



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
SISTEMÁTICA

DINOSAURIOS PERINATALES Y LA DIVERSIDAD DE OOTAXA DE
DINOSAURIOS DE LA FORMACIÓN EL GALLO: Y ALGUNAS INFERENCIAS
PALEOAMBIENTALES

TESIS

(POR ARTÍCULO CIENTÍFICO)

LATE CAMPANIAN DIVERSITY AND PALEOENVIRONMENT FROM FOSSIL
EGGSHELLS ASSEMBLAGES AND STABLE ISOTOPE COMPOSITIONS IN EL
GALLO FORMATION OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

JONATHAN SILVINO CABRERA HERNÁNDEZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARISOL MONTELLANO BALLESTEROS
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. PRIYADARSI DEBAJYOTI ROY
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM

DR. OSCAR FLORES VILLELA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., NOVIEMBRE, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
SISTEMÁTICA

DINOSAURIOS PERINATALES Y LA DIVERSIDAD DE OOTAXA DE
DINOSAURIOS DE LA FORMACIÓN EL GALLO: Y ALGUNAS INFERENCIAS
PALEOAMBIENTALES

TESIS

(POR ARTÍCULO CIENTÍFICO)

LATE CAMPANIAN DIVERSITY AND PALEOENVIRONMENT FROM FOSSIL
EGGSHELLS ASSEMBLAGES AND STABLE ISOTOPE COMPOSITIONS IN EL
GALLO FORMATION OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

JONATHAN SILVINO CABRERA HERNÁNDEZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARISOL MONTELLANO BALLESTEROS
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. PRIYADARSI DEBAJYOTI ROY
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM

DR. OSCAR FLORES VILLELA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2021

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ENTIDAD INSTITUTO DE GEOLOGÍA

OFICIO CPCB/1074/2021

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Biología Experimental y Biomedicina del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 13 de septiembre de 2021 se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Sistemática** del alumno **CABRERA HERNÁNDEZ JONATHAN SILVINO** con número de cuenta **520010332** por la modalidad de graduación de **tesis por artículo científico** titulado: **“Late Campanian diversity and paleoenvironment from fossil eggshells assemblages and stable isotope compositions in El Gallo Formation of Baja California, Mexico”**, que es producto del proyecto realizado en la maestría que lleva por título: **“DINOSAURIOS PERINATALES Y LA DIVERSIDAD DE OOTAXA DE DINOSAURIOS DE LA FORMACIÓN EL GALLO: Y ALGUNAS INFERENCIAS PALEOAMBIENTALES”**, ambos realizados bajo la dirección de la **DRA. MARISOL MONTELLANO BALLESTEROS**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: **DR. ANTONIO ALFREDO BUENO HERNÁNDEZ**
Vocal: **DRA. LAURA EUGENIA BERAMENDI OROSCO**
Vocal: **DRA. LETICIA MARGARITA OCHOA OCHOA**
Vocal: **DR. BRUNO MANUEL CHÁVEZ VERGARA**
Secretario: **DR. PRIYADARSI DEBAJYOTI ROY**

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 11 de noviembre de 2021

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad de realizar mis estudios de maestría, cuyos resultados se encuentran en el presenta trabajo.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado (CVU 1002773) durante el transcurso de estos dos años para poder llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Finalmente agradezco a los miembros de mi comité tutorial, Dra. Marisol Montellano Ballesteros, al Dr. Priyadarsi D. Roy y al Dr. Oscar Flores Villela, por todo el apoyo, consejos y enseñanzas brindadas a lo largo de la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Primeramente, agradezco a mis padres Silvino Cabrera Cortes y Martha Hernández Rosales y hermanos Erick Uriel e Idiana Belén Cabrera Hernández por todo su apoyo que me han brindado todo este tiempo, realmente muchas gracias, he podido llegar hasta aquí gracias a ustedes, los amo.

Agradezco a mi tutora la Dra. Marisol Montellano por aceptarme como estudiante de posgrado, así como guiarme y apoyado en la realización de este proyecto. Gracias por su tiempo, sus consejos, observaciones y sugerencias hechas durante el desarrollo de esta tesis.

Agradezco a mi comité tutorial el Dr. Oscar Flores y el Dr. Priyadarsi Roy por su tiempo y sugerencias para mejorar este proyecto. También le agradezco de una manera muy especial al Dr. Roy por todo su apoyo, consejos y enseñanzas para la realización del artículo científico resultado de este proyecto.

Agradezco a la técnica del Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido (ICMyL) M. en C. Laura Elena Gómez Lizarraga por la toma de imágenes MEB de las cáscaras fósiles. También agradezco al encargado del Taller de Laminación (IG) Mtro. Jaime Díaz Ortega por su apoyo en la preparación de láminas delgadas de cáscaras fósiles.

Agradezco al Maestro Rene Hernández Rivera por su tiempo, apoyo y enseñanzas durante todo el tiempo que llevo de conocerlo.

Agradezco a Nicole Gama Kwick y su familia por todo el cariño que me han brindado, así como su apoyo y bienvenida a su familia, muchas gracias por todo.

A mis grandes amigos Josué Marco Antonio Huerta Ruiz (Maico), Nayeli Rosales y José Raúl Alfaro (Pepe y familia) como a mi primo Ali Cervantes Hernández, les agradezco todas esas pláticas y momentos inolvidables que aliviaban el estrés del posgrado.

Un enorme agradecimiento a mis compañeros de comida Aurora Mendoza, Dalia García, Germán Guzmán y Francisco Peñaloza por todos esos momentos de filosofando durante la hora de comida, como también esas tardes y noches de películas y videojuego. Muchas gracias por todo el tiempo compartido.

Un enorme agradecimiento al maestro Angel Alejandro Ramírez, a Óliver Conde, al técnico Gerardo Álvarez, a María Luisa Chavarria y a todos mis compañeros del Laboratorio de Paleontología de Vertebrados, Ricardo (Dinoboy), Eduardo (Eddy), Emiliano, Ana, Kevin, Carlos, Paulina, Ehecatl y Andrea, por todo su apoyo y platicas tanto ñoñas como de la vida cotidiana, haciendo el trabajo del laboratorio bastante agradable.

También agradezco al Instituto de Geología por brindarme un espacio de trabajo y servicios académicos que me permitieron finalizar este proyecto.

Finalmente agradezco mi jurado: Dr. Antonio Alfredo Bueno Hernández, Dra. Laura Eugenia Beramendi Orosco, Dra. Leticia Margarita Ochoa Ochoa, Dr. Bruno Manuel Chávez Vergara y al Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy, por sus comentarios y sugerencias que ayudaron a mejorar este trabajo.

ÍNDICE:

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
I- <u>INTRODUCCIÓN</u>	5
1.1 Antecedentes	6
II- <u>OBJETIVOS</u>	8
2.1 Objetivos particulares	8
III- <u>ÁREA DE ESTUDIO</u>	8
IV- <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	10
4.1 Estudios de las cáscaras de huevo fósiles	10
4.2 Preparación y descripción de los dinosaurios perinatales	11
V- RESULTADOS	13
5.1 <u>Artículo: Cabrera-Hernández, J.S., Montellano-Ballesteros, M., Roy, P.D., En PUB. Late Campanian diversity and paleoenvironment from fossil eggshells assemblage and stable isotope compositions in El Gallo Formation of Baja California, Mexico. <i>Cretaceous Research</i>.</u>	14
5.2 <u>Descripción de los dinosaurios perinatales</u>	70
VI-DISCUSIÓN	90
6.1 <u>Discusión general del artículo</u>	90
6.2 <u>Cambios ontogenéticos de <i>Magnapaulia laticaudus</i></u>	94
VII- <u>CONCLUSIÓN</u>	104
VIII- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
<u>ANEXO I</u>	110

RESUMEN:

La formación El Gallo en el estado de Baja California, en el noroeste de México es uno de los pocos afloramientos continentales de la edad campaniana fuera del Mar Interior Occidental. Comprende una secuencia sedimentaria con fósiles de mamíferos, anfibios, tortugas, lagartos, cocodrilos y dinosaurios. Recientemente, se recolectaron restos fósiles de cáscaras de huevo y hadrosaurios perinatales en diferentes sitios, incluido el primer nido con al menos un huevo y esqueletos parciales de, al menos, dos individuos en esta formación. Las microestructuras de las cáscaras de huevo recuperadas se atribuyen a un ornitópodo (ootaxon *Spheroolithus*), nueve dinosaurios terópodos (ootaxones *Prismatoolithus*, *Spheruprismatoolithus*, dos Tubercuoolithidae, *Continuoolithus*, *Tristraguloolithus*, *Dispersituberoolithus*, *Styloolithus* y un ave enantiornithe), una a un cocodrilo y otra a un geco. Algunas de las cáscaras de huevo están asociadas al registro osteológico, pero otras revelan la presencia de otros terópodos de pequeño tamaño, como la primera evidencia de aves enantiornites. Las cáscaras de huevo atribuidas a geco también son nuevas en la formación. La composición isotópica de carbono y oxígeno de las cáscaras de huevo de los ornitópodos difieren de las de los nódulos de carbonato, lo que indica una falta o una mínima influencia de la diagénesis. Los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{cáscarasdehuevo}}$ (-10.97 ‰ a -13.14 ‰) sugieren plantas C3 con $\delta^{13}\text{C}$ -27 ‰ a -29 ‰. $\delta^{18}\text{O}$ enriquecido en el agua ingerida en comparación con el agua meteórica inferida del $\delta^{18}\text{O}_{\text{cáscarasdehuevo}}$ indica condiciones de evaporación más cálidas. La estimación de la temperatura atmosférica entre 15.5-34.5 ° C (media: 21 ° C) a partir de las composiciones de isótopos de oxígeno tanto de los nódulos pedogénicos como de las cáscaras de huevo es congruente con la temperatura propuesta de la paleolatitud de esta formación.

