano-berriasianos de la Formación Vaca Muerta. En localidades depocentrales vecinas al área de estudio, se ha podido comprobar que los vertebrados marinos se encuentran también en la sección inferior de la mencionada unidad estratigráfica. El registro titoniano se ha considera-

do el producto de una rápida transgresión marina atribuida por Legarreta y Uliana (1991, 1996) a un ascenso eustático, asociado con un reducido aporte clástico marginal y condiciones favorables para la sedimentación condensada anaeróbica a disaeróbica. No obstante, el tectonismo regional parece haber jugado un importante papel en el desarrollo de la mencionada mesosecuencia. En tal sentido, Vergani *et al.* (1995) vincularon la expansión mari-

na titoniana con una fase de relajamiento y subsidencia regional ulterior a una fase de intensa inversión tectónica desarrollada durante el Jurásico tardío. Durante este proceso tectónico habría estado fuertemente activo el fallamiento transcurrente de la Dorsal de Huincul (Ploszkiewicz *et al.*, 1984; Vergani *et al.*, 1995) y se habría producido un singular desarrollo del arco magmático (Spalletti *et al.*, en prensa).

MATERIAL Y METODOS

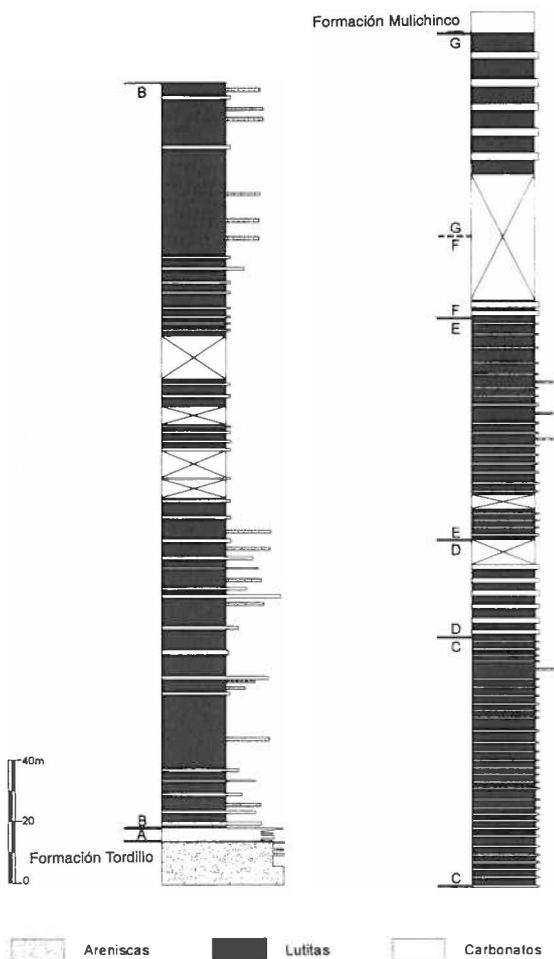


FIG. 2. Perfil columnar de la Formación Vaca Muerta en el área de La Yesera del Tromen y secciones reconocidas en este trabajo.

Para abordar el trabajo se seleccionó un área muy restringida de ca. 2,1 km², con una longitud de 3.000 m en forma paralela al rumbo de las capas y de 700 m en el sentido de su inclinación. Se efectuó el relevamiento de un perfil general de la Formación Vaca Muerta a escala 1:250 (Fig. 2) y otro de mayor detalle (1:100) para la caracterización de la porción basal de esta unidad (Fig. 3). Estas secciones, representativas de los afloramientos en el área de estudios y de la región, se levantaron con cinta métrica y brújula, e incluyeron descripciones exhaustivas de la textura, composición y estructuras primarias y secundarias de las sedimentitas. Sobre esta base, se definieron diversas facies sedimentarias y sus asociaciones verticales. Esta tarea se complementó con un minucioso muestreo de macroinvertebrados, con el fin de determinar zonas y subzonas bioestratigráficas. Por su parte, el muestreo sedimentológico se efectuó cada 8 m en las secciones homogéneas y con mayor densidad donde se producían cambios faciales. Se recolectaron también ejemplares de ammonites y fragmentos óseos de todos los reptiles hallados sobre la traza del perfil y en áreas aledañas, con el objetivo de realizar estudios mineralógicos y geoquímicos complementarios.

Cada uno de los esqueletos de reptiles marinos fue ubicado geográficamente, mediante GPS portátil, y en su nivel estratigráfico, con localización en el perfil relevado, tomándose en cuenta si los restos formaban parte de cuerpos crecionales o si estaban intercalados en las capas de lutitas y/o margas. Los reptiles fósiles que se encontraban fuera de la traza

del perfil fueron ubicados en él mediante correlación por mapeo, tarea que se vio favorecida por la significativa continuidad regional de las capas y la buena calidad de los afloramientos. Se analizó además la posición de cada esqueleto en relación a la base y techo del estrato, así como la orientación espacial de cabeza, tronco y miembros. Asimismo, se estableció la disposición de cada uno de los elementos óseos, primero sin remover la roca circundante, para lo cual se determinaron dimensiones anatómicas, se efectuaron esquemas y se los documentó fotográficamente. Con posterioridad,

se procedió a descubrir los restos óseos y, cuando fue factible por el buen grado de preservación, se los extrajo para su ulterior preparación (actualmente algunos especímenes están siendo preparados en el Museo Olsacher de Zapala y otros en el Museo de La Plata). La sigla MOZ corresponde a los ejemplares extraídos y depositados en las colecciones del Museo de Zapala (Neuquén, Argentina), mientras que los que llevan la sigla Tril no fueron extraídos; no obstante, de ellos se obtuvieron muestras óseas para análisis isotópicos y geoquímicos.

