

ALTERACIONES EN CÁSCARAS DE HUEVOS DE DINOSAURIOS EN EL CRETÁCICO SUPERIOR DE LA PROVINCIA DE RÍO NEGRO, ARGENTINA



MARIELA SOLEDAD FERNÁNDEZ¹ Y SERGIO DANIEL MATHEOS².

¹CONICET-INIBIOMA, Museo de Geología y Paleontología, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400, Q8300BCX Neuquén, Argentina. mariu_soledad_fernandez@hotmail.com

²Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP), Calle 1, N° 644, B1900TAC La Plata, Argentina. smatheos@cig.museo.unlp.edu.ar

Resumen. Se presenta un estudio de cáscaras anormales de huevos de dinosaurios colectadas en la localidad de Salitral de Santa Rosa (Provincia de Río Negro) y provenientes de la Formación Allen (Cretácico Superior). Se identificaron dos tipos de anomalías: (1) cáscaras con ornamentación heterogénea y microestructura alterada, dentro de las cuales a su vez se distinguieron: (1a) cáscaras sin roseta (en huevos megaloolitidos y faveoolitidos) y (1b) cáscaras con roseta (en huevos faveoolitidos); y (2) cáscaras dobles (sólo en huevos megaloolitidos). En el primer caso (1a) las cáscaras presentan un rango de diámetro nodal mayor que en las normales y los nódulos superficiales están modificados por recristalización. Las secciones delgadas analizadas muestran alteraciones de la estructura normal de las unidades de cáscara. En el segundo (1b), las cáscaras presentan en ciertos sectores de su superficie agrupamientos de nódulos en forma de flor (o rosetas). En los cortes delgados se observa que el contorno de las unidades de cáscara es completamente irregular, en tanto que los conductos de los poros se encuentran corroídos. En las cáscaras dobles (2) se pudieron identificar dos cáscaras idénticas, de las cuales la externa es la más delgada y no posee núcleos de crecimiento. El análisis de catodoluminiscencia permitió establecer que las cáscaras dobles y las cáscaras heterogéneas ornamentadas con roseta tienen un origen patológico, mientras que las cáscaras con ornamentación heterogénea sin roseta sólo presentan un alto grado de alteración diagenética.

Palabras clave. Dinosaurios. Huevos. Megaloolitidos. Faveoolitidos. Patologías. Diagénesis. Cretácico. Patagonia.

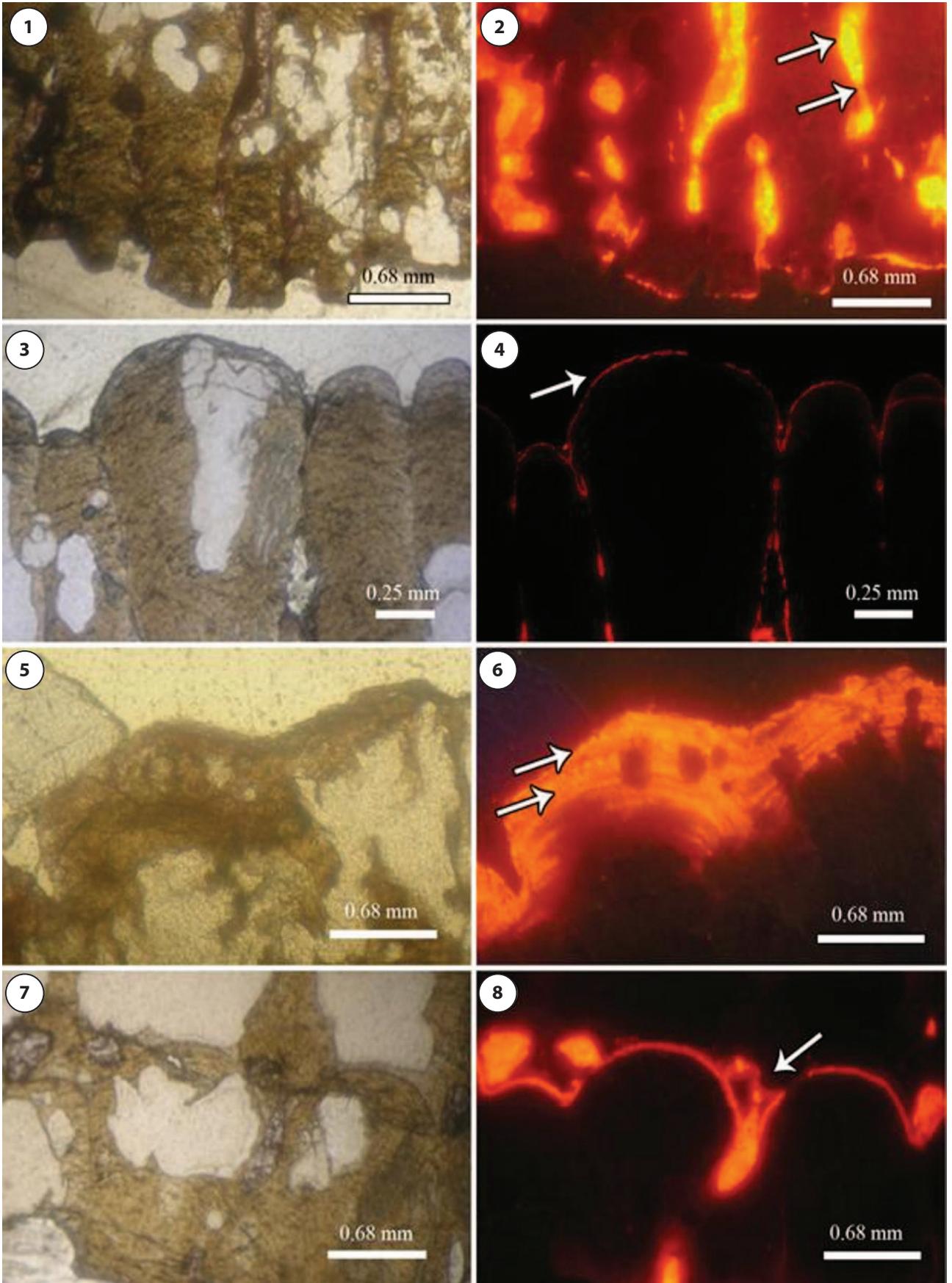
Abstract. ALTERATIONS IN LATE CRETACEOUS DINOSAUR EGGSHELLS FROM RÍO NEGRO, ARGENTINA. Abnormal dinosaur eggshells are described from the Allen Formation (Late Cretaceous) at Salitral de Santa Rosa (Río Negro Province). Two different types of abnormalities were identified, *i.e.*, (1) eggshells with altered microstructure and heterogeneous ornamentation, among which can be distinguished (1a) eggshells without rosettes (in megaloolithids and faveoolithids), and (1b) eggshells with rosettes (in faveoolithids); and (2) multilayered eggshells (only in megaloolithids). In the first group (1a) the eggshells display a greater range of diameters than the normal ones and the surface nodules are overgrown by recrystallization. Thin sections show alterations of the normal eggshell structure of the units. In the second group (1b) eggshells present groups of flower-shaped nodules (or rosettes) on certain sectors of their surface. In thin sections it is possible to observe that the outline of the eggshell units is completely irregular, while the pore channels are corroded. Two identical layers were identified in the double eggshell (2), the externalmost of which is the thinnest and lacks growth nuclei. Cathodoluminescence analysis established that double eggshells and eggshells with heterogeneous ornamentation with rosettes have a pathological origin, while eggshells with heterogeneous ornamentation without rosettes are only strongly altered diagenetically.