La mayoría de los restos perinatales aislados solo pueden asignarse al nivel de familia o subfamilia. Uno de los húmeros aislados está casi completo y se identifica como perteneciente a Hadrosaurine debido a que su proporción entre el ancho de la cresta deltopectoral y el diámetro mínimo de la diáfisis del húmero es de 1.61. Los perinatales del nido están representados por varios elementos del cráneo como premaxilar, maxilar, dentarios, varios cuerpos vertebrales que carecen de arcos neurales y huesos apendiculares como escápulas, fémures y tibia. Debido a los caracteres presentes principalmente en el maxilar como el ángulo entre la región rostradorsal y el margen alveolar ventral, la

curvatura del margen dorsolateral de la región rostral de la plataforma premaxilar, el reborde prominente en el margen medial de la plataforma premaxilar, el número y ubicación de los forámenes, estos restos perinatales se identifican como *Magnapaulia laticaudus* que ha sido descrita previamente en la zona. Las diferencias morfológicas debido a la ontogenia observada en estos ejemplares con respecto al adulto son congruentes con la mayoría reportada previamente en otros hadrosaurios como *Maisaura peeblesorum* e *Hypacrosaurus stebingeri*. Estos ejemplares perinatales de *M. laticaudus* son el primer registro de un perinatal de lambeosaurino en México.

ABSTRACT

El Gallo formation in the Baja California state of northwest Mexico is one of the few continental outcrops of the Campanian age outside the Western Interior Basin. It comprises a sedimentary sequence with fossils of mammals, amphibians, turtles, lizards, crocodiles and dinosaurs. Recently, remains of fossil eggshells and perinatal hadrosaurs were collected from different sites including the first nest with at least one egg and partial skeletons of at least two individuals in this formation. Based on microstructures, the recovered eggshells are attributed to one ornithopod (oootaxon *Spheroolithus*), nine theropods dinosaurs (ootaxa *Prismatoolithus*, *Spherooprismatoolithus*, two Tubercuoolithidae, *Continuoolithus*, *Tristraguloolithus*, *Disperituberoolithus*, *Styloolithus* and enantiornith bird), one crocodile and a gecko. Some of them are associated to the osteological record, but others reveal the presence of small size theropods, such as the first evidence of enantiornith birds. The eggshell of gecko was also new in the formation. Carbon and oxygen isotope compositions of the ornithopod eggshells differ from that of the carbonate nodules, indicating lack or minimal influence of diagenesis. $\delta^{13}\text{C}_{\text{eggshell}}$ values (-10.97‰ to -13.14‰) suggest C3 plants with $\delta^{13}\text{C}$ -27 ‰ to -29 ‰. Enriched $\delta^{18}\text{O}$ in ingested water compared to the meteoric water inferred from the $\delta^{18}\text{O}_{\text{eggshell}}$ indicate warmer evaporate conditions. Our estimation of atmospheric temperature between 15.5-34.5 °C (mean: 21 °C) from oxygen isotope compositions of both pedogenic nodules as well as eggshells is congruent with paleolatitude of this formation.

Most of the perinatal remains can be only assigned to a family or subfamily level. One of the isolated humerus is almost complete and is identified to belong to Hadrosaurine due to its ratio of the width of the delta pectoral crest and the minimum diameter of the humerus shaft is 1.61. The perinatals from the nest are represented by several skull elements like premaxilla, maxilla, dentaries, several vertebrae bodies lacking neural arches and appendicular bones like scapulae, femurs and a tibia. Because of the characters present mainly in the maxilla like the angle between the rostradorsal region and the ventral alveolar margin, the curvature of the dorsolateral margin of the rostral region of the premaxillary shelf, the prominent flange on the medial margin of the premaxillary shelf, and the number and location of the foramina, these perinatal remains are identified to belong to

Magnapaulia laticaudus which has been previously described from the area. The differences in the morphology these specimens with regard to the adult are congruent with the most previously reported due to ontogeny in other hadrosaurs like *Maisaura peeblesorum* and *Hypacrosaurus stebingeri*. These *M. laticaudus* perinatal specimens are the first record of lambeosaurine perinatal in Mexico.

I. INTRODUCCIÓN

Los registros de cáscaras de huevos fósiles, huevos, nidos y dinosaurios perinatales han sido encontrados en todos los depósitos del Mesozoico, principalmente los que corresponden al Cretácico Tardío (Mikhailov, 1997; Carpenter, 1999). En Norteamérica son relativamente comunes en los estratos del Campaniano tardío, con aproximadamente 40 localidades portadoras de cáscaras de huevos (Tanaka *et al.*, 2011). De estas localidades, dos corresponden a México, una está en la Formación Cerro del Pueblo, al sur de Coahuila (Aguillón-Martínez *et al.*, 2004) y la otra pertenece a la formación El Gallo, Baja California (Rodríguez de la Rosa, 1998; Cabrera-Hernández *et al.*, 2018).

La mayoría de los trabajos sobre cáscaras de huevos fósiles se centran en la descripción de la morfología para desarrollar una clasificación, la cual está basada en diferentes características como la morfología general, forma del poro, grosor y principalmente su arreglo biocristalino (ver ANEXO I) (p. ej. Zelenitsky y Hills, 1997; Zelenitsky y Therrien, 2008; Jackson y Varricchio, 2010; Barta *et al.*, 2013; Xie *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2019). Todo esto con el fin de clasificar y asignarlos a una oofamilia, oogénero u ooespecies (ver Anexo I). Además, algunos de estos trabajos han ayudado a inferir una mayor diversidad de dinosaurios que la que está representada por los restos esqueléticos (Tanaka *et al.*, 2016; Zelenitsky *et al.*, 2017).

Otros estudios con huevos fósiles de dinosaurios incluyen algunos aspectos paleobiológicos como calcular el tiempo de incubación (Carpenter, 1999); reconocer los lugares y estrategias de anidación (Liang *et al.*, 2009; Hechenleitner *et al.*, 2016); establecer algunos comportamientos reproductivos, como el caso de *Maiasaura peeblesorum* que formaba colonias de anidación, además que tenían fidelidad a estos sitios (Horner, 1982); determinar la posible temperatura corporal de algunos grupos de dinosaurios (Eagle *et al.*, 2015); e inferir condiciones paleoambientales al analizar los isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ presente en la calcita (CaCO_3) de las cáscaras fósiles (Montaniri, 2018).

En cuanto a los restos de dinosaurios perinatales, éstos se han reportado en varios grupos de dinosaurios (e.g. Sauropodomorfa, Oviraptoridae, Troodontidae, Ankilosauria) (Norell *et*

al., 1994; Chiappe *et al.*, 1998; Varricchio *et al.*, 2002; Reisz *et al.*, 2010; Stanford *et al.*, 2011), siendo el grupo de hadrosaurios en el que mejor se conocen. Como ejemplos están el lambeosaurino *Hypacrosaurus stebingeri* (Horner y Currie, 1994), y los hadrosaurinos *Saurolophus angustirostris* (Dewaele *et al.*, 2015), *Edmontosaurus* sp. cf. *E. annectens* (Wosik *et al.*, 2018) y *M. peeblesorum* (Prieto-Márquez y Guenther, 2018). En este último hadrosaurino se ha logrado obtener la secuencia del desarrollo ontogenético (Horner, 1999; Horner *et al.*, 2000).

El descubrimiento y estudio de estos dinosaurios han permitido realizar estudios de heterocronía (Guenther, 2014), paleohistología (Horner *et al.*, 2000, 2001), biomecánica (Dilkes, 2001); además que se ha sugerido que los estadios ontogenéticos tempranos podrían proporcionar caracteres con información útil para inferencias sistemáticas y filogenéticas (Prieto-Márquez, 2011; Prieto-Márquez y Guenther, 2018).