DESCRIPCION DEL PERFIL

En el área de La Yesera del Tromen, la Formación Vaca Muerta alcanza ca. 533 m de espesor y, sobre la base de su litología, ha sido subdividida en siete secciones informales (Fig. 2). La inferior (A), de sólo 8,5 m, está compuesta esencialmente por areniscas y areniscas calcáreas de grano fino y mediano que se apoyan sobre la Formación Tordillo (Fig. 4). La sección B, que alcanza 246 m de potencia, muestra el predominio de lutitas, fangolitas laminadas y concrecionales margosas (Fig. 5) a las que se asocian bancos de margas, algunos niveles aislados de carbonatos ('wackestones' hasta escasos 'grainstones') y delgados niveles de tobas. Las secciones C y E se destacan por el desarrollo de sucesivos ciclos bitemáticos lutita/marga que en conjunto alcanzan los 81,0 y 72,5 m de espesor, respectivamente. En cambio, los tramos D y F están constituidos por 32 m y 27 m de margas y lutitas carbonáticas muy lajosas. La sección cuspidal (G), cuya base no se puede definir con precisión por encontrarse cubierta, alcanza ca. 66 m y se compone de lutitas gris verdoso, lutitas carbonáticas grises y capas de 0,6 a 1,0 m de espesor de micritas y 'wackestones' de característico color ocre.

Para la porción basal de la Formación Vaca Muerta (140 m), que -como se mencionara anteriormente- está caracterizada por su extraordinaria riqueza en reptiles marinos, se muestra el perfil de detalle de la figura 3, que permite apreciar la distribución vertical de los principales tipos litológicos, así como la localización de los restos de vertebrados fósiles.

El tramo inferior (sección A, Fig. 3), se caracteriza por el dominio de areniscas y areniscas calcáreas de grano fino y mediano, macizas a laminadas, en parte nodulares y ricas en concentraciones pequeñas de pirita (y limonita derivada de la oxidación de la anterior), así como venillas de yeso supergénico. Las areniscas muestran color gris oscuro, ocre y violáceo, y a ellas se asocian niveles de wackestones oscuros y fétidos hasta 'grainstones' bioclásticos, macizos, con laminación paralela o con estructura monticular ('hummocky cross-stratification'); tienen además estructuras estilolíticas y de venación calcítica. Amonites y bivalvos fragmentados y dispuestos preferencialmente en forma paralela a la estratificación aparecen en toda esta sucesión, pero son muy frecuentes en las capas carbonáticas. Algunos 'wackestones' de grano muy fino, 'packstones' y 'grainstones' poseen bioturbación intensa con profuso desarrollo de ichnofósiles, entre los que se reconocen *Palaeophycus* y *Teichichnus* junto a posibles trazas de *Rhizocoallium* y *Scolithos*.

El conspicuo tramo superior (sector basal de la sección B, Fig. 3), está compuesto por potentes intervalos de lutitas, lutitas concrecionales, fangolitas y margas oscuras (Fig. 5), con frecuencia piríticas y yesosas, en parte estériles y otras muy ricas en restos de bivalvos y ammonites. Con frecuencia, en estos tramos de la Formación Vaca Muerta aparecen costras epigenéticas de aragonita y calcita fibrosa radiaxial, desarrolladas en forma paralela a la estratificación. Uno de los rasgos conspicuos de la unidad (cf. Gasparini *et al.*, 1997) es el desarrollo