Key words. Dinosaurs. Eggshells. Megaloolithid. Faveoolithid. Pathologies. Diagenesis. Cretaceous. Patagonia.

EL hallazgo de cáscaras anormales de huevos de dinosaurios es frecuente en varias localidades del Cretácico Superior de Patagonia, sobre todo en aquellas que históricamente han brindado restos de huevos y huesos de estos reptiles (Frenquelli, 1951; Bonaparte *et al.*, 1984; Powell, 1985, 1992; Bonaparte, 1987; Salgado y Azpilicueta, 2000; Salgado *et al.*, 2007, 2009a, 2009b; Coria, 2001; Coria y Salgado, 2005). Los tipos de anomalías en cáscaras registrados en la literatura son varios: cáscaras dobles y multicapa, y cáscaras con ornamentación heterogénea (Romanoff y Romanoff, 1949; Erben, 1970; Erben *et al.*, 1979; Ewert *et al.*, 1984; Hirsch, 2001; Jackson y Varricchio, 2003; Jackson *et al.*, 2004; Jackson y Schmitt, 2008). La mayor parte de las cáscaras fueron

estudiadas por métodos clásicos, tales como la observación con microscopio electrónico de barrido, o mediante cortes delgados observados con microscopio petrográfico; rara vez esos estudios incluyeron un análisis no convencional, como el de catodoluminiscencia (Magalhães Ribeiro, 1997).

Las cáscaras patológicas poseen diversos orígenes, básicamente pueden producirse por anomalía biológica del productor o por factores ambientales. En el primer caso, la causa podría ser, por ejemplo, un oviducto malformado, que puede producir un huevo deforme que imposibilita el desarrollo normal del embrión (Hirsch, 2001). En el segundo, podría tratarse de algún factor ambiental que influya en el desarrollo normal del huevo, como una exposición de la hem-



bra a condiciones estresantes, que ocasionen la retención del huevo en el oviducto (Romanoff y Romanoff, 1949; Erben, 1970; Erben *et al.*, 1979).

Powell (1985, 1992) fue el primero en registrar cáscaras patológicas en la Provincia de Río Negro, en Salitral Moreno, a 25 km de la ciudad de General Roca y en Salitral Ojo de Agua, a unos 60 km al sudeste de la misma ciudad. En dichos trabajos, este autor interpretó varios materiales como patológicos, basándose en observaciones de la superficie externa de las cáscaras, que presentaba nódulos sobrecrecidos tanto en altura como en diámetro. Por otra parte, Powell (*op. cit.*) describió fragmentos de cáscaras dobles, una patología ampliamente registrada en otras localidades (Romanoff y Romanoff, 1949; Erben *et al.*, 1979; Mones, 1981; Manera de Bianco, 1996; Hirsch, 2001; Jackson y Schmitt, 2008). Sin embargo, Powell (1992) también puntualizó que ciertas cáscaras, aún cuando mostraban una superficie externa supuestamente patológica, presentaban una microestructura interna normal en un corte delgado. De la misma manera, en las cáscaras dobles observó que la superficie externa de la cáscara interna tenía una textura normal, con nódulos pequeños, mientras que la cáscara externa estaba caracterizada por poseer nódulos heterogéneos. En ninguno de estos casos este autor realizó un estudio de catodoluminiscencia, que es el que permite distinguir las cáscaras patológicas de las alteradas por procesos diagenéticos. Por lo tanto, sólo de la lectura del trabajo no es posible confirmar que las cáscaras descritas como patológicas en efecto lo sean. Cabe la posibilidad concreta de que alguna o todas esas cáscaras sean el resultado de alteración diagenética, lo que es muy común durante el proceso de fosilización de cáscaras de huevo (Jackson y Schmitt, 2008).

El presente estudio se basa en materiales que provienen de la Formación Allen (Cretácico Superior, Campaniano–Maastrichtiano; Andreis *et al.*, 1974) aflorante en Salitral de Santa Rosa, Patagonia septentrional (Provincia de Río Negro, Argentina). En materiales colectados en sucesivas campañas realizadas en dicha localidad (sitios Santa Rosa, Berthe II–VI, Cerro Bonaparte, García I, Mansilla I y II, Santos II

y III, ver Salgado *et al.*, 2007, fig. 1), fueron identificados dos tipos de cáscaras anormales: cáscaras con ornamentación heterogénea y cáscaras dobles. A su vez, dentro de las primeras se pudieron identificar dos tipos distintos de acuerdo con su patrón de ornamentación. El objetivo de este trabajo es describir esas cáscaras y discutir la naturaleza de su anomalía, estableciendo en cada caso si se trata de elementos que han sido afectados por un alto grado de diagénesis o de verdaderas patologías.

Abreviaturas técnicas. CL, Catodoluminiscencia; SEM, Scanning Electron Microscope; PLM, Polarized Light Microscope; LB, Lupa Binocular.

Abreviaturas institucionales. MML-PV, Museo Municipal de Lamarque, Paleontología de Vertebrados, Río Negro, Argentina; MCF-PVPH, Museo Carmen Funes, Paleontología de Vertebrados, Plaza Huinca, Neuquén, Argentina.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Los afloramientos de donde provienen las cáscaras estudiadas corresponden a la Formación Allen, de edad Campaniano–Maastrichtiano (Andreis *et al.*, 1974). En la región de Salitral de Santa Rosa, próxima al poblado de Bajo Santa Rosa, y en las inmediaciones de la Estancia “El Palenque”, el espesor total estimado para la Formación Allen es de 70 m (Hugo y Leanza, 2001). En esta área se reconocen sólo dos subunidades de las tres observadas en otros puntos (Salgado *et al.*, 2007). La subunidad inferior preserva restos de vertebrados y en ella fueron registrados cinco niveles con huevos. Dicha subunidad se relaciona con un ambiente lagunar salobre supramareal, asociado a arenas eólicas (dunas) y depósitos de ríos efímeros (Salgado, *op. cit.*). Litológicamente, estos afloramientos están compuestos por areniscas y limonitas friables verdosas blanquecinas y conglomerados clasto soportados. Además, en estos estratos se puede encontrar abundante madera silicificada. Todos los materiales estudiados en este trabajo provienen de esta subunidad. La subunidad superior, por su parte, se caracteriza por un incremento en el contenido de pelitas verdes y, en forma subordinada, capas delgadas de areniscas y escasos niveles de yeso y caliza. Las aso-