1.1 Antecedentes

La formación El Gallo aflora dentro del área de El Rosario, Baja California. En esta área los primeros trabajos fueron de carácter geológico (Romo de Vivar-Martínez, 2011). Dentro de estos trabajos podemos mencionar el de Kilmer (1963), el cual estableció ocho formaciones para el área El Rosario, incluida El Gallo. Sin embargo, su propuesta no cumple con el Código de Nomenclatura Estratigráfica, impidiendo la formalización de los nombres.

Otros trabajos con este enfoque son los de Renne *et al.* (1991) y Fulford y Busby (1993). El primero utilizando datación radiométrica con $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en tobas de la formación El Gallo, obtuvieron edades que van de 74.87 ± 0.05 Ma a 73.59 ± 0.09 Ma, correspondiendo al Campaniano tardío. Después Fulford y Busby (1993) reconocieron cuatro distintas sucesiones litológicas, la cual inició con una sedimentación de llanura aluvial y terminó con una transgresión marina.

Los primeros estudios paleontológicos se realizaron durante las décadas de los años 60 y 70 del siglo XX por parte del personal del Museo de Historia Natural del Condado de Los

Ángeles, California tanto en la formación El Gallo como en la formación La Bocana Roja. Dentro de estas expediciones se colectaron vertebrados fósiles como lagartijas, aves, tortugas, cocodrilos mamíferos y dinosaurios (Morris, 1967, 1973; Lillegraven, 1972, 1976; Brodkord, 1976; Nydam, 1999).

Después de estos años los trabajos se suspendieron, con la excepción de las expediciones esporádicas del personal de la Universidad Autónoma de Baja California, a cargo del Dr. Francisco Aranda (García-Alcántara, 2016). Fue hasta el año 2004 cuando se reiniciaron los trabajos sistemáticos en el área El Rosario por la Dra. Marisol Montellano Ballesteros (UNAM) y el Dr. Gregory G. Wilson (Universidad de Washington, Seattle) con el objetivo de recolectar microvertebrados y comprobar las nuevas hipótesis del gradiente latitudinal propuesto por Lehman (1987, 1997, 2001) (Montellano-Ballesteros *et al.*, 2008; García-Alcántara, 2016).

Estas nuevas expediciones lograron aumentar el número de taxones, no solo de animales (Montellano-Ballesteros *et al.*, 2008; Romo de Vivar-Martínez, 2011; Peacock *et al.*, 2012; García-Alcántara, 2016; Romo de Vivar-Martínez *et al.*, 2016; Cabrera-Hernández *et al.*, 2018; Chavarria-Arellano *et al.*, 2018) sino también se obtuvo el primer trabajo botánico al reconocer la presencia de *Operculifructus* (Hayes *et al.* 2018). Además, en conjunto con estos trabajos se realizó la reconstrucción paleoambiental de un miembro de la formación El Gallo (El Disecado) por medio de estudios de sedimentología y análisis isotópicos de nódulos de carbonatos presentes en paleosuelos y de dientes de picos de patos; al igual que se dataron los zircones de una toba de caída “airfall” localizada en la zona inferior de la secuencia estudiada, sobre la cual obtuvo una edad mediante U-Pb de 74.706 ± 0.028 Ma (Fastovsky *et al.*, 2020).

Durante las prospecciones del 2014-2018 en la formación El Gallo, Baja California, se recolectaron cáscaras de huevo de dinosaurios tanto en superficie durante el trabajo de campo como en el laboratorio después del tamizado y recuperación bajo el microscopio estereoscópico; también se recolectaron varios huesos de dinosaurios perinatales aislados y

un nido con restos de dos perinatales de un lambeosaurino. Todo el material de cáscaras de huevo de dinosaurios y los restos de perinatales son objeto de estudio de este trabajo.

II. OBJETIVOS

Analizar la diversidad de ootaxones y de dinosaurios perinatales de la formación El Gallo y su relación con condiciones paleoambientales inferidas por medio de análisis isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en cáscaras de huevo.

2.1 Objetivos particulares

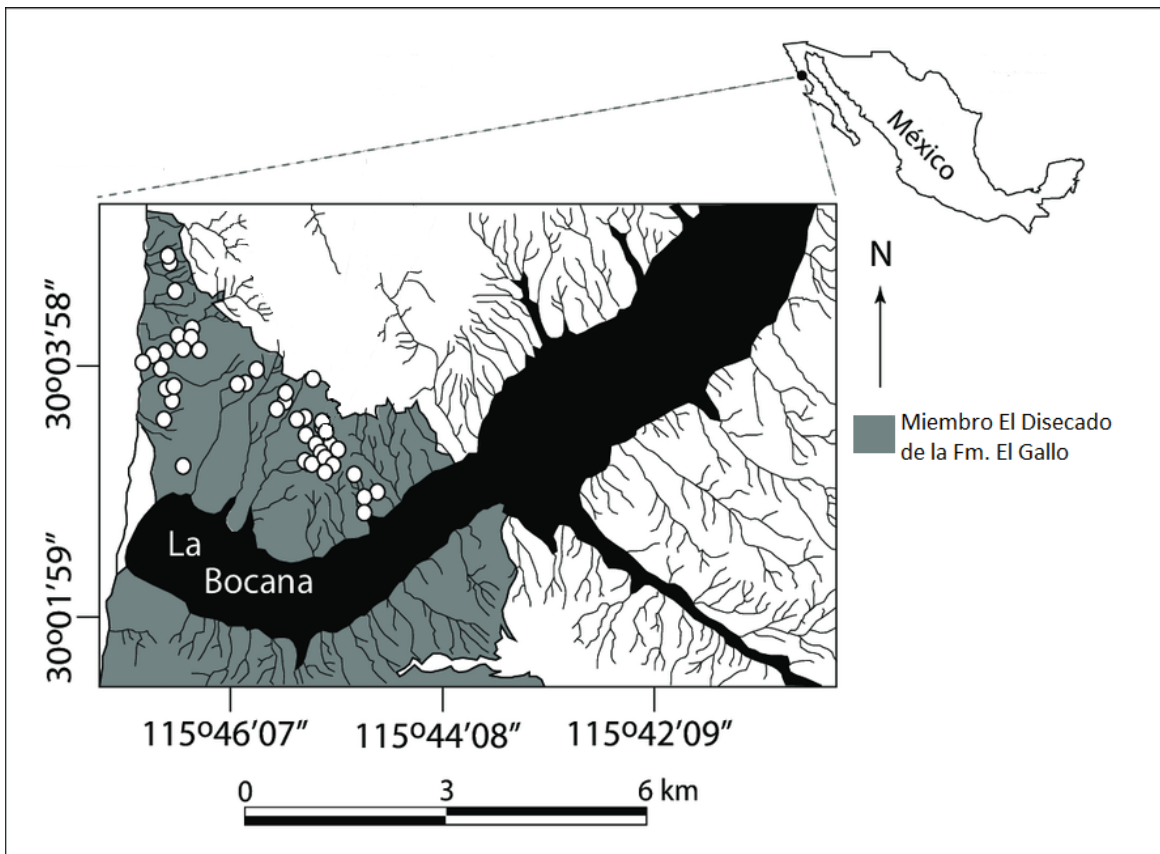
- Describir e identificar las cáscaras de huevo fósiles recolectadas en la formación El Gallo.
- Determinar si existe afinidad taxonómica de las cáscaras de huevo de dinosaurios con la presente basada en los restos de esqueletos identificados en la formación.
- Realizar análisis isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en cáscaras de la formación El Gallo para inferir algunas cuestiones paleoambientales, y que se compararán con los estudios realizados en nódulos de carbonato recolectados en la misma formación y descritos por Fastovsky *et al.* (2020).
- Describir e identificar los restos perinatales, así como identificar el estadio ontogenético.
- Comparar la diversidad de ootaxones en conjunto con los restos óseos de El Gallo con la descrita para otras localidades de Norte América.

III. ÁREA DE ESTUDIO

La formación El Gallo comprende una superficie de 16 km² localizada al noroeste del pueblo El Rosario, Baja California, México (Fig. 1; Kilmer, 1963). Tiene un espesor que va de los 500 a 1300 m y está compuesta por sedimentos continentales como conglomerado, arenisca, limolita, lutita y toba. Kilmer (1963) dividió la formación en tres miembros: La Escarpa, El Castillo y El Disecado; de esta última proviene el material fósil. La reconstrucción paleoambiental de este último miembro sugiere que fue depositada con episodios de alta energía formando canales de ríos trezados y depósitos de flujos de escombros, pero también presentaba estabilidad del paisaje, indicando una ciclicidad climática de humedad/aridez (Fastovsky *et al.*, 2020).

La edad de la formación se obtuvo usando los análisis de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en granos individuales (sanidina) de cuatro tobas, obteniendo una edad de $74.87 \pm 0.05 \text{ Ma} - 73.59 \pm 0.09 \text{ Ma}$ (Renne *et al.*, 1991). Esta edad fue corregida por Peacock *et al.* (2014) a $75.84 \pm 0.05 \text{ Ma} - 74.55 \pm 0.09 \text{ Ma}$; colocándolo en el Campaniano tardío. Recientemente, se obtuvo una edad de $74.706 \pm 0.028 \text{ Ma}$ obtenida de zircones de una ceniza (Fastovsky *et al.*, 2020).