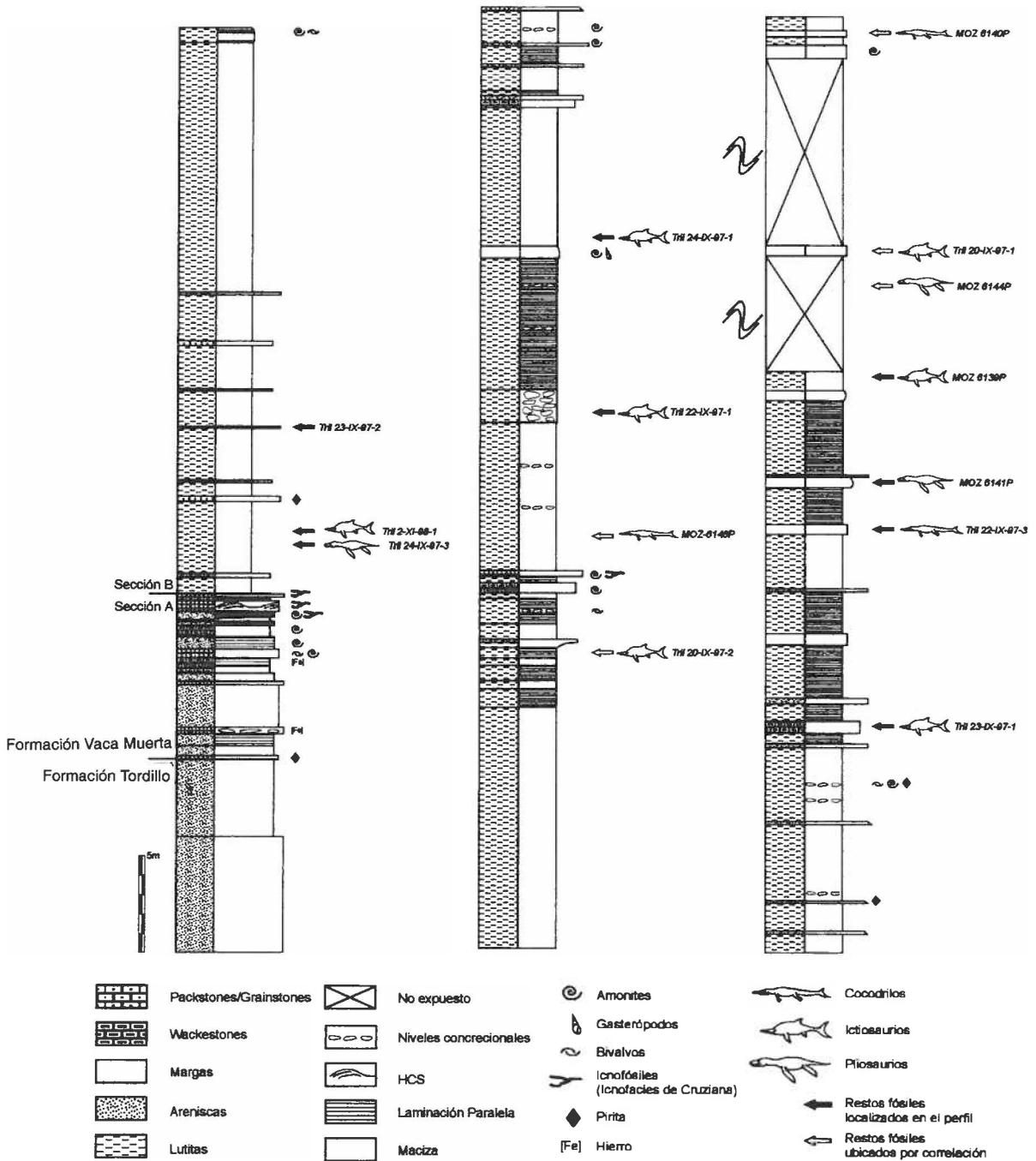


FIG. 3. Perfil de detalle de las secciones inferiores de la Formación Vaca Muerta (Sección A y B) con su constitución litológica y la ubicación de los reptiles marinos.



de ciclos de pequeña escala (entre 10 y 70 cm de espesor) constituidos por alternancias de lutitas negras y margas organógenas; además, algunos litosomas pelíticos muestran incipiente arreglo granocreciente.

Entre las mencionadas sedimentitas pelíticas se intercalan en forma esporádica capas muy delgadas de 'packstones y wackestones' macizas, en parte laminadas y raramente ondúlíticas. Algunos de estos niveles muestran una superficie inferior irregular y tendencia a la gradación normal. También suelen aparecer láminas de arenas inconsolidadas muy finas, yesosas y de tonos ocráceos, que podrían representar depósitos piroclásticos de caída.

FIG. 5. Vista de detalle de las sedimentitas que caracterizan a la sección B de la Formación Vaca Muerta en La Yesera del Tromen.



FIG. 4. Vista del contacto entre las formaciones Tordillo y Vaca Muerta en La Yesera del Tromen.

MODELO DE DEPOSICION

Sobre la base de la geometría general del sustrato deposicional, Mitchum y Uliana (1985) y Legarreta y Uliana (1991) han propuesto un modelo de rampa marina para el Titoniano - Berriasiano de la Cuenca Neuquina, que está caracterizado por una pendiente de bajo ángulo y uniforme hacia el depocentro, sin quiebre de la plataforma y desprovisto de estructuras arrecifales de dimensiones regionales. Spalletti *et al.* (en prensa) han mostrado un patrón simple de distribución de facies carbonáticas y silicoclásticas, con transición gradual desde áreas marinas someras a profundas. De acuerdo al modelo conceptual de Burchette y Wright (1992), Spalletti *et al.* (en prensa) definieron ambientes de rampa interna, media, externa y cuencal.

La mayor parte de la Formación Vaca Muerta en La Yesera del Tromen se caracteriza por sedimentos pelíticos y carbonáticos finos en los que son frecuentes los arreglos cíclicos. Estos depósitos corresponden a la porción cuencal de la rampa y son el producto de la decantación suspensiva de partículas carbonáticas y silíceas sobre un fondo predominantemente anóxico. Se encuentran también asociaciones de facies asignables al ambiente de rampa externa; en este caso se trata de depósitos oscuros de grano fino entre los que aparecen delgadas intercalaciones de arenas silicoclásticas y carbonáticas. Como se indicara en trabajos previos

(Gasparini *et al.*, 1997; Spalletti *et al.*, en prensa), estas capas de textura más gruesa se interpretan como depósitos distales de tormentas (Myrow y Southard, 1991, 1996; Midtgaard, 1996), ya que muestran evidencias de retrabajo de olas y de flujos gravitacionales (tempestíticos) de baja densidad.