Figura 1. Sección radial de cáscaras de faveoololítidos y megaloolítidos mostrando las alteraciones diagenéticas bajo catodoluminiscencia / radial thin section of faveoololithid and megalolithid eggshells. **1–2**, MML-PV 18, **1**, microestructura de la cáscara (MLP) / microstructure of shell shown under polarized light (PLM); **2**, las flechas señalan la primer camada cementante en color anaranjado y la segunda camada cementante en color amarillo (CL) / arrows show the first (orange) and second (yellow) layers (CL); **3–4**, MML-PV 34, cáscara de faveoololítido con ornamentación heterogénea con roseta. Radialmente, se observa la gran unidad de cáscara. La flecha indica la fina camada cementante depositada homogéneamente en su superficie / faveoololithid eggshell showing heterogeneous rosette ornamentation. Radially, the strong eggshell unity is observed. Arrow indicates the thin cementing layer deposited homogeneously on its surface; **5–6**, MML-PV 40, sección radial que muestra bajo CL las diferentes capas cementantes depositadas en la superficie de la unidad de cáscara original / radial section under CL showing the different cementing layers deposited on surface of the original eggshell unit; **7–8**, MML-PV 447, sección radial de una cáscara doble del tipo megaloolítido. La flecha indica la camada cementante que se encuentra entre las dos capas / radial section of a multilayered megalolithid eggshell. Arrow indicates the cementing layer between the eggshells.

ciaciones vegetales fósiles de palmeras, coníferas y cicadales sugieren condiciones de clima templado y cálido sin grandes diferencias estacionales (Hugo y Leanza, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales estudiados fueron colectados en el área de Salitral de Santa Rosa (Río Negro), en dos campañas realizadas en octubre de 2003 y diciembre de 2006.

El primer paso fue someter las cáscaras a un lavado con ultrasonido, posteriormente fueron observadas con lupa binocular Stemi SV6 Zeiss, con aumentos de x7, x10 y x15 para el estudio de los macrocaracteres. En el caso de los microcaracteres se utilizó un PLM con y sin analizador 4x y x10 y un SEM Zeiss Axioplan.

Se confeccionaron cortes delgados de dieciséis (16) muestras de cáscaras, que fueron analizadas mediante estudios petrográficos estándar y catodoluminiscencia (CL), con el fin de determinar las características de la diagénesis actuante. Los cortes delgados de las cáscaras se rebajaron a 30 micrones para petrografía estándar y a menos de 15 micrones para catodoluminiscencia. Luego se expusieron las muestras a los rayos catódicos obteniendo de esta forma una luminiscencia particular, con una longitud de onda característica y diagnóstica para cada elemento químico analizado.

Para los análisis de catodoluminiscencia, se utilizó un microscopio de Polarización Nikon Optiphot, y un equipo Technosyn MKIII (CiTL) de catodoluminiscencia por cátodo frío (vacío sostenido entre 0,04 y 0,01 torr; corriente utilizada entre 14 y 19 Kv y tensión apropiada: 460 a 580 microamperes), y para las fotografías una cámara digital Nikon 8,1 Mpx. Se tomó como elemento indicador de una alta respuesta ante la CL al Mn^{2+} , que otorga a la cementación resultante una coloración amarillenta de mediana respuesta. La cementación carbonática, de coloraciones anaranjadas, posee bajo tenor en Mn^{2+} y en consecuencia alto contenido en Fe^{2+} , siendo este último elemento un "inhibidor" de la luminiscencia, lo que otorga esa coloración anaranjada hasta oscura o casi no luminiscente.

Finalmente las muestras fueron observadas con SEM.

Materiales estudiados

Con lupa. Faveoololítidos: MML-PV 12 (Berthe II, *Egg level* 1), MML-PV 13 (Berthe II, *Egg level* 1), MML-PV 34 (Berthe V, *Egg level* 4), MML-PV 38 (Cerro Bonaparte, *Egg level* 2), MML-PV 39 (Berthe II *Egg level* 1), MML-PV 39 (Berthe V, *Egg level* 3), Megaloolítidos: MML-PV 22 (Berthe IV, *Egg level* 3); MML-PV 37 (Mansilla II, *Egg level* 3) (Salgado *et al.*, 2007).

Con SEM. Faveoololítidos: MML-PV 38 (Cerro Bonaparte, *Egg level* 2); MML-PV 39 (Berthe II, *Egg level* 1). Megaloolítidos: MML-PV 35 (García I, *Egg levels* 3 y 5); MML-PV 25 (Mansilla I, *Egg level* 3); MML-PV 22 (Berthe IV, *Egg level* 3) (ver Salgado *et al.*, 2007).

Con PLM y CL. Faveoololítidos: MML-PV 40 (Santos II, *Egg level* 2); MML-PV 448 (Santos II, *Egg level* 3); MML-PV 28 (Santos III, *Egg level* 3); MML-PV 23 (Berthe III *Egg level* 2); MML-PV 34 (Berthe V, *Egg level* 4); MML-PV 18, (Berthe VI, *Egg level* 4); MML-PV 7 (Cerro Bonaparte, *Egg level* 2); MML-PV 35, (García I, *Egg level* 3); MML-PV 32 (Santa Rosa, *Egg level* 3); MML-PV 43 (Berthe II, *Egg level* 1). Megaloolítidos: MML-PV 35, (García I, *Egg level* 5); MML-PV 37 (Mansilla II, *Egg level* 3); MML-PV 446 (Mansilla I, *Egg level* 3); MML-PV 447 (Mansilla I, *Egg level* 3); MML-PV 448 (Santos II, *Egg level* 3, huevo 8) (ver Salgado *et al.*, 2007).

RESULTADOS

Descripción microestructural de las cáscaras

Todas las cáscaras aquí descriptas presentan unidades con un crecimiento de tipo esferulítico regular de agregados de cristales tabulares, y poseen en la base un núcleo orgánico, entre los materiales analizados se distinguen dos tipos principales. El primero está caracterizado por presentar unidades que se desarrollan a partir de pequeñas esferulitas que crecen compitiendo entre sí, determinando largos y delgados prismas adyacentes, que forman una red de pared cristalina irregular y que rodean los conductos de los poros; este tipo es afín con el morfotipo estructural "filiesferulítico" (Mikhailov *et al.*, 1996). Se incluyen en esta categoría las cáscaras MML-PV 7 (Cerro Bonaparte, *Egg level* 2), MML-PV 12 (Berthe II, *Egg level* 1), MML-PV 13 (Berthe II, *Egg level* 1), MML-PV 18 (Berthe VI, *Egg level* 4), MML-PV 23 (Berthe III, *Egg level* 2), MML-PV 28 (Santos III, *Egg level* 3), MML-PV 32 (Santa Rosa, *Egg level* 3), MML-PV 34 (Berthe V, *Egg level* 4), MML-PV 38 (Cerro Bonaparte, *Egg level* 2), MML-PV 39 (Berthe II, *Egg level* 1), MML-PV 39 (Berthe V, *Egg level* 3), MML-PV 40 (Santos II, *Egg level* 2), MML-PV 448 (Santos II, *Egg level* 3), MML-PV 35 (García I, *Egg level* 3) y MML-PV 43 (Berthe II, *Egg level* 1) (Salgado *et al.*, 2007).

El segundo tipo está caracterizado por presentar elevaciones nodulares en su superficie, unidades de cáscara separadas en forma de abanico, y líneas de crecimiento arqueadas; es afín al morfotipo estructural "tuboesferulítico" (Mikhailov *et al.*, 1996). Se incluyen en esta categoría las cáscaras MML-

PV 22 (Berthe IV, *Egg level* 3), MML-PV 25 (Mansilla I, *Egg level* 3), MML-PV 35 (García I, *Egg level* 5), MML-PV 37 (Mansilla II, *Egg level* 3), MML-PV 446 (Mansilla I, *Egg level* 3) y MML-PV 447 (Mansilla I, *Egg level* 3).