El material fósil fue recuperado de diez micrositios de la formación El Gallo (Cascarita, Esqueleto, El Tortugario, Ros 51, Ok, Fiesta de Huesos, JAO 200, Escorpio, El cielo y Chayito), los cuales sus coordenadas se encuentran resguardadas en el catálogo de referencia geográfica del Museo; el material fósil se resguardará en la Colección Nacional de Paleontología, Museo Ma. Del Carmen Perrilliat, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.



IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente trabajo, se empleó el material depositado en el Laboratorio de Paleontología de Vertebrados del Instituto de Geología de la UNAM obtenido durante las prospecciones realizadas en los años 2014-2018. El material comprende cáscaras de huevos fósiles recolectados en seis sitios; restos de dinosaurios perinatales de ocho sitios; y un posible nido con restos de un lambeosaurino perinatal del sitio El Tortugario.

4.1 Estudio de las cáscaras de huevo fósiles

Este material se estudia con dos enfoques, parataxonómico y paleoambiental. Para la identificación y caracterización primero se describieron las estructuras cristalinas de las cáscaras. Para esto se observaron bajo microscopio estereoscópico y electrónico de barrido (MEB):

- *Microscopio estereoscópico*: Éste se utilizó para observar la ornamentación presente en la superficie externa de la cáscara, contar el número de poros, así como su forma y el diámetro que poseen.
- *Microscopio electrónico de Barrido (MEB)*: Con este equipo se observó la ultraestructura de la cáscara como la forma del canal del poro. Las cáscaras se colocaron en los portaobjetos con la superficie fracturada visible. Se recubrieron con una película delgada de oro en la ionizadora Jeol JFC-1100 para volver conductora a la muestra. Finalmente se tomaron las imágenes MEB con el equipo JEOL JSM6360LV en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Para la descripción de las cáscaras se utilizó la clasificación y descripción dada por Mikhailov (1991, 1997), Mikhailov *et al.* (1996) y Carpenter (1999) (Fig. 2) (ANEXO I). Las medidas se tomaron empleando un editor de imagen, GIMP 2.10.20, utilizando como base la escala proporcionada en las imágenes MEB.

En el estudio paleoambiental se analizaron los isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) presentes en algunas cáscaras de huevo fósiles de los sitios “Casarita (CA)”, “Esqueleto (E12)”, y “El Tortugario (CT)”. Pero primero se determinó el grado de alteración diagenética presentes en ellas. Para ambos análisis se eliminaron los carbonatos y

sedimentos presentes en la superficie de las cáscaras por medio de lijas, y se lavaron con agua destilada y alcohol isopropílico para remover cualquier sedimento fino pegado a las cáscaras.

Para evaluar la alteración diagenética se molieron con un mortero de ágata 2 gr de cáscaras del sitio Cascarita y el Tortugario y 1 gr de Esqueleto. Estas muestras se analizaron con Difracción de Rayos X (DRX) empleando el equipo Difractómetro SIEMENS D5000 y Fluorescencia de Rayos X (FRX) con el Espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X RIGAKU ZSX Primus II, en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología, UNAM.

Para el análisis de isótopos estables, se seleccionaron 11 muestras de ~1 mg: cinco de las localidades Cascarita y Tortugario y una de la localidad Esqueleto. Las cáscaras fueron molidas tanto por un mortero de ágata como de cerámica. Para la obtención de las proporciones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, las muestras fueron enviadas a la Universidad de Florida. Las mediciones isotópicas se realizaron en el Laboratorio Light Stable Isotope Mass Spectrometry en el Departamento de Geological Sciences, para lo cual se usó un dispositivo de preparación de carbonato Kiel III junto con un espectrómetro de masas de relación de isótopos Finningan-Mat 252. Cada lote de muestras se midió con ocho National Bureau of Standards (NSB) -19 ($\delta^{13}\text{C}=+1.95\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}=-2.20\text{‰}$) y NSB-18 ($\delta^{13}\text{C}=-5.01\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}=-23.01\text{‰}$) para su calibración. La precisión analítica es de $\pm 0.033\text{‰}$ (n= 4) para $\delta^{13}\text{C}$ y de $\pm 0.055\text{‰}$ (n= 4) para $\delta^{18}\text{O}$. Los resultados de los análisis isotópicos se reportan usando la notación “ δ ” que se refiere a $(R_{\text{muestra}}/R_{\text{estandar}} - 1) \times 1000\text{‰}$ en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, donde R es la proporción entre el isótopo pesado con el isótopo ligero de carbono y oxígeno respectivamente. Todos los resultados están reportados en per mil, relativo al Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) como estándar tanto para el carbono como para el oxígeno. Los datos obtenidos se compararon con los resultados obtenidos por Fastovsky *et al.* (2020).

4.2 Preparación y descripción de los dinosaurios perinatales

La preparación de los ejemplares aislados se realizó con el empleo de agujas odontológicas y percutores de mano como Micro Jack #4 y PaleoAro #1. Una vez eliminada la matriz se

agregó una capa delgada de endurecedor (alcohol poli-vinílico diluido en agua al 5%). La preparación del nido se realizó eliminando la matriz rocosa en capas para ir descubriendo los huesos y los posibles huevos. Conforme se fueron descubriendo los elementos óseos, éstos se dibujaron, fotografiaron y se determinó su orientación. La identificación y descripción de los restos perinatales se basó en literatura especializada como el trabajo de Prieto-Márquez (2008).

Abreviaturas: Natural History Museum of Los Angeles County, (LACM); partes por miles (ppm).

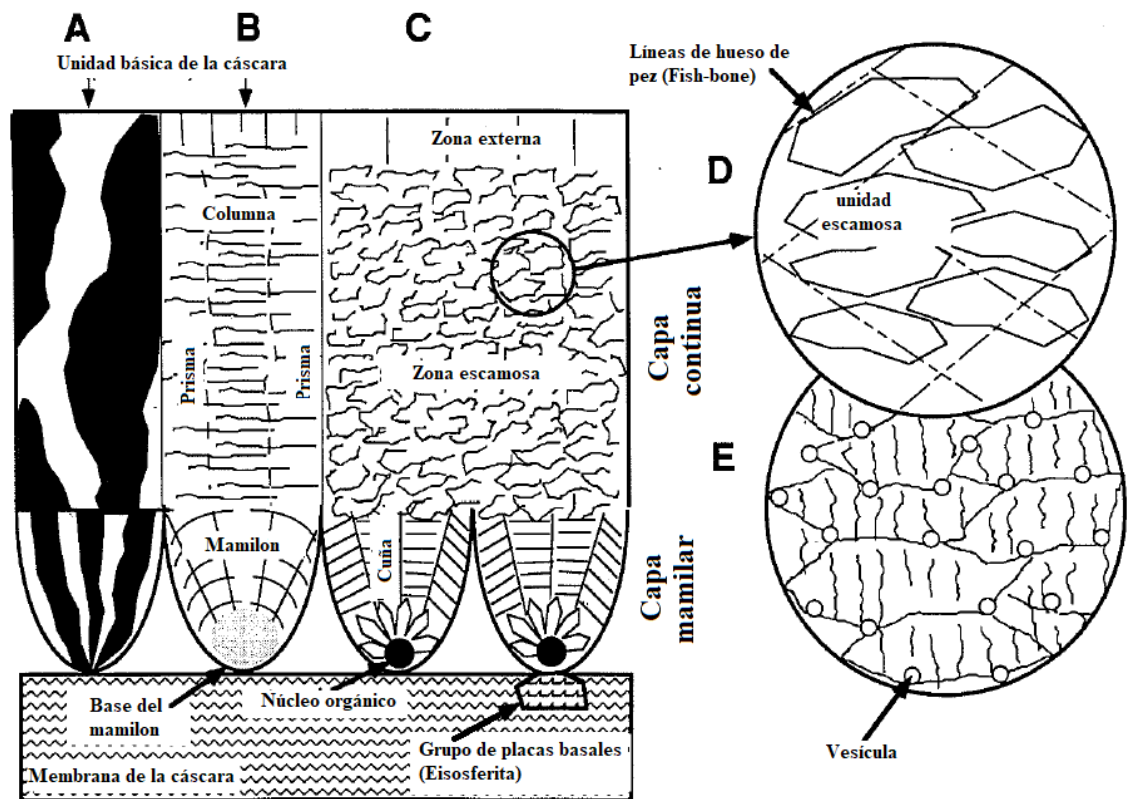


Figura 2: Terminología general de las estructuras de la cáscara de huevo basadas en la de un ave. Esquema dibujado de una vista real es una sección radial bajo diferentes microscopios: A, luz polarizada; B, luz normal; C, electrónico de barrido. D-E, ultraestructura escamosa en magnificación; D, patrón de hueso de pez, superpuesta sobre un patrón de la unidad de la cáscara escamosa; E, matriz orgánica que consiste en grandes membranas, finas fibrillas y vesículas (Tomada de Mikhailov, 1997).