Únicamente, el intervalo inferior (A) de la Formación Vaca Muerta muestra rasgos correspondientes a un ámbito marino más somero. La abundancia de areniscas y areniscas calcáreas macizas asociadas con 'wackestones' y calcarenitas ('packstones' y 'grainstones'), así como las frecuentes bioturbaciones con trazas fósiles pertenecientes a la icnofacies de Cruziana, sugieren un ambiente de frente de costa inferior ('lower shoreface'), correspondiente a la transición entre la rampa interna y la media. Por su parte, las capas con estructuras monticulares (HCS), que también aparecen en este tramo inferior de la Formación Vaca Muerta, ponen en evidencia la actividad de olas orbitales relativamente someras producidas por tormentas. Vale agregar que hacia la zona de transición entre el intervalo inferior (A) y el siguiente (B) de esta unidad, en los primeros horizontes de lutitas negras, aparecen ostras adheridas a la cara superior de grandes ammonites, los que han constituido islas bentónicas emergentes de una interfase deposicional anóxica a subóxica.

REPTILES DEL AREA DE LA YESERA DEL TROMEN

Durante el Jurásico Medio y tardío todos los tetrápodos marinos eran reptiles y entre ellos tres grupos de diápsidos cumplían el rol de predadores pelágicos: ictiosaurios, pliosaurios y cocodrilos meiorrinquidos. El registro de estos grupos es abundante principalmente en el Caloviano-Oxfordiano del Hemisferio Norte, haciéndose más escaso hacia fines del Jurásico. Por el contrario, en el oeste de América del Sur, y en particular en la Cuenca Neuquina, el registro del Jurásico Medio es escaso, mientras que el del Titoniano supera en diversidad de formas de 'off-shore' al europeo. En este contexto, la descripción de la herpetofauna de la Cuenca

Neuquina adquiere especial relevancia, ya que complementa espacial y temporalmente el registro del Hemisferio Norte.

Los reptiles exhumados en el área de La Yesera del Tromen están representados estratigráficamente en el perfil de la figura 3. Además de su notable abundancia, muchos de los restos muestran un excelente grado de preservación (Figs. 6 y 7). Los especímenes, con cráneos que generalmente superan 1,50 m, están en etapa de preparación, por lo que las determinaciones taxonómicas serán ampliadas en trabajos posteriores.



FIG. 6. Vista de parte del esqueleto de *Caypullisaurus bonapartei* Fernández, 1997 (MOZ 6139P). Observe la disposición de las vértebras en forma paralela a la superficie de los estratos.

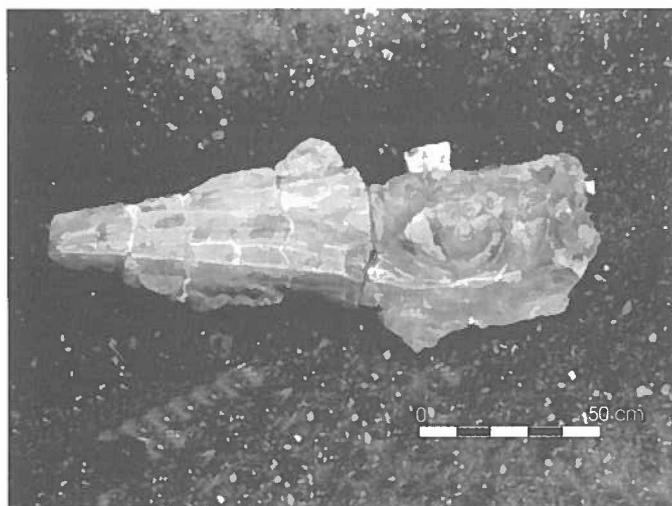


FIG. 7. *Caypullisaurus bonapartei* Fernández, 1997. MOZ 6139P.

ANTECEDENTES PALEONTOLOGICOS

Crocodyliformes Benton y Clark, 1988
Thalattosucchia Fraas, 1902
Metriorhynchidae Fitzinger, 1843

Género *Geosaurus* Cuvier, 1824

***Geosaurus araucanensis* Gasparini y Dellapé,
1976**

Tril 22-IX-97-3. Titoniano superior. Pequeño cocodrilo, muy alterado por la erosión reciente, con la

cara izquierda del cráneo apoyada en el sustrato, el poscráneo es articulado y marcadamente arqueado hacia arriba y hacia atrás. *Geosaurus araucanensis* es la especie más frecuente entre los cocodrilos marinos titonianos de la Cuenca Neuquina (Gasparini y Fernández, 1997).

Género *Dakosaurus* Quenstedt, 1852

?*Dakosaurus* sp. indet.

MOZ 6146P. Titoniano superior. Cráneo y poscráneo articulados. De este ejemplar se extrajo sólo el cráneo y la mandíbula articulados. El poscráneo probablemente completo permanece aún en el campo. El cráneo estaba apoyado sobre la cara derecha. El MOZ6146P es un Metriorhynchidae de rostro muy alto, con dientes comprimidos y crestas anterior y posterior aserradas. Las especies europeas de *Dakosaurus* están mal conocidas, aunque han sido citadas con frecuencia para el Kimmeridgiano-Cretácico temprano (Vignaud, 1995). En el Titoniano del norte de la Cuenca Neuquina fue

hallado un fragmento rostral referido a *Dakosaurus andiniensis* Vignaud y Gasparini (1996), un metriorrínquido de rostro alto, proporcionalmente corto y con dientes comprimidos, que podría estar vinculado con los cocodrilos gigantes de La Yesera del Tremen.