Anormalidades en las cáscaras

Las cáscaras analizadas pueden ser divididas en dos categorías, de acuerdo a su ornamentación y a la presencia de una segunda cáscara.

Cáscaras con ornamentación heterogénea. Algunas cáscaras (MML-PV 22; MML-PV 34, MML- V 35, MML-PV 38, MML-PV 40) presentan ornamentación heterogénea (Fig. 2.1–2). A simple vista se observan nódulos de tamaño muy

variado, a diferencia de lo que se aprecia en las cáscaras normales, en donde los nódulos mantienen una forma y tamaño similares. Estos últimos miden menos de 1 mm de diámetro, 0,5 mm en promedio, en el tipo 1 (“filiesferulítico”) (Fig. 2.3), y 0,80 mm de diámetro y 0,70 mm en promedio, en el tipo 2 (“tuboesferulítico”) (Fig. 2.4). Ambos tipos presentan, en cuanto al diámetro de sus nódulos, un desvío estándar de 0,31 en cáscaras normales y de 0,47 en cáscaras anormales.

Dentro de las cáscaras con ornamentación heterogénea pueden distinguirse dos variedades: (1) cáscaras con roseta (sólo en el tipo 1) y (2) cáscaras sin roseta (en ambos tipos).

Cáscaras con ornamentación heterogénea con roseta (e.g., MML-PV 25; MML-PV 34; MML-PV 38). En ciertos sec-

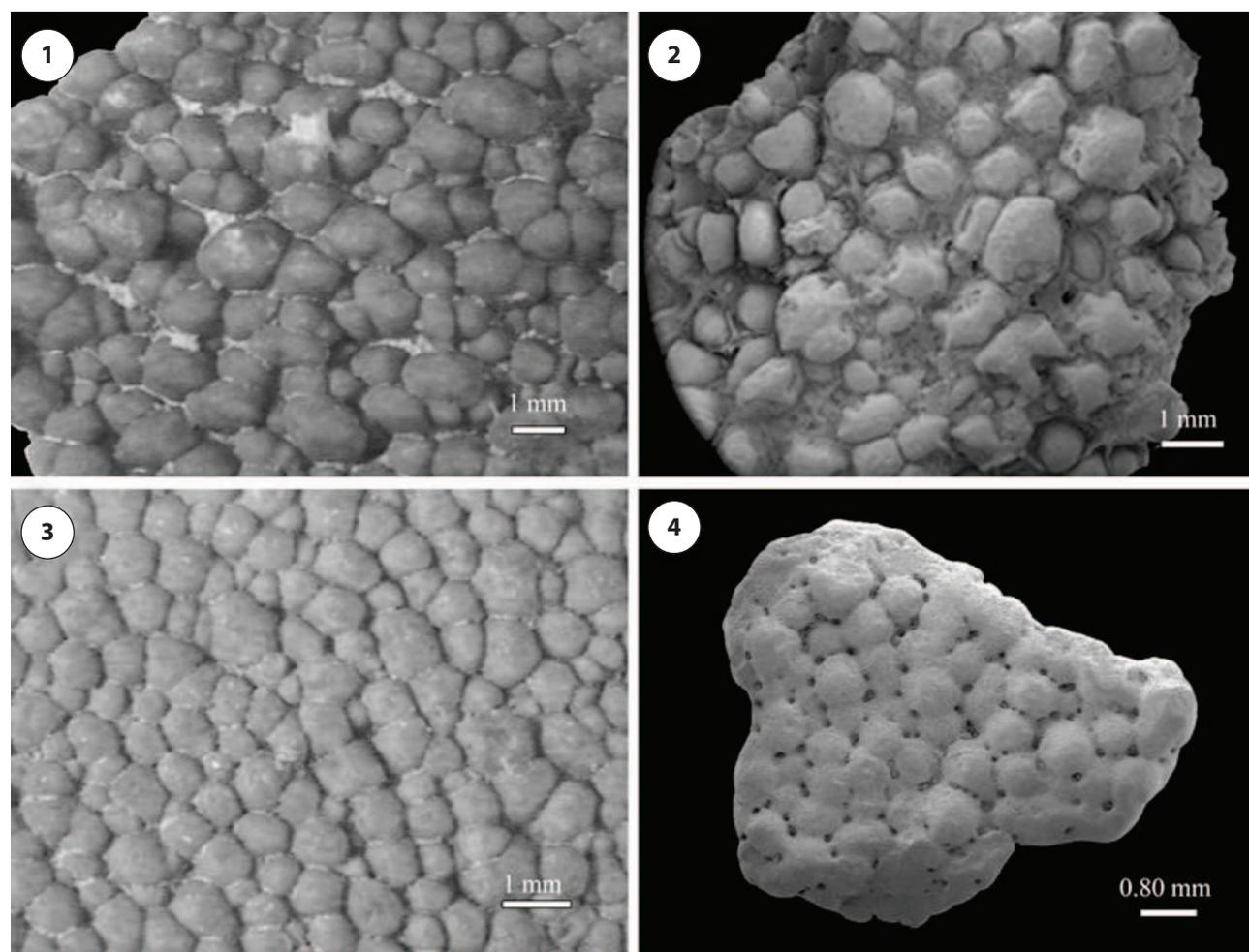


Figura 2. Superficie de cáscaras con ornamentación heterogénea sin roseta y cáscaras normales, de megaloolithidos y faveoolithidos / *eggshell surface with heterogeneous ornamentation lacking rosette and normal eggshells, of megaloolithids and faveoolithids*. **1**, MML-Pv 34, imagen con lupa en la que se observa la ornamentación heterogénea. Los nódulos se encuentran sobrecrecidos / *microscope image showing ornamentation. The heterogeneous nodules are overgrown*; **2**, MML-PV 22, fotografía de MEB, en donde se observan los nódulos sobrecrecidos y erosionados / *SEM Photo, showing overgrown and eroded nodules*; **3**, MML-PV 34, cáscara normal del tipo faveoolithido / *normal faveoolithid eggshell*; **4**, MML-PV 30, fotografía de MEB en donde se observa la superficie de una cáscara normal del tipo megaloolithido / *SEM photo, showing surface of a normal megaloolithid eggshell*.

tores de la superficie externa de estas cáscaras se observa que los nódulos se hallan desarrollados unos sobre otros, formando una estructura en forma de flor de aproximadamente 1 mm de diámetro, mientras que un solo nódulo normal mide entre 0,25 y 0,30 mm de diámetro, tal como se observa en la muestra MML-PV 38 bajo SEM (Fig. 3.1).