V. RESULTADOS

Los resultados se dividen en cuatro secciones: Descripción e identificación de las cáscaras fósiles; análisis de Difracción y Fluorescencia de Rayos-X; análisis de los isótopos estables de carbono y oxígeno; y descripción e identificación de los restos óseos de los dinosaurios perinatales.

Las primeras tres secciones se utilizaron para generar el artículo:

Cabrera-Hernández, J.S., Montellano-Ballesteros, M., Roy, P.D., En PUB. Late Campanian diversity and paleoenvironment from fossil eggshells assemblage and stable isotope compositions in El Gallo Formation of Baja California, Mexico. *Cretaceous Research*.

El cual se incluye en este apartado.

Por otro lado, los resultados de los dinosaurios perinatales se presentan en su propio apartado en los resultados y en la de discusión. Todos los restos aislados de dinosaurios perinatales pertenecen a hadrosaurios. A la fecha el material perinatal incluye un proceso transversal de una vértebra cervical, dos fragmentos distales de húmeros, un húmero izquierdo casi completo, dos fémures casi completos y un fragmento proximal y otro distal de tibias izquierdas. El nido de lambeosaurino presenta la mayor cantidad de restos óseos los cuales provienen de al menos dos individuos diferentes. Dentro del material están incluidos varios huesos craneales, como huesos del esqueleto axial y apendicular.

5.1 Artículo:

Cretaceous Research

Late Campanian diversity and paleoenvironment from fossil eggshells assemblage and stable isotope composition in El Gallo Formation of Baja California, Mexico.

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Full Length Article
Keywords:	$\delta^{13}\text{C}$ eggshell; $\delta^{18}\text{O}$ eggshell; C3 plant; Theropod diversity; Late Cretaceous; North America
Corresponding Author:	Jonathan Silvino Cabrera Hernández, Masters student Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geología: Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geología Ciudad de México, MEXICO
First Author:	Jonathan Silvino Cabrera Hernández, Masters student
Order of Authors:	Jonathan Silvino Cabrera Hernández, Masters student Marisol Montellano-Ballesteros Priyadarsi D. Roy
Abstract:	<p>El Gallo formation in the Baja California state of northwest Mexico is one of the few continental outcrops of the Campanian age outside the Western Interior Basin. It comprises a sedimentary sequence with fossils of mammals, amphibians, turtles, lizards, crocodiles and dinosaurs. Based on microstructures, the recovered eggshells are attributed to one ornithopod (ootaxon Spheroolithus), nine theropods dinosaurs (ootaxa Prismaticoolithus, Spheroprismaticoolithus, two Tubercuoolithidae, Continuoolithus, Tristraguloolithus, Disperituberooolithus, Stylooolithus and enantiornithes bird), one crocodile and a gecko. Some of them are associated to the osteological record, but others reveal the presence of small size theropods, such as the first evidence of enantiornith birds. The eggshell of gecko was also new in the formation. Carbon and oxygen isotope compositions of the ornithopod eggshells differ from that of the pedogenic carbonate nodules, indicating lack or minimal influence of diagenesis. $\delta^{13}\text{C}$eggshell values (-10.97‰ to -13.14‰) suggest C3 plants with $\delta^{13}\text{C}$ between -27 ‰ and -29 ‰. Enriched $\delta^{18}\text{O}$ in ingested water compared to the meteoric water inferred from the $\delta^{18}\text{O}$eggshell indicate warmer evaporate conditions. Our estimation of atmospheric temperature between 15.5-34.5 °C (mean: 21 °C) from oxygen isotope compositions of both pedogenic nodules as well as eggshells is congruent with the paleolatitude of this formation.</p>
Suggested Reviewers:	Henry C. Fricke Colorado College hfricke@coloradocollege.edu Miguel Moreno-Azanza Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia: Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia mmazanza@fct.unl.pt Darla K. Zelenitsky University of Calgary dkzeleni@ucalgary.ca
Opposed Reviewers:	

Highlights

- The diversity of eggshells is greater than the osteological record.
- Eggshell's carbon isotopic values suggest humid conditions.
- Estimated temperature from $\delta^{18}\text{O}$ values is congruent with the paleolatitude position.

1 **Late Campanian diversity and paleoenvironment from fossil eggshells assemblage and**
2 **stable isotope composition in El Gallo Formation of Baja California, Mexico.**

3 Jonathan Silvino Cabrera-Hernández^{1*}, Marisol Montellano-Ballesteros², Priyadarsi D.
4 Roy²

5 ¹Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad
6 Universitaria, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, CP 04510, México.

7 ²Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria,
8 Alcaldía Coyoacan, Ciudad de México, CP 04510, México.

9

10 **Abstract**

11 El Gallo formation in the Baja California state of northwest Mexico is one of the few
12 continental outcrops of the Campanian age outside the Western Interior Basin. It comprises
13 a sedimentary sequence with fossils of mammals, amphibians, turtles, lizards, crocodiles
14 and dinosaurs. Based on microstructures, the recovered eggshells are attributed to one
15 ornithopod (ootaxon *Spheroolithus*), nine theropods dinosaurs (ootaxa *Prismatoolithus*,
16 *Spherooprismatoolithus*, two Tubercuoolithidae, *Continuoolithus*, *Tristraguloolithus*,
17 *Disperituberoolithus*, *Styloolithus* and enantiornithes bird), one crocodile and a gecko.
18 Some of them are associated to the osteological record, but others reveal the presence of
19 small size theropods, such as the first evidence of enantiornith birds. The eggshell of gecko
20 was also new in the formation. Carbon and oxygen isotope compositions of the ornithopod
21 eggshells differ from that of the pedogenic carbonate nodules, indicating lack or minimal
22 influence of diagenesis. $\delta^{13}\text{C}_{\text{eggshell}}$ values (-10.97‰ to -13.14‰) suggest C3 plants with
23 $\delta^{13}\text{C}$ between -27 ‰ and -29 ‰. Enriched $\delta^{18}\text{O}$ in ingested water compared to the meteoric
24 water inferred from the $\delta^{18}\text{O}_{\text{eggshell}}$ indicate warmer evaporate conditions. Our estimation of
25 atmospheric temperature between 15.5-34.5 °C (mean: 21 °C) from oxygen isotope
26 compositions of both pedogenic nodules as well as eggshells is congruent with the
27 paleolatitude of this formation.

28

29 **Keywords:** $\delta^{13}\text{C}_{\text{eggshell}}$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{eggshell}}$; C3 plant; Theropod diversity; Late Cretaceous; North
30 America.

31

32 **1. Introduction**

33 At global scale, most of the fossil eggshells, eggs, and nest are found in the Late Cretaceous
34 terrestrial deposits (Mikhailov, 1997; Carpenter, 1999). In North America, they are
35 relatively common in the Late Campanian strata with reports of approximately 40 eggshells
36 localities (Tanaka *et al.*, 2011). They have been studied through description and
37 classification, using different characteristics like general morphology, outer ornamentation,
38 shape of the pore, thickness and mainly its bio-crystalline arrangement (e.g. Zelenitsky and
39 Hills, 1997; Zelenitsky and Therrien, 2008; Jackson and Varricchio, 2010; Barta *et al.*,
40 2013; Xie *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2019). One interesting outcome was the revelation
41 of a greater dinosaur diversity than the information obtained just from skeletal remains
42 (Tanaka *et al.*, 2016; Zelenitsky *et al.*, 2017).

43 The fossil eggshells and stable isotopic composition of its biogenic calcite (CaCO_3) have
44 also been used to infer paleoenvironmental conditions (Montanari, 2018). Folinsbee *et al.*
45 (1970) and Schaffner and Swart (1991) showed that the food source and drinking water
46 controlled $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of the eggshells. Using both these paleoenvironmental tools, the
47 study of Sakar *et al.* (1991) revealed semi-arid environment in India (Lameta Formation)
48 and Cojan *et al.* (2003) inferred a change in the rate of evaporation in the Provence Basin of
49 France. Several sites in Romania (Hațeg Basin) had different environmental conditions,
50 with some warmer than others, even indicating a transition from semi-arid towards more
51 humid conditions (Bojar *et al.*, 2005, 2010). Dinosaur eggshells in the Nemegt Basin of the

52 Gobi Desert (Mongolia) suggested a transition from arid to a humid environment within the
53 same region during the Late Cretaceous (Montanari *et al.*, 2013).