MOZ 6140P. Berriasiano. Ejemplar con cráneo y mandíbulas destrozados por acción antrópica. Se alcanzó a rescatar parte de las mandíbulas y un sector de la columna vertebral. Por el grado de preservación es muy probable que el esqueleto de este gigantesco cocodrilo marino estuviera completo. Un fragmento anterior de mandíbula izquierda, en el que la sínfisis es muy alta y los dientes son comprimidos y de bordes aserrados, indica que corresponde al mismo taxón que el MOZ6146P.

Sauropterygia Owen, 1860 Plesiosauria de Blainville, 1835 Pliosauroida Seeley, 1874 Pliosauridae Seeley, 1874

Género *Liopleurodon* Sauvage, 1873

?*Liopleurodon* sp. indet.

MOZ 6144P. Titoniano superior? Un cráneo y mandíbulas soldados (2,10 m), un sector de columna vertebral que incluye a las cervicales y parte de las dorsales (4,60 m), además del miembro anterior derecho. El espécimen está muy bien preservado, y se lo halló apoyado en el sustrato sobre su dorso. La reciente erosión eliminó la sección que contenía desde la región sacra a la caudal. En vida, el animal debió alcanzar entre los 12 y 14 m de largo. El ejemplar aún no ha sido preparado y la espesa capa de sedimento que lo envuelve impide observar caracteres que permitan precisar su determinación taxonómica. Algunos restos dentarios conservan el esmalte, con fuertes estrías como en todos los grandes Pliosauridae y en particular en el gigante *Liopleurodon* (Tarlo, 1960). Sin embargo, la parte anterior del rostro es roma y más ancha que las especies conocidas de *Liopleurodon*.

MOZ6141P. Titoniano superior. Material muy deteriorado por efectos de la maquinaria vial. Se recuperó parte de la sínfisis mandibular y la rama mandibular derecha (1,70 m), además de algunas vértebras. Tanto el cráneo como las vértebras indican que el esqueleto yacía de cúbito ventral sobre el sustrato. La sínfisis mandibular incluye seis pares de alvéolos, siendo el cuarto el mayor. Los bordes externos de la sínfisis son subparalelos y el extremo anterior es romo. El rostro del MOZ 6144P tiene características similares, por lo que podrían corresponder al mismo taxón.

Pliosauridae indet.

Tril 24-IX-97-3. Titoniano. Un esqueleto bien preservado, articulado, con cinturas pectoral y pélvica y un húmero articulado. El animal yace de cúbito ventral, con deformación de los sedimentos adyacentes, probablemente, por el impacto de su peso o por compactación diferencial. Corresponde a un pliosáurido de gran tamaño.

Ichthyosauria Blainville, 1835
Ichthyosauridae Bonaparte, 1841
Stenopterygiinae Kühn, 1934

Género *Caypullisaurus* Fernández, 1997

***Caypullisaurus bonapartei* Fernández, 1997**

MOZ 6139P (Fig. 6). Titoniano superior-Berriasiano?. Este espécimen consta del cráneo y mandíbulas completos, vértebras troncales anteriores y posteriores, y algunas costillas. El cráneo se encontró articulado con la columna vertebral. Como es muy frecuente en los ictiosaurios, las características estructurales del cráneo contribuyen a que no se preserve en tres dimensiones. Este ejemplar se depositó sobre su cara derecha, por lo que su cara izquierda es la que se ha preservado con todos sus elementos en posición natural y con una deformación mínima (Fig. 7). Esta condición ha permitido la obtención de los coeficientes craneanos cuyos valores son comparables con los del holotipo de *Caypullisaurus bonapartei*. Entre los caracteres más conspicuos de este material se destacan la gracilidad del rostro y la amplia reducción de la dentición. La longitud mandibular es de 1,57 m. Cabe destacar que hasta el presente, este ejemplar es el de mayor tamaño referible a esta especie.

Stenopterygiinae cf. *Caypullisaurus* sp.

Tril 20-IX-97-1. Berriasiano medio. Este ejemplar

es un ictiosaurio de tamaño mediano (longitud estimada 2,50 m) y está incluido en una concreción. Consta de parte del cráneo, húmero y parte proximal del carpo izquierdos, columna vertebral completa hasta la región sacra, y costillas. Los elementos del cráneo están ligeramente desarticulados. El cráneo está caracterizado por una órbita proporcionalmente grande, un rostro grácil y dientes de tamaño moderado. El húmero es robusto y los elementos del carpo proximal son poligonales, características éstas que permiten referirlo como cf. *Caypullisaurus*. Tril 22-IX-97-1. Titoniano superior. Consiste en vértebras de la serie posterior del tronco y costillas articuladas, una barra isquiopúbica y la parte proximal del tarso articulado. La fusión de la barra isquiopúbica es diagnóstica a nivel de subfamilia, en tanto que la conformación del tarso proximal permite identificarlo como cf. *Caypullisaurus*. En el tarso se han identificado cuatro dígitos primarios compuestos por elementos poligonales. El patrón de disposición de estos elementos es muy semejante al de *Caypullisaurus* y notablemente diferente al patrón del tarso de los otros dos taxones de ictiosaurios (*Ophthalmosaurus* y *Nannopterygius*) conocidos para el Jurásico tardío (Fernández, 1997).

Ichthyosauria Blainville, 1835
Ichthyosauria indet.

Tril 20-IX-97-2, Tril 23-IX-97-1, Tril 24-IX-97-1 y Tril2-XI-98-1. Titoniano superior. No pudieron ser determinados a niveles taxonómicos inferiores por estar muy incompletos. En los tres primeros ejemplares, se ha conservado parte de la región troncal

posterior, en tanto que el último es un fragmento de rostro. Cabe señalar que, aunque incompletos, en los cuatro especímenes los elementos que los componen están articulados.