Cáscaras con ornamentación heterogénea sin roseta (e.g., MML-PV 7; MML-PV 23; MML-PV 32; MML-PV 37; MML-PV 40 H2; MML-PV 448). Ciertas cáscaras, observadas con LB, como MML-PV 34 (Fig. 2.1), exhiben nódulos superficiales sobrecrecidos que sobresalen de la superficie de la cáscara a diferentes alturas, dejando un espacio internodal irregular. En la muestra MML-PV 22 (Fig. 2.2) puede apreciarse que los nódulos se encuentran erosionados, presentando diferentes grados de desgaste. En ese material se ve claramente que los nódulos poseen diferentes formas, tamaños y alturas. La muestra MML-PV 23 presenta un mayor rango de tamaño nodal, con valores que van desde los 0,32 mm a 1,50 mm de diámetro y 6,04 mm de espesor, al ser comparada con cáscaras de ornamentación “normal” o “regular”, por ejemplo MML-PV 34 (tipo 1), cuyo espesor es de 6,04 mm y en donde los tamaños de los nódulos varían de 0,32 a 0,80 mm (Fig. 2.1, 2.3). La muestra MML-PV 34 (tipo 2) presenta nódulos de mayor tamaño, con un diámetro medio de 1,5 mm, y una moda de 1,79. El espesor es de 4,04 mm.

Cáscaras dobles. Se identificaron dos cáscaras dobles (MML-PV 446 y MML-PV 447), las que se describen a continuación.

MML-PV 446: Con SEM se observó que el espesor total de la cáscara es de 2,5 mm, de los cuales a la interna le corresponden 1,5 mm y a la externa 1 mm; ambas cáscaras se encuentran superpuestas. Bajo MLP se comprobó que ambas cáscaras son del tipo 2 (“tuboesferulítico”). La cáscara interna posee la unidad de cáscara en forma de abanico, se observa la base de la mamila y en su superficie externa se observan los nódulos, a diferencia de la cáscara externa, que es más fina y no presenta la base de las mamilas. La cáscara externa copia con su base la superficie nodular de la cáscara interna; su superficie presenta nódulos de igual diámetro que los de la capa interna, aunque algunos presentan algún grado de erosión. Se observan los nódulos superficiales con bordes angulosos.

MML-PV 447: Bajo MLP, con y sin analizador, puede observarse que esta muestra está formada por dos cáscaras superpuestas (Fig. 3.3), al igual que bajo SEM (Fig. 3.4). Las

cáscaras sumadas poseen un espesor de 2,79 mm; la interna posee un espesor de 1,89 mm y está compuesta de unidades de cáscara en forma de abanico, con las líneas de crecimiento de la calcita arqueadas en forma de domo. Con luz polarizada pueden verse las cuñas, mientras que en la superficie interna se observan los núcleos de crecimiento en la base de las mamilas, las que se encuentran muy bien preservadas. La cáscara externa mide 0,90 mm de espesor, y presenta en su superficie nódulos que miden 1 mm de diámetro. Lo más característico de esta capa es la falta de núcleos de crecimiento en la base de las unidades (Fig. 3.3). También puede observarse cómo la cáscara externa coincide con la interna: por cada unidad de la capa interna existe una única unidad por encima cubriéndola (Fig. 3.3). Esta muestra es similar a MML-PV 446; sólo varía el espesor de las cáscaras.

Análisis con Catodoluminiscencia

Cáscaras con ornamentación heterogénea. En el análisis de las muestras con ornamentación heterogénea con roseta, la muestra MML-PV 34 (Fig. 1.3–4) presenta un cemento de color anaranjado, con alto contenido en elementos activadores (Mn), los que se encuentran en concentraciones de 1800 a 3200 ppm Mn⁺⁺. Los cementos se diferencian claramente de las unidades de cáscara originales y están dispuestos de una manera homogénea recubriendo la superficie de cada una de ellas. En la muestra MML-PV 23 (Fig. 3.2), el cemento calcítico (la capa color claro que recubre las unidades y los conductos de los poros) arrojó valores intermedios a altos en elementos activadores (1600–2100 ppm en Mn⁺⁺), y por consiguiente un bajo tenor en Fe⁺⁺ (< 1000 ppm). En detalle se observa cómo la primera capa de cemento recubre las unidades de cáscara y los conductos de los poros, también se observa en el interior de las unidades una coloración más oscura, lo cual indica mayor contenido en Fe⁺⁺ (entre 1200 y 1500 ppm). Se puede observar, también, cómo los cementos afectados por disolución y recristalización remodelan en ciertos puntos la superficie de la cáscara. En el centro de la imagen se distingue la disolución del conducto de poro, alterando la microestructura original de la cáscara. La muestra, MML-PV 18, presenta dos capas cementantes que rellenan el conducto del poro (Fig. 1.1–2): a) una primera capa más antigua de color anaranjado pálido con CL (1200–1600 ppm en Mn⁺⁺), y otra capa posterior de mayor respuesta ante CL (1500–2000 ppm en Mn⁺⁺). En esta muestra se puede observar la alteración que afectó a los conductos de los poros que presentan contornos irregulares causados por disolución

y posterior relleno con los cementos. En la muestra MML-PV 40 se observa un alto contenido en sectores oscuros con Fe^{++} (1300–1600 ppm) y por encima una capa cementante de color anaranjado intenso con moderado contenido en Mn^{++} (1500–2000 ppm), observándose las capas de cemento que recubren el nódulo de la superficie externa (Fig. 1.5–6). La superficie externa de la cáscara presenta un pequeño grado de desgaste; esto se evidencia en la superficie de los nódulos que presentan bordes angulosos. En el interior de las unidades de cáscara puede observarse, bajo MLP con analizador, que la calcita se encuentra reemplazada por una solución de sílice amorfa precipitada que luego cristalizó a calcedonia.

Cáscaras dobles

En la muestra MML-PV 446, bajo MLP, es posible advertir que, en el interior de las unidades de ambas cáscaras, material original de las mismas fue reemplazado por sílice amorfa precipitada, que luego cristalizó a calcedonia. Con el análisis CL se observa que ambas cáscaras presentan la misma coloración, lo que indica igual reemplazo. A su vez, entre las unidades, en los conductos de los poros y entre las cáscaras se observa una capa de cemento de color anaranjado intenso. En la muestra MML-PV 447, puede observarse que las cáscaras presentan el mismo reemplazo con alto contenido en partes oscuras de Fe^{++} (alrededor de 1500–2000 ppm),