54 In Mexico, the fossil eggshells were recovered from the Cerro del Pueblo Formation in
55 Coahuila (Aguillón-Martínez *et al.*, 2004) and the El Gallo formation in Baja California
56 (Rodríguez de la Rosa, 1998). The later formation is of Campanian age, and it is one of the
57 few deposits outside the Western Interior Basin that provided information about vertebrate
58 faunas from the Pacific coast of Laramidia (Morris, 1967; Peacock *et al.*, 2014). The
59 vertebrate fossils represent fish, amphibians, turtles, lizards, crocodiles, mammals and
60 dinosaurs (Morris, 1967, 1973, 1981; Lillegraven, 1972, 1976; Brodkord, 1976; Montellano
61 *et al.*, 2005, Montellano Ballesteros *et al.*, 2008; Romo de Vivar 2011; Wilson *et al.*, 2011;
62 Peacock *et al.*, 2014; García-Alcántara 2016; Romo de Vivar-Martínez *et al.*, 2016).

63 Additionally, Hayes *et al.* (2018) recognized fossil plants such as *Operculifructus*. We
64 report the first descriptions of an assemblage of fossil eggshells collected from six localities
65 within El Gallo formation during the field expeditions between 2014-2018, together with
66 the first isotopic geochemistry of the ornithopod dinosaurs' eggshells in order to infer some
67 of the paleoenvironmental features of the Late Campanian Stage of the Upper Cretaceous
68 Epoch of Baja California.

69

70 **2. Geological setting**

71 El Gallo formation covers a surface area of 16 km² and it occurs in an extensive sequence
72 of northeast dipping exposure at the north and west of the El Rosario town in the Baja
73 California state of northwest Mexico (Fig 1. Kilmer, 1963). The name of this formation has
74 not been formalized yet, but it has been useful to describe the general stratigraphic position
75 of fossils found in this region. Fulford and Busby (1993) recognized four different

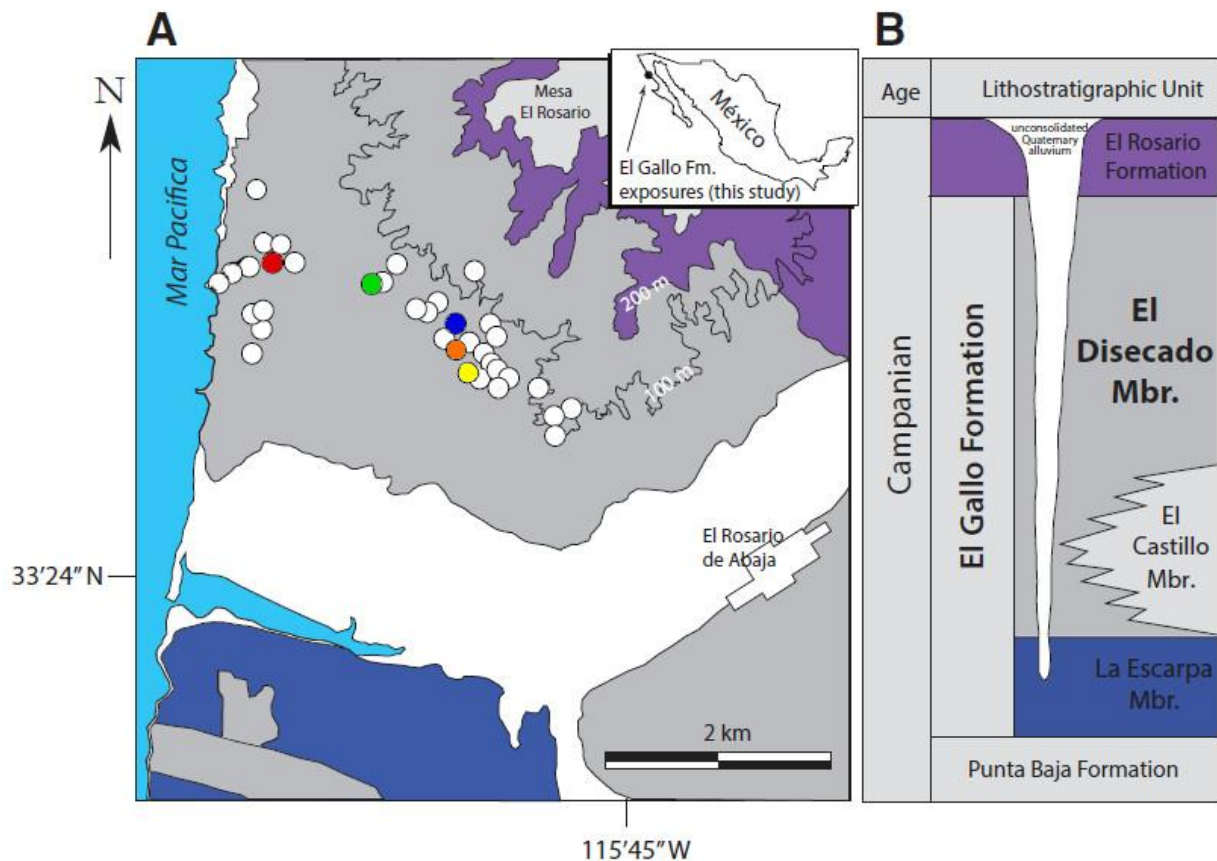


Figure 1. A. Simplified geologic maps of the fossiliferous localities of Cascarita (red), Esqueleto (green), El Tortugarío (orange), Fiesta de Huesos (blue) Ros-51 (yellow) with exposures of El Disecado member of the El Gallo formation; B. Lithostratigraphic relationships of the Campanian units, modified after Fulford and Busby (1993). The entire figure was modified from Fastovsky et al. (2020).

76 lithological successions, beginning with an alluvial plain sedimentation and ending with a
 77 marine transgression. El Gallo formation is divided into the La Escarpa, El Castillo and El
 78 Disecado members, with the last one being a fossiliferous unit (Kilmer 1963; Renne *et al.*
 79 1991). Its thickness ranges from 500 to 1300 m and it is composed of non-marine
 80 conglomerate, sandstone, siltstone, claystone and tuff. This formation is underlain by the
 81 non-marine La Bocana Roja Formation and overlain by the marine Rosario Formation.
 82 The El Disecado member includes three sedimentological facies, suggesting its deposition
 83 under high-energy and episodic events with salient features deriving from active river
 84 channels and sheet, as well as debris-flow deposits. The presence of compound paleosol
 85 horizons, containing Fe₂O₃ mottling in B horizons, cutans and calcium carbonate

86 concretions indicate landscape stability and wet/dry cyclicality in subsurface horizons,
87 attributable to the climate (Fastovsky *et al.*, 2020). Microvertebrates were recovered from
88 the GF (Grey facies) facies and the petrified trees and dinosaur bones were retrieved from
89 the yellow sandstone facies (Fastovsky *et al.*, 2020).

90 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analysis of individual sanidine grains from four tuffs constrains the El Gallo
91 formation between 73.59 ± 0.09 and 74.87 ± 0.05 Ma (Renne *et al.* 1991), and the
92 subsequently rectification (74.55 ± 0.09 to 75.84 ± 0.05 Ma) placed it in the Late
93 Campanian stage (Peacock *et al.*, 2014). Recently, the zircons of the ash from the El
94 Discado member provided a similar age of 74.706 ± 0.028 Ma (Fastovsky *et al.*, 2020).

95

96 **3. Material and methods**

97 The fossil eggshells were found at six microsites, i.e. Cascartia, Esqueleto, El Tortugario,
98 Ok, Fiesta de Huesos and Ros-51, during the field seasons of 2014-2018. They were
99 recovered on the surface and through screen washing. Presently, all of them are
100 permanently housed in the Colección Nacional de Paleontología, Museo Ma. del Carmen
101 Perrilliat, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX.,
102 Mexico. Eggshells from the site El Tortugario belong to a lambeosaurine nest. Mesh sizes
103 of 5 mm^2 and 1 mm^2 were used for the screen washing and the recovery of the eggshells
104 was done under a stereoscopic microscope. Fifty-six fragments were mounted, gold-coated
105 and viewed and photographed with a JEOL JSM-6360LV Scanning Electron Microscope.
106 The nomenclature follows Mikhailov (1991, 1997) and Mikhailov *et al.* (1996).

107

108 *3.1. Fossil eggshells geochemical composition*

109 We only selected ornithopod and lambeosaurine eggshells for this study. The ornithopod
110 corresponds to *Spheroolithus* from the localities of Cascarita and Esqueleto, and the
111 lambeosaurinae eggshells were collected from El Tortugario. Prior to the geochemical
112 analysis, both the diagenetically altered carbonates and sediments present on surface of the
113 selected eggshells were removed with sandpaper and washed with deionizer water and
114 isopropyl alcohol. These samples were grounded with an agate mortar and divided into two
115 subsets for the geochemical analysis. One part was used to determine the chemical
116 composition of the eggshells and evaluate the degree of diagenetic alteration present in the
117 eggshells, and the second part was used for stable isotope analysis.