Reptilia indet.

Tril 23-IX-97-2. Titoniano superior. Fragmento de

poscráneo indeterminable.

DISCUSION

Aun cuando en otros sectores de la Cuenca Neuquina los autores han podido comprobar que la sucesión de la Formación Vaca Muerta puede mostrar variaciones significativas en los niveles de oxigenación del sustrato sedimentario (Doyle *et al.*, 1998), en las áreas más profundas de la cubeta, tales como las estudiadas por Gasparini *et al.* (1997) y las que caracterizan a la sección B del presente trabajo, las condiciones de anoxia parecen haber sido mucho más uniformes y persistentes. Spalletti *et al.* (en prensa) han analizado detenidamente las causas fisiográficas, tectónicas y sedimentarias, tanto regionales como globales (aislamiento de la cuenca, relieve circundante bajo y clima predominantemente seco), que favorecieron el desarrollo de las condiciones anaeróbicas en la interfase agua/sedimento de la rampa titoniano-berriasiana. La anoxia habría estado vinculada con un proceso de estratificación de las aguas marinas y el desarrollo de una fuerte termopicloclina por debajo de la base de olas de tormenta (Emery y Myers, 1996; Gasparini *et al.*, 1997). Las aguas ubicadas por encima de la termopicloclina eran bien oxigenadas y por tanto aptas para sustentar una más que abundante fauna de organismos planctónicos y nectónicos. En tal sentido, todos los reptiles identificados en la Formación Vaca Muerta son formas de mar afuera, con capacidad para la natación sostenida, similar a la de los grandes mamíferos marinos actuales.

Independientemente del tamaño del espécimen (desde el pequeño *Geosaurus* a los gigantes pliosaurios y *Caypullisaurus*), los restos óseos de los reptiles están muy bien preservados, con vértebras articuladas entre sí y alineadas, y con escaso

desplazamiento de las costillas y de los miembros. Incluso, en uno de los pliosaurios está presente el coracoides, un elemento óseo laminar que difícilmente se preserva en estos reptiles. Esta notable peculiaridad en los esqueletos de reptiles titoniano-berriasianos muestra, por un lado, la ausencia de depredación importante por parte de organismos carroñeros, y por otro la acumulación de los cadáveres sin que se produjese prácticamente ningún tipo de desarticulación.

La carencia de depredadores se explica por las condiciones anaeróbicas del fondo marino, que fueron tóxicas para el desarrollo de comunidades bentónicas. La excelente preservación de los cuerpos está también relacionada con factores físicos. En tal sentido, el depocentro se encontraba dominado por la lenta decantación vertical de sedimentos de grano fino, sin que se dieran condiciones de energía suficientes para producir el desmembramiento de los esqueletos. Asimismo, en tal situación dinámica y fisicoquímica, la interfase sedimentaria no era una superficie netamente definida, sino que estaba constituida por una columna de fangos con un alto grado de saturación en agua ('soup-substrate', de acuerdo a Goldring, 1995), la que pudo haber obrado como un 'colchón' amortiguando el impacto que producía la caída vertical de los restos de reptiles.

En algún caso, el esqueleto muestra ligeros desplazamientos y rotaciones de las costillas, sin llegar a su fracturación o desmembramiento completo, lo que permite sugerir la esporádica presencia de corrientes de fondo muy débiles, ya mencionadas para el depocentro de la Formación Vaca Muerta por Gasparini *et al.* (1997).

CONCLUSIONES

- Se describe un perfil de 533 m de espesor correspondiente a la Formación Vaca Muerta (Titoniano-Valanginiano) en la localidad de La Yesera del Tromen, reconociéndose siete secciones informales (A hasta G).
- En la porción inferior de la Formación Vaca

Muerta, específicamente en la sección B del perfil, se ha hallado una rica y diversa herpetofauna marina. Esta sección se compone de importantes espesores de lutitas, lutitas concrecionales, fangolitas y margas oscuras, a veces estériles y otras con abundantes bivalvos y ammonites. Apa-

recen también intercalaciones delgadas de 'packstones' y 'wackestones', y de psamitas piroclásticas de grano fino.

- El modelo deposicional propuesto para la mencionada asociación de facies es de una rampa marina (sectores cuencal a rampa exterior) caracterizada por procesos de decantación suspensiva de material silicoclástico y carbonático, con incursiones breves y esporádicas de flujos oscilatorios y gravitacionales asociados con tormentas.
- Se describen catorce restos de reptiles marinos localizados en un área de 2,1 km², y que corresponden a ictiosaurios, pliosaurios y cocodrilos metriorrínquidos, todos ellos pelágicos y con capacidad para la natación sostenida, similar a la de las ballenas y delfines actuales. Algunos de estos especímenes son los de mayor tamaño registrados para el Titoniano de la Cuenca Neuquina.