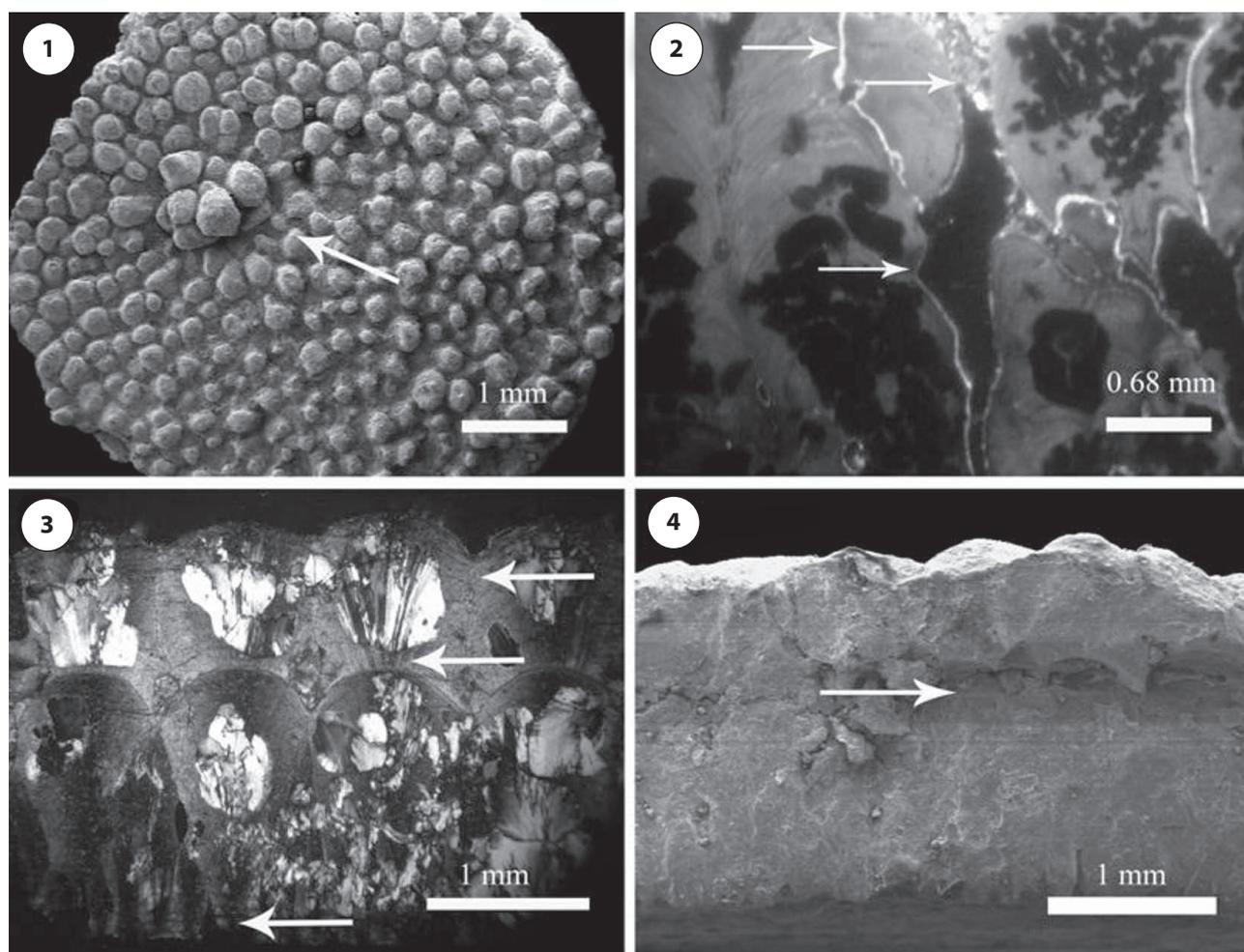


Figura 3. 1, Ornamentación superficial. La flecha señala una roseta (fotografía tomada con MEB) / *surficial ornamentation. Arrow showing rosette (SEM picture)*; 2, MML-PV 23, corte radial de la cáscara sometida a CL. Las dos flechas superiores señalan las capas cementantes de color claro. La flecha inferior señala parte de la disolución del canal-poro / *radial thin section under CL. Upper arrows indicate the two layers colored cementing layers. Lower arrow indicates part of the dissolution of the channel-pore*; 3, MML-PV 447, sección radial de una cáscara doble. Se ven claramente las dos cáscaras; la interna posee su unidad completa (la flecha inferior señala la mamilla), la externa se encuentra depositada por encima de la primera, sin las mamilas ni sus núcleos. La flecha del medio señala las cuñas y la falta de mamilla; la superior indica el límite entre dos unidades de cáscara / *radial thin section of multilayered eggshell. Two shells are clearly observed: the inner eggshell is entirely preserved. Lower arrow shows absence of the base of the mamilla. Upper arrow showing boundary between two eggshell units*; 4, MML-PV 447, fotografía de MEB. La flecha indica el límite entre las dos capas / *SEM photo, arrow indicates boundary between the two layers*

lo cual otorga baja o casi nula luminiscencia, lo que resalta el contraste con la capa de cemento. Se puede observar que la capa de cemento se encuentra ocupando los conductos de los poros y el área que se encuentra entre las cáscara.

DISCUSIÓN

Parataxonomía

Todas las cáscaras aquí descriptas pertenecen al tipo básico “dinosaurioide-esferulítico” (Mikhailov *et al.*, 1996) por presentar unidades con crecimiento de tipo esferulítico regular de agregados de cristales tabulares, y poseen en la base un núcleo orgánico. El tipo 1 corresponde al morfotipo “filiesferulítico” (Mikhailov *et al.*, 1996), caracterizado por presentar unidades que se desarrollan a partir de pequeñas esferulitas que crecen compitiendo entre sí, determinando largos y delgados prismas adyacentes, que forman una red de pared cristalina irregular y que rodean grandes canales de poros. Corresponden a esta categoría los huevos y cáscaras de la oofamilia Faveoolithidae (Zhao, 1979) (*Type 1* de Salgado *et al.*, 2007). El tipo 2 corresponde al morfotipo estructural “tuboseferulítico” (Mikhailov *et al.*, 1996) por presentar elevaciones nodulares en su superficie, unidades de cáscara separadas en forma de abanico, y líneas de crecimiento arqueadas. Corresponden a esta categoría las cáscaras y huevos de la oofamilia Megaloolithidae (Zhao, 1979) (*Types 2A y 2B* de Salgado *et al.*, 2007).

Patologías versus diagénesis

En cuanto a los análisis de catodoluminiscencia, los mismos nos permitieron discernir entre las estructuras originales de la cáscara y aquellas que son producto del proceso de fosilización, poniendo en evidencia que en algunas de las cáscaras estudiadas las anomalías son el resultado de un alto grado de diagénesis. Las cáscaras con ornamentación heterogénea sin roseta fueron descartadas como patológicas; ya que en estas cáscaras, la variación en el diámetro nodal se debe al depósito de capas cementantes sobre la superficie original de los nódulos. Powell (1985) describió como patológicos algunos fragmentos de cáscaras provenientes de Salitral Moreno y Salitral Ojo de Agua (Río Negro, Argentina), los cuales, al igual que las cáscaras con ornamentación heterogénea sin roseta de Salitral de Santa Rosa, presentan una textura superficial irregular y áspera, con nódulos de 1,5 mm de diámetro. Teniendo en cuenta sólo la descripción brindada por el mencionado autor para ese tipo de cáscara, no es posible confirmar que se trate de cáscaras patológicas. En este trabajo, la observación bajo CL de las cáscaras de

Santa Rosa permitió comprobar que la irregularidad de su superficie y las alteraciones de su microestructura se deben a los procesos de disolución y recristalización que remodelaron su superficie y cambiaron su configuración original.

El estudio con CL permitió, también, reconocer que las cáscaras con ornamentación heterogénea con roseta son patológicas. Tal como se ve en la Figura 1.3, existe un depósito homogéneo sobre toda la superficie de la roseta que recubre su relieve original, sin que pueda advertirse disolución o recristalización. Como ese depósito no modifica sustancialmente la superficie de la cáscara, las rosetas son interpretadas como el resultado de un crecimiento anormal, patológico en sentido amplio, de las unidades de cáscara. Este tipo de patología en huevos de dinosaurio no ha sido mencionado en la literatura con anterioridad a esta contribución. En raras ocasiones, ciertos cocodrilos actuales, específicamente yacarés, depositan más calcio de lo normal en la ornamentación de sus cáscaras, desconociéndose de qué modo afecta esto el normal desarrollo del huevo. En principio, el calcio extra podría fortalecer la cáscara, aunque también obstaculizar la eclosión (Simoncini, com. pers., 2009).