118

119 First subset of the samples (2 g from Cascarita and El Tortugario, and 1 g from Esqueleto)
120 were analyzed in the SIEMENS D5000 X-Ray Diffraction and RIGAKU ZSX Primus II
121 Sequential X-Ray Fluorescence. The stable isotope compositions of carbon and oxygen
122 ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) were measured in 11 samples of ~ 1 g (five from Cascarita, five from El
123 Tortugario and one from Esqueleto) using a Kiel III carbonate preparation device coupled
124 with a Finningan-Mat 252 isotope ratio mass spectrometer. Each batch of samples was
125 measured along with eight National Bureau of Standards (NSB) -19 ($\delta^{13}\text{C} = + 1.95 \text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$
126 $= -2.20 \text{‰}$) and two NSB-18 ($\delta^{13}\text{C} = -5.01 \text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -23.01 \text{‰}$) for calibration. The
127 analytical precision is $\pm 0.033 \text{‰}$ ($n = 4$) for $\delta^{13}\text{C}$ and $\pm 0.055 \text{‰}$ ($n = 4$) for $\delta^{18}\text{O}$. Results
128 of the isotopic analyses are reported using the notation " δ " which refers to $(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}$
129 $- 1) \times 1000 \text{‰}$ in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$, where R is the ratio of the heavy and light isotopes of
130 carbon and oxygen, respectively. All the results relative to the Vienna Pee Dee Belemnite
131 (V-PDB) are compared with isotopic compositions of pedogenic nodules (samples EGF-1-
132 N1-2 and six EGF-2-N1 samples) obtained previously by Fastovsky *et al.* (2020).

133

134 **Abbreviations:** CA, Cascarita; CL, continuous layer; CT, El Tortugario; E12, Esqueleto;

135 EZ, external zone; ML, mammillary layer; SZ, squamatic zone.

136

137 **4. Systematic Paleontology**

138 **Oofamily** Spheroolithidae Zhao, 1979, emended Mikhailov, 1991

139 **Oogenus** *Spheroolithus* Zhao, 1979, emended Mikhailov, 1994a

140 *Studied material.* Thirty-one eggshell fragments.

141 *Description.* This eggshell type is the most abundant, with samples recovered in Cascarita,

142 Esqueleto and OK localities. None of them are complete. They are brown, dark brown to

143 black in color with thickness between 750-1275 μm with a mean of 1010 μm (Fig. 2).

144 Several eggshells have a secondary calcitic layer (Fig. 2A). The outer surface is smooth or

145 exhibits sagenotuberculata ornamentation representing 4-25% of the eggshell thickness.

146 Pore openings vary from round (50-300 μm), sub-round (75-250 μm X 10-375 μm), to

147 narrow slits (50-100 μm X 450-1000 μm) and they typically occur between or near the

148 ridges. Pore density varies between 8 - 38 per 25 mm^2 on the smooth eggshells and 10-29

149 per 25 mm^2 on the ornamentations. The pores canals are prolatocanalicate pore system

150 (Fig. 2B).

151 SEM images on radial view of the eggshells show a single calcitic layer. The fan-shaped

152 shell units are made of narrow wedges with tabular crystal, making a herringbone pattern in

153 some part through the eggshells thickness, characteristic of the radial-tabular ultrastructure

154 (Fig. 2C). The shells units interlock and get fused at their lateral boundaries at $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ of the

155 shell unit height, characteristic of the prolatospherulithic morphotype (Fig. 2D). Most of the

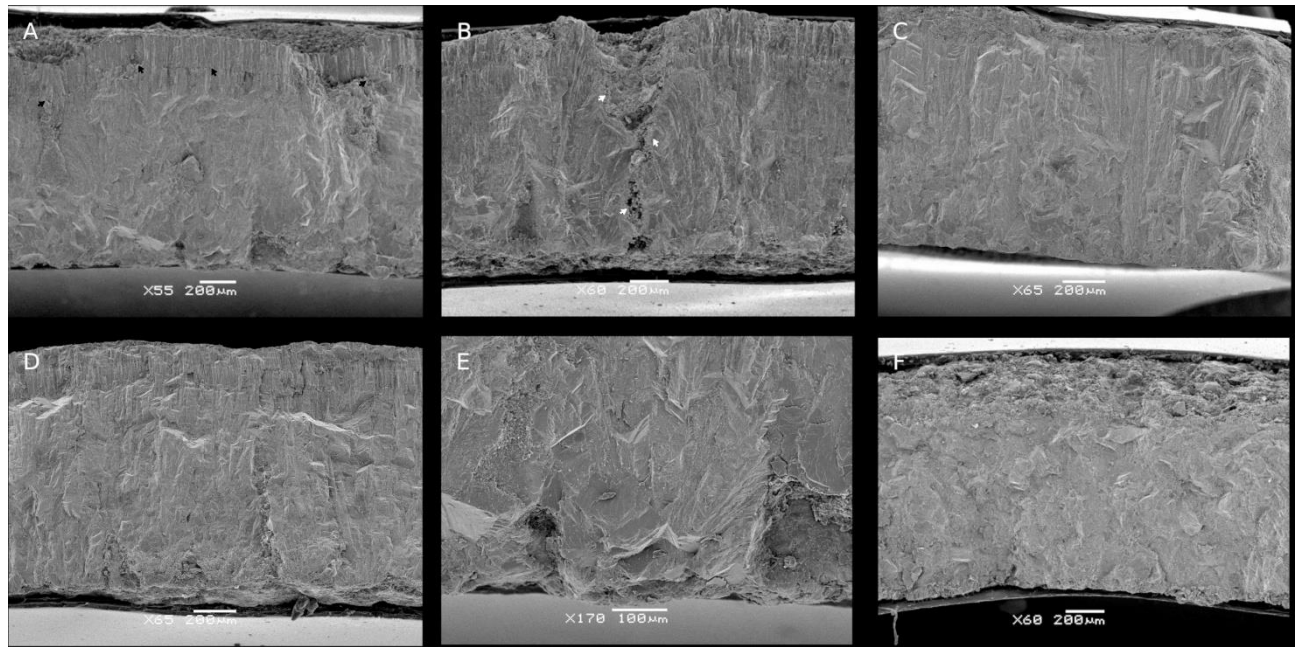


Figure 2. Spheroolithid eggshells from El Gallo formation. Spheroolithus oosp eggshells A-E and Lambeosaurine eggshell (T-6) F. A. Ca3-26, radial view under SEM. Note the secondary calcitic layer over the external surface of the eggshell (black arrows); B. Ca3-27, radial view under SEM. Note de irregular pore canal (white arrows); C. OK-2, radial view under SEM. Unit shells made of wedges crystals; D. Ca3-22, radial view under SEM. Observe the fusion of the unit shells, characteristic of the prolotospherulitic morphotype; E. Close up of white square in A. Note the base of the unit shell where the crystal radially grow; F. T-6, radial view under SEM. Note the crystallographic alteration of the eggshell.

156 specimens lack the mammillary core at the inner surface showing a width of 117 μm to 420
 157 μm in the basal portion of the shell units (Fig. 2E).

158

159 *Comparison.* In North-America, there is record of two oospecies of *Spheroolithus*;
 160 *Spheroolithus albertensis* from the Oldman Formation (Zelenitsky and Hills, 1997) and
 161 *Spheroolithus choteauensis* from the Two Medicine Formation (Jackson and Varricchio,
 162 2010). El Gallo *Spheroolithus* shared with *S. albertensis* the sagenotuberculata

163 ornamentation that is generally less than 200 μm in height. However, some of these
 164 eggshells are thinner than *S. albertensis* (940 – 1200 μm). It also exhibits two types of pore
 165 apertures. *Spheroolithus choteauensis* presents ramotuberculate ornamentation as an
 166 irregular boundary that delineates the spherulitic zone from the overlying horizontal

167 accretion lines, characters that are not present in these Baja California *Spheroolithus*
168 specimens.

169

170 *Taxonomic affinity.* *Spheroolithus* is attributed to hadrosaurs on the basis of the association
171 of eggshell fragments with hatchlings and in ovo embryos of the hadrosaur *Maiasaura*
172 *peeblesorum* (Horner and Makela, 1979; Carpenter, 1999; Horner, 1999), and the embryos
173 of *Saurolophus* cf. *S. angustirostris* (Dewaele *et al.*, 2015). But this ootaxon has been also
174 reported in the Upper Jurassic Morrison Formation of Utah (Zelenitsky *et al.*, 2000)
175 indicating that this ootaxon was laid also by non-hadrosaur ornithopods.

176

177 **Oofamily** Prismatoolithidae Hirsch, 1994

178 **Oogenus** *Prismatoolithus* Zhao and Li, 1993, *sensu* Zelenitsky and Hills, 1996

179 *Studied material.* Twelve eggshell fragments.