- Este conjunto de reptiles corresponde al límite Jurásico-Cretácico, lo que constituye el más completo registro de esa antigüedad fuera de Europa.
- Las condiciones del sustrato eran casi permanentemente anóxicas, relacionadas con procesos de estancamiento de las aguas marinas y con el desarrollo de una termopicnoclina. Estas condiciones serían producto de la combinación de una serie de factores, tales como elevada provisión de nutrientes, aislamiento de la cuenca, escaso relieve circundante y condiciones de clima seco.
- La excelente preservación de los esqueletos se vincula con la anoxia y se atribuye a la ausencia de predadores bentónicos, a las condiciones de energía cinética casi nulas en las aguas profundas y al desarrollo de un sustrato blando, de fangos saturados, que habría amortiguado el impacto de los cuerpos al producirse su decantación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. H.A. Leanza (Secretaría de Geología y Minería de la República Argentina y CONICET) la determinación taxonómica de los invertebrados fósiles y las asignaciones bioestratigráficas. A S. Cocca y R. Cocca, del Museo Olsacher de Zapala (Neuquén, Argentina), la colaboración en la localización de los ejemplares y en la extracción de los especímenes gigantes. A los geólogos E. Pérez (Servicio Nacional de Geología

y Minería, Chile) y J. Le Roux (Universidad de Chile) la lectura crítica del manuscrito y las interesantes recomendaciones efectuadas. Además, los autores agradecen el arbitraje del Dr. G. González Bonorino (Universidad Nacional de Salta, Argentina). Este trabajo ha sido financiado a través de los subsidios PIP CONICET 4139, Grant National Geographic Society 6001/97 y BID 802/OC-AR PICT 07-00732.

REFERENCIAS

- Barrio, C.A. 1989. Sedimentology of the Malargüe Group (Late Cretaceous-Early Tertiary), Neuquén Basin, Western Argentina. Ph.D. Thesis (Unpublished), University of South Carolina, Department of Geological Sciences, 147 p.
- Benton, M.; Clark, J. 1988. Archosaur phylogeny and the relationships of the Crocodyliformes. In The phylogeny and classification of the Tetrapods (Benton, M.; editor). Clarendon Press, p. 295-338. Oxford.
- Blainville, H.M.D. De. 1835. Description de quelques espèces de reptiles de la Californie. *Nouvelles Annales du Muséum d'Histoire Naturelle*, p. 233-296. Paris 4.
- Bonaparte, C.L. 1841. A new systematic arrangement of vertebrated animals. *Transactions of the Linnean Society of London*, Vol. 18, p. 247-304.
- Burchette, T.P.; Wright, V.P. 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, Vol. 79, p. 3-57.
- Cuvier, G.L. 1824. Recherches sur les ossemens fossiles. Vol. 5, partie 2, p. 1-547. *Dufour G. & diOcagne*, Paris.
- Digregorio, R.E.; Gulisano, C. A.; Gutiérrez Pleimling, A.R.; Minitti, S.A. 1984. Esquema de la evolución geodinámica de la Cuenca Neuquina y sus implicancias paleogeográficas. In *Congreso Geológico Argentino, No. 9, Actas*, Vol. 2, p. 147-162. San Carlos de Bariloche.
- Doyle, P.; Poiré, D.G.; Spalletti, L.A.; Pirrie, D.; Brenchley, P.; Matheos, S.D. 1998. Palaeoenvironmental analysis of the Vaca Muerta and Chachao Formation of the