Las cáscaras dobles de megaloolitidos (tipo 2), registradas por primera vez en la Provincia de Río Negro, presentan similitudes y diferencias con las cáscaras dobles registradas en la localidad de Auca Mahuevo, en la Provincia de Neuquén. Las cáscaras dobles de Santa Rosa, poseen en común con la muestra MCF-PVPH 256 el hecho de presentar dos capas de diferente espesor, siendo la capa externa incompleta, por faltarle los núcleos de crecimiento de las unidades de cáscara. La muestra MCF-PVPH 255, en cambio, posee las dos capas completas, presentando cada una de las cáscaras igual grado de desarrollo (Jackson y Schmitt, 2008). No se han registrado en Santa Rosa cáscaras dobles similares a esta última. Cáscaras dobles de capas desiguales, una completa y otra incompleta, han sido registradas en otros tipos de cáscaras, como las atribuidas a hadrosaurios de Willow Creek, Formación Two Medicines (Jackson y Schmitt *op. cit.*). Las cáscaras dobles aquí analizadas, muestran cemento entre las dos cáscaras, el cual penetró por fracturas o por los mismos poros. En principio, esto podría interpretarse como el resultado tafonómico de la fusión por cemento de dos cáscaras distintas. Hirsch (2001) describió cáscaras dobles patológicas e indicó que la zona entre las dos capas es siempre altamente luminiscente, debido a que la membrana testácea orgánica es reemplazada por elementos con alto contenido de Mn⁺⁺ que penetran por los planos de fractura. Por lo tanto, en principio, entendemos que es muy probable que las cáscaras

dobles registradas en Salitral de Santa Rosa correspondan a verdaderas cáscaras patológicas.

Grado de diagénesis de las cáscaras analizadas

Se puede inferir que los procesos diagenéticos actuantes en las cáscaras estudiadas se produjeron en un contexto general de eodiagénesis, es decir, poco soterramiento y variaciones de temperatura no mayores al orden de los 70°C. Esto es, una sucesión de cambios mineralógicos y químicos debida a pequeñas variaciones con respecto a las condiciones normales de presión y temperatura en las cuales se formaron las cáscaras. Entre los procesos eodiagenéticos actuantes puede mencionarse a la cementación carbonática, la cual está presente especialmente en las cáscaras heterogéneas. Estas capas de cemento se disponen en dos capas bien distinguibles cuando las muestras son sometidas a catodoluminiscencia (CL), y dan como resultado distinta respuesta ante la excitación catódica (Marshall, 1988).

Resulta importante aclarar, que se toma al Mn^{++} como elemento indicador de una alta respuesta ante la CL. El Mn^{++} otorga a la cementación resultante una coloración amarillenta de mediana respuesta, en tanto que la cementación carbonática de coloraciones anaranjadas posee bajo tenor en Mn^{++} y, en consecuencia, un alto contenido en Fe^{++} , siendo este último elemento “inhibidor” de la luminiscencia y el que le otorga esa coloración anaranjada hasta oscura o casi no luminiscente.

En la observación directa del cemento presente en la muestra MML-Pv 18, se diferencia una primera capa con respuesta mediana a la CL, con contenidos promedios de 800–1200 ppm Mn^{++} y entre 1300–1600 ppm Fe^{++} (Fig. 1.2), por encima se observa la segunda capa de cemento precipitada (Fig. 1.2), que terminó de obliterar los conductos de los poros que habían quedado vacíos luego de la primera cementación, y que se diferencia de la anterior por dar una mayor respuesta a la CL, esto es, coloraciones notablemente más amarillas (con valores de contenidos promedios de 1400–1800 ppm Mn^{++} y entre 750–1000 ppm Fe^{++}). Se pudo determinar que ambas capas cementantes ingresaron a la estructura de la cáscara penetrando a través de fisuras y planos de debilidad, y por los poros que favorecieron el ingreso de la cementación. Esto indica que ambas capas fueron precipitadas en una etapa de eodiagénesis temprana.

Por último, y como resultado de un proceso de eodiagénesis tardía, se puede observar en las cáscaras (tanto dobles como heterogéneas) ciertos reemplazos en sectores de las

mismas que fueron disueltos en una primera etapa y luego reemplazados por la recristalización de calcedonia, lo cual evidencia un súbito cambio en el pH del medio. La recristalización de calcedonia se observa en la parte interna de las unidades de la cáscara.

En resumen, tanto la cementación carbonática como la recristalización silíceas son producto de diagénesis temprana (eodiagénesis), denotado por introducción de soluciones de mezclas de aguas (aguas freáticas), lo cual habilita un inmediato intercambio catiónico y precipitación de productos resultantes (cemento carbonático y silíceo).

CONCLUSIONES

Los estudios de catodoluminiscencia realizados sobre las muestras colectadas en Salitral de Santa Rosa permitieron discernir entre cáscaras con alteraciones diagenéticas y patológicas. La catodoluminiscencia es una técnica de petrografía de alta resolución, que presenta muchas ventajas a la hora de estudiar materiales fósiles, pues denota la deposición cronológica de cementos sobre el objeto, y permite observar las disoluciones que han sufrido las cáscaras. Cuando nos referimos a las cáscaras alteradas diagenéticamente, podemos establecer con claridad que son aquellas descritas como “cáscaras con ornamentación heterogénea sin roseta”. Dichas cáscaras presentan en su superficie varias capas de cementos con diferentes características, las cuales se encuentran depositadas sobre la ornamentación superficial modificando el tamaño original de los nódulos. Asimismo, se observan en estas cáscaras áreas que han sufrido disolución. Las alteraciones diagenéticas se encuentran presentes en ambos tipos de cáscaras estudiadas: Faveoolithidos y Megalolithidos.

En relación a las cáscaras patológicas, la CL permitió observar que las rosetas localizadas en la superficie externa eran originales de la cáscara; por otra parte, se comprobó que las citadas estructuras son naturales y exclusivas de las cáscaras del tipo 1 (faveoolithidos).

Por último, en referencia a las cáscaras dobles, las mismas pertenecen al tipo 2 (megalolithidos); dichas cáscaras se encuentran superpuestas, y merced a la CL se pueden observar los cementos que penetraron por los conductos de los poros y las fracturas de la cáscara. Entre las cáscaras se observa un color anaranjado intenso (alto contenido en Fe), lo cual correspondería al reemplazo de la membrana testácea (Hirsch, 2001).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen muy especialmente al Dr. Leonardo Salgado por la lectura crítica del manuscrito y el apoyo incondicional de siempre, a la Dra.