180 *Description.* These prismatic eggshells are only present in the locality Esqueleto, which is
181 the second most common type from El Gallo formation. The eggshells exhibit a smooth
182 surface with a thickness of 692 μm to 1000 μm (Fig. 3A-C). The pore opening is rounded
183 and slightly oval, with a diameter of 66-95 μm . The pore system is angusticanaliculate (Fig.
184 3A). Some eggshells exhibit a secondary calcitic extra layer.

185 The eggshells are angustiprismatic morphotype with two structural layers: the mammillary
186 and the continuous. The mammillary layer is formed of wedge crystals that radiate outward
187 from the base of the shell units and truncated by crystal growth from adjacent mammillae.
188 The wedge displays parallel laminae interpreted as tabular ultrastructure (Fig. 3B). The
189 bases of the mammillae are barrel-shaped with a width of 66 μm to 94 μm . The transition
190 between this layer and the continuous layer is gradual. The thickness ratio between the

191 mammillary and continuous layer (ML: CL) is 1:2.5 to 1:3. The continuous layer is made of
192 narrow prisms with tabular crystal which are hidden by an incipient squamatic
193 ultrastructure with vesicles (Fig. 3C).

194

195 *Comparison.* The only North American *Prismatoolithus* oospecies described are
196 *Prismatoolithus levis* from Alberta and Montana (Hirsch and Quinn, 1990; Zelenitsky and
197 Hills, 1996; Varricchio *et al.*, 2002), *Prismatoolithus jenseni* from Utah (Bray, 1999) and
198 *Prismatoolithus hirschi* from Montana (Jackson and Varricchio, 2010). All three oospecies
199 as the prismatic eggshell from Baja California have smooth outer surface, but *P. hirschi*
200 (500-560 μm) presents thinner eggshells as a different pattern of the squamatic texture; and
201 *P. levis* and *P. jenseni* have a ML:CL ratio of 1:6-8 and 1:6-7, respectively, that differs from
202 the 1:2.5-3 of the *Prismatoolithus* from El Gallo formation.

203

204 *Taxonomic affinity.* Since the discovery of embryos of the troodontid “*Troodon formosus*”
205 inside prismatoolithid eggs (oospecies *Prismatoolithus levis*) from the Two Medicine
206 Formation in Montana, USA, this type of eggs or eggshells are attributed to non-avian
207 theropods mainly of troodontids affinities (Varricchio *et al.*, 2002; Varricchio and Jackson,
208 2004; Jackson *et al.*, 2010).

209

210 **Oogenus** cf. *Spheruprismatoolithus* Bray, 1999

211 *Studied material.* One eggshell fragment.

212 *Description.* Only present in the locality Ros 51, this eggshell has a thickness of 370 μm to
213 476 μm (Fig. 3D). The outer surface has ramotuberculata ornamentation. No pore opening
214 was distinguished.

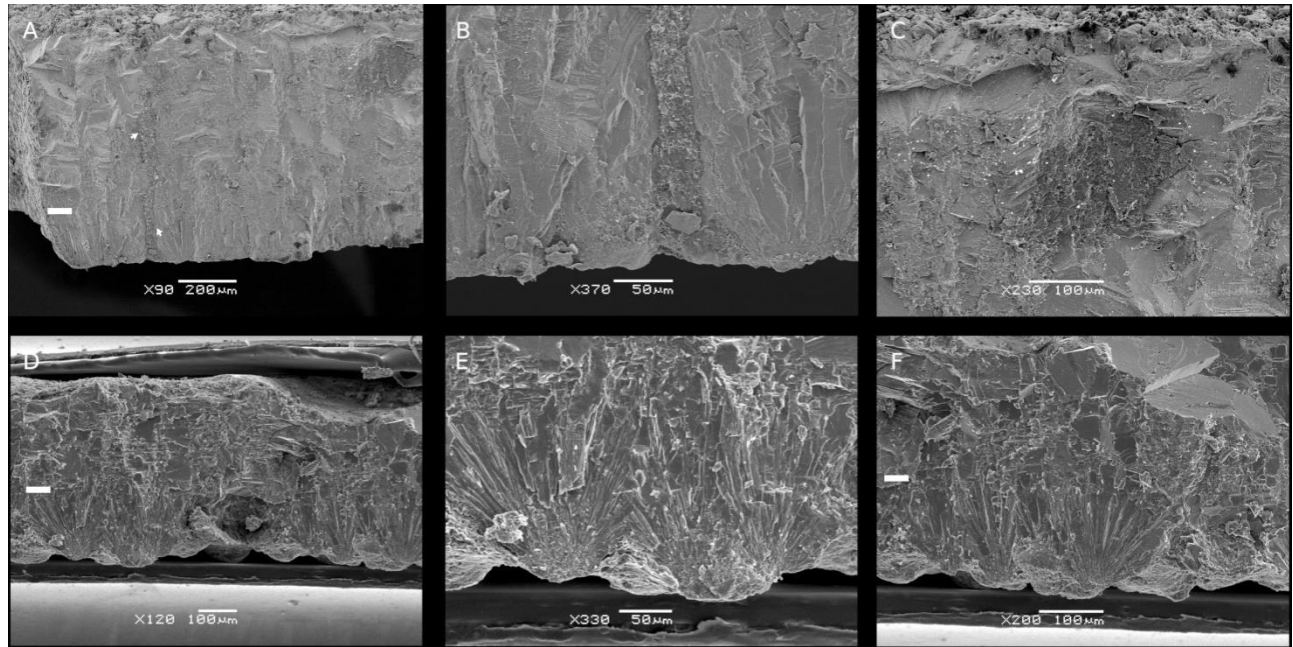


Figure 3. *Pristatoolithidae* eggshells from El Gallo formation, *Pristatoolithus oosp.* eggshell (E12-11) A-C and *Spheruprismatoolithus oosp.* eggshell (R5-9) D-F. A. Radial view under SEM. Note the two distinct layers with gradual transition between them (white bar) and the straight pore canal (white arrow); B. Mammillae made of wedge crystals made of tabular crystals; C. Continuous layer with incipient squamatic texture; D. Radial view under SEM. Note the two distinct layers with similar thickness; E. Mammillae made of acicular crystals; F. Note the gradual transition (white bar) between the mammillary and continuous layer and the squamatic texture on the continuous layer.

215 Structurally, the eggshell presents two calcite layers: the mammillary layer compound by
 216 acicular crystals that radiate from the base of the mammillae (Fig. 3E). The bases of the
 217 mammillae are 83.3 – 102 μm of diameter, with a distance between them of 64-70 μm ; and
 218 the continuous layer with an incipient squamatic ultrastructure (Fig. 3F). Tabular crystals
 219 can be seen in some areas of the continuous layer near the external surface. The transition
 220 between these layers is gradual and the thickness ratio (ML:CL) is 1:1.18-1.22.

221

222 *Comparison.* This *Spheruprismatoolithus* eggshell is thinner than *Spheruprismatoolithus*
 223 *condesus*, which has a thickness of 660 μm to 940 μm . Also, the ML:CL ratio is slightly
 224 larger in this specimen than from *S. condesus* (Bray, 1999). The El Gallo
 225 *Spheruprismatoolithus* can be distinguished from other *Pristatoolithidae* eggshell based on
 226 the 1:1.18-1.20 ML:CL ratio and the presence of ramotuberculata ornamentation.

227

228 *Taxonomic affinity.* At the moment this type of eggshell has not been associated with any
229 kind of dinosaur, but due to their morphology it is considered that they are related to
230 theropods, mainly maniraptors (Glut, 2003).

231

232 **Oofamily** Tubercuolithidae Jackson and Varricchio, 2016

233 Type 1 Morphology

234 *Studied material.* One eggshell fragment.

235 *Description.* Recovered from the locality Ros-51, the eggshell has an ornamentation based
236 of dispersed domed-like nodes. The thickness is of 205 μm without the ornamentation and
237 320 μm with it (Fig. 4A). The height of the nodes is of 114 μm and its diameter of 237 μm .
238 There is a thin secondary calcitic layer on the outer surface.

239 The eggshell consists of two structural layers: the mammillary and the continuous. The
240 transition from the mammillary to the continuous layer is abrupt. The width of the base of
241 the mammillae is of 42.8 μm to 57.1 μm , also they are very tight it. These mammillae are
242 made of wedges with tabular ultrastructure (Fig. 4B). The continuous layer has a squamatic
243 ultrastructure with small vesicles (Fig. 4C). Below the ornamentation, some wedges from
244 the mammillary layer invade almost half the thickness of the continuous layer. The
245 thickness ratio between the mammillary and the continuous layer (ML: CL) taking into
246 account the ornamentation is of 1:2 and without it is of 1:1.

247

248 *Comparison.* The only two oogenera described of Tubercuolithidae are *Tubercuolithus*
249 (Jackson and Varricchio, 2010) and *Dimorphoolithus* (Jackson and Varricchio, 2016). The
250 Baja California specimen differs from these oogenera: it is thinner, a greater ML:CL ratio