- Neuquén Basin in west-central Argentina: implications for palaeo-oxygenation studies. *Fourteenth International Sedimentological Congress, Abstracts. Alicante*, H-2, p. 303-304.
- Emery, D.; Myers, K.J. 1996. Sequence Stratigraphy. *Blackwell*, 297 p. Oxford.
- Feehan, J. G. 1984. Structural style of the central Neuquén basin, Argentina. M.Sc. Thesis (Unpublished), *University of South Carolina, Department of Geological Sciences*, 92 p.
- Fernández, M. 1997. A new ichthyosaur from the Tithonian (Late Jurassic) of the Neuquén Basin, Northwestern Patagonia, Argentina. *Journal of Paleontology*, Vol. 7, p. 479-484.
- Fitzinger, L. 1843. Systema Reptilium (Braumuller and Seidel.; editors). p. 1-106. Wein.
- Fraas, E. 1902. Die Meer-Crocodilier (Thalattosuchia) des oberen Jura unter specieller Berücksichtigung von *Dacosaurus* und *Geosaurus*. *Paleontographica* Vol. 49, p. 1-79.
- Gasparini, Z.; Dellapé, D. 1976. Un nuevo cocodrilo marino (Thalattosuchia, Metriorhynchidae) de la Formación Vaca Muerta (Jurásico Superior, Tithoniano) de la provincia de Neuquén (República Argentina). *In Congreso Geológico Chileno, No. 1, Actas*, Vol. 1 p. C1-C21. Santiago.
- Gasparini, Z.; Fernández, M. 1997. Tithonian marine reptiles of the Eastern Pacific. *In Ancient Marine reptiles* (Callaway, J.; Nicholls, E.; editors). *Academic Press*, p. 435-450. San Diego, U.S.A.
- Gasparini, Z.; Spalletti, L.; de la Fuente, M. 1997. Marine reptiles of a Tithonian transgression, western Neuquén Basin, Argentina. Facies and paleoenvironments. *Geobios*, Vol. 30, p. 701-712.
- Gasparini, Z.; Spalletti, L.; Fernández, M.; de la Fuente, M. En prensa. Tithonian marine reptiles from the Neuquén Basin: diversity and paleoenvironments. *Revue de Paléobiologie*.
- Goldring, R. 1995. Organisms and the substrate: response and effects. *In Marine Palaeoenvironmental Analysis from Fossils* (Bosence, D.W.; Allison, P.A.; editors). *Geological Society of London, Special Publication*, Vol. 83, p. 151-180.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. 1. Hoja Chos Malal. *Sociedad Geológica Argentina, Revista*, p. 177-208.
- Gulisano, C.A.; Gutiérrez Pleimling, A.R.; Digregorio, R.E. 1984. Análisis estratigráfico del intervalo Tithoniano-Valanginiano (Formaciones Vaca Muerta, Quintuco y Mulichinco) en el suroeste de la provincia de Neuquén. *In Congreso Geológico Argentino, No. 9, Actas*, Vol. 1, p. 221-235. San Carlos de Bariloche.
- Gulisano, C.A.; Gutiérrez Pleimling, A.R. 1994. The Jurassic of the Neuquén Basin, a) Neuquén Province. *Asociación Geológica Argentina, Series*, 111 p. Buenos Aires.
- Kühn, O. 1934. Ichthyosauria. *In Fossilium Catalogus* (Quenstedt, W.; editor). Animalia, 1, pars 63. *Junk*, 75 p. Berlin.
- Legarreta, L.; Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior, Argentina). *In Cuencas Sedimentarias Argentinas* (Chebli, G.; Spalletti, L.A.; editors). *Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica*, No. 6, p. 221-243.
- Legarreta, L.; Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back arc basin fill, Central Argentine Andes. *In Sea level changes at active plate margins: process and product* (Macdonald, D.I.M.; editor) *International Association of Sedimentologists, Special Publication*, Vol. 12, p. 429-450.
- Legarreta, L.; Gulisano, C.A.; Uliana, M.A. 1993. Las secuencias sedimentarias jurásico-cretácicas. *In Congreso Geológico Argentino, No. 12, y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, No. 2, Vol. 1, Relatorio Geología y Recursos Naturales de Mendoza*, No. 9, p. 87-114. Mendoza.
- Legarreta, L.; Uliana, M.A. 1996. La sucesión jurásica en el centro-oeste de Argentina. Arreglo estratigráfico, secuencias y evolución paleogeográfica. *Boletín de Informaciones Petroleras*, No. 12, p. 66-78.
- Macellari, C.E. 1988. Cretaceous paleogeography and depositional cycles of western South America. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 1, p. 373-418.
- Midtgaard, H.H. 1996. Inner-shelf to lower-shoreface hummocky sandstone bodies with evidence for geostrophic influenced combined flow, Lower Cretaceous, West Greenland. *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 66, p. 343-353.
- Mitchum, R.M.; Uliana, M.A. 1985. Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina *In Seismic Stratigraphy, II: an Integrated Approach to Hydrocarbon Exploration*. (Berg, O.; Woolverton, D.; editors). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, No. 39, p. 255-274.
- Myrow, P.M.; Southard, J.B. 1991. Combined flow model for vertical stratification sequences in shallow marine storm-deposited beds. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 61, p. 202-210.
- Myrow, P.M.; Southard, J.B. 1996. Tempestite deposition. *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 66, p. 875-887.
- Neher, K.E. 1986. The structural geology of Southwestern Neuquén Basin, Argentina. M.Sc. Thesis (Unpublished), *University of South Carolina, Department of Geological Sciences*, 84 p.
- Owen, R. 1860. On the orders of fossil and recent Reptilia, and their distribution in time. *Report of the British Association Advancement of Science*, Vol. 29, p. 153-166. London.
- Ploszkiewicz, J.V.; Orchuela, I.A.; Vaillard, J.C.; Viñes, R.F. 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de falla de Huinul, estructuras asociadas, provincia del Neuquén. *In Congreso Geológico Argentino, No. 9, Actas*, Vol. 2, p. 163-169. San Carlos de Bariloche.

- Quenstedt, F.A. 1852. Handbuch der Petrefaktenkunde. p. 1-982. Tubingen.
- Savage, H. 1873. Notes sur les reptiles fossiles. *Société Géologique de France, Bulletin*, No. 3, p. 365-380. Paris.
- Seeley, H. 1874. On *Muraenosaurus leedsii*, a plesiosaurian from the Oxford Clay. Part I. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 30, p. 197-208.
- Spalletti, L.A.; Franzese, J.R.; Matheos, S.D.; Schwarz, E. En prensa. Sequence stratigraphy of a tidally-dominated carbonate-siliciclastic ramp; The Tithonian of the Southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society of London*.
- Tarlo, L. 1960. A review of the Upper Jurassic pliosaurus. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Geology*, Vol. 4, p. 148-189.
- Vergani, G.D.; Tankard, A.J.; Belotti, H. J.; Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. In *Petroleum Basins of South America* (Tankard, A.J.; Suárez Soruco, R.; Welsink, H.J.; editors) *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, No. 62, p. 383-402.
- Vignaud, P. 1995. Les Thalattosuchia, crocodiles marins du Mésozoïque, systématique phylogénétique, paléoécologie, biochronologie et implications paléogéographiques. Ph.D. Thesis (Unpublished), *Université Poitiers*, 271 p.
- Vignaud, P.; Gasparini, Z. 1996. New *Dakosaurus* (Crocodylomorpha, Thalattosuchia) in the Upper Jurassic of Argentina. *Comptes Rendues de l'Académie de Sciences*, Vol. 322, p. 245-250.
- Yrigoyen, M.R. 1991. Hydrocarbon resources of Argentina. In *World Petroleum Congress*, No. 13. *Petrotecnia, Special Issue*, p. 38-54. Buenos Aires.