Claudia Magalhães Ribeiro por la lectura y su visión detallada del manuscrito. A los doctores Teresa Manera de Bianco y Bernat Vilá por las críticas constructivas que ayudaron a mejorar el mismo. Por otra parte deseamos agradecer a CONICET PIP 6455 y Agencia PICT 2006-00357 por financiar los trabajos de campo y laboratorio que fueron necesarios para realizar este trabajo. También deseamos agradecer a Alejandra Ruffini del laboratorio de mediana y alta complejidad del CRUB por el préstamo de los equipos y la buena predisposición.

BIBLIOGRAFÍA

- Andreis, R.R., Iníiguez Rodríguez, A.M., Lluch, J.J., y Sabio, D.A. 1974. Estudio sedimentológico de las formaciones del Cretácico superior del área del Lago Pellegrini (Provincia de Río Negro, República Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 29: 85–104.
- Bonaparte, J.E. 1987. The Late Cretaceous fauna of Los Alamitos, Patagonia, Argentina. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales* 3: 103–179.
- Bonaparte, J.F., Franchi, M.R., Powell, J.E. y Sepúlveda, E.C. 1984. La Formación Los Alamitos (Campaniano–Maastrichtiano) del sudoeste de Río Negro, con descripción de *Kritosaurus australis* nov. sp. (Hadrosauridae). Significación paleobiogeográfica de los vertebrados. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39: 284–299.
- Coria, R.A. 2001. A new theropod from the Late Cretaceous of Patagonia. En: D.H. Tanke y K. Carpenter (Eds.), *Mesozoic Vertebrate Life*, Indiana University Press, Bloomington, p. 3–9.
- Coria, R.A., Salgado, L. 2005. Last Patagonian non-avian theropods. En: K. Carpenter (Eds.), *The Carnivorous Dinosaurs*, Indiana University Press, Bloomington, p. 153–160.
- Erben, H.K. 1970. Ultrastrukturen und mineralisation rezenter und fossiler Eischalen bei Vögeln u. Reptilien. *Biom mineralisation* 1: 2–34.
- Erben, H.K., Hoefs, J. y Wedepohl, K.H. 1979. Paleobiological and isotopic studies of eggshells from a declining dinosaur species. *Paleobiology* 5: 380–414.
- Ewert, M.A., Firth, S.J., y Nelson, C.E. 1984. Normal and multiple eggshells in batagurine turtles and their implications for dinosaurs and other reptils. *Canadian Journal of Zoology* 62: 1834–1841.
- Frenguelli, J. 1951. Un huevo fósil del Rocanense. *Asociación Geológica Argentina* 6: 108–112.
- Hirsch, K.F. 2001. Pathological Amniote Eggshell – Fossil and Modern. En: D.H. Take y K. Carpenter (Eds.), *"Mesozoic Vertebrate Life", New research inspired by the Paleontology of Philip J. Currie*, Indiana University Press, Bloomington, p. 378–392.
- Hugo, C.A y Leanza, H.A. 2001. Hoja Geológica 3966-III Villa Regina. *Boletín Segemar* 309: 1–58.
- Jackson, F.D., Garrido, A., Schmitt, J.G., Chiappe, L.M., Dingus, L. y Loop, D.B. 2004. Abnormal, multilayered Titanosaur (Dinosauria: Sauropoda) eggs from in situ clutches at the Auca Mahuevo locality, Neuquén province, Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology* 24: 913–922.
- Jackson, F.D. y Schmitt, J.G. 2008. Recognition of vertebrate egg abnormalities in the Upper Cretaceous fossil record. *Cretaceous Research* 29: 27–39.
- Jackson, F.D. y Varricchio, D.J. 2003. Abnormal, multilayered eggshell in birds: implications for Dinosaur reproductive anatomy. *Journal of Vertebrate Paleontology* 23: 699–702.
- Magalhães Ribeiro, C.M. 1997. [Descrição de caracteres morfológicos e estudo composicional de cascaras de ovo de dinossauros da Formação Allen (Cretáceo Superior), do Bajo de Santa Rosa, Provincia de Río Negro (Argentina)]. Tesis de Master, Universidade Federal do Río de Janeiro, 222 p. Inédito.]
- Manera de Bianco, T. 1996. Nueva localidad con nidos y huevos de dinosaurios (Titanosauridae) del Cretácico Superior, Cerro Blanco, Yamínúé, Río Negro, Argentina. *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial* 4: 59–67.
- Marshall, D.J. 1988. *Cathodoluminescence of Geological Materials*. Unwin Hyman (Ed.), Boston, 146 p.
- Mikhailov, K.E., Bray, E.S. y Hirsch, K.F. 1996. Parataxonomy of fossil egg remains (Vetervata): Principles and applications. *Journal of Vertebrate Paleontology* 16: 763–769.
- Mones, A. 1981. Nuevos elementos de la paleoherpetofauna del Uruguay (Crocodrilia y Dinosauria). 2º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, y I Latinoamericano de Paleontología (Buenos Aires), *Actas* 1: 265–274.
- Powell, J.E. 1985. Hallazgo de nidadas de huevos de dinosaurios (Sauropoda, Titanosauridae) del Cretácico Superior del Salitral Ojo de Agua, provincia de Río Negro. 2º Jornadas Argentinas de Vertebrados (San Miguel de Tucumán), *Resúmenes*, p. 15.
- Powell, J.E. 1992. Hallazgo de huevos asignables a dinosaurios titanosauridos (Saurischia, Sauropoda) de la Provincia de Río Negro, Argentina. *Acta Zoológica Lilloana* 41: 381–389.
- Romanoff, A.L. y Romanoff, A.J. 1949. *The Avian Egg*. Wiley and Stanley, New York, 918 p.
- Salgado, L. y Azpillicueta, C. 2000. Un nuevo saltasaurino (Sauropoda, Titanosauridae) de la provincia de Río Negro (Formación Allen, Cretácico Superior), Patagonia, Argentina. *Ameghiniana* 37: 259–264.
- Salgado, L., Coria, R.A., Magalhães Ribeiro, C.M., Garrido A., Rogers, R., Simón, M.E., Arcucci, A.B., Curry Rogers, K., Carabajal, A.P., Apesteguía, S., Fernández, M., García, R.A. y Talevi, M. 2007. Upper Cretaceous dinosaur nesting sites of Río Negro (Salitral Ojo de Agua and Salinas de Trapalcó–Salitral de Santa Rosa), northern Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research* 28: 392–404.
- Salgado, L., Coria, R.A., Arcucci, A.B. y Chiappe, L.M. 2009a. Restos de Alvarezsauridae (Theropoda, Coelurosauria) en la Formación Allen (Campaniano–Maastrichtiano), en Salitral Ojo de Agua, Provincia de Río Negro, Argentina. *Andean Geology* 36: 67–80.
- Salgado, L., Magalhães Ribeiro, C., García, R.A. y Fernández, M. 2009b. Late Cretaceous Cretaceous Megaloolithid eggs from Salitral de Santa Rosa (Río Negro, Patagonia, Argentina) inferences on the titanosaurian reproductive biology. *Ameghiniana* 46: 605–620.
- Zhao, Z. 1979. Progress in the research of dinosaur eggs. En: Institute of Vertebrate Palaeontology and Palaeoanthropology and Nanjing Institute of Geology and Palaeontology (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic Red Beds of South China*. Science Press, Beijing, p. 330–340.

Recibido: 1 de octubre de 2009

Aceptado: 8 de junio de 2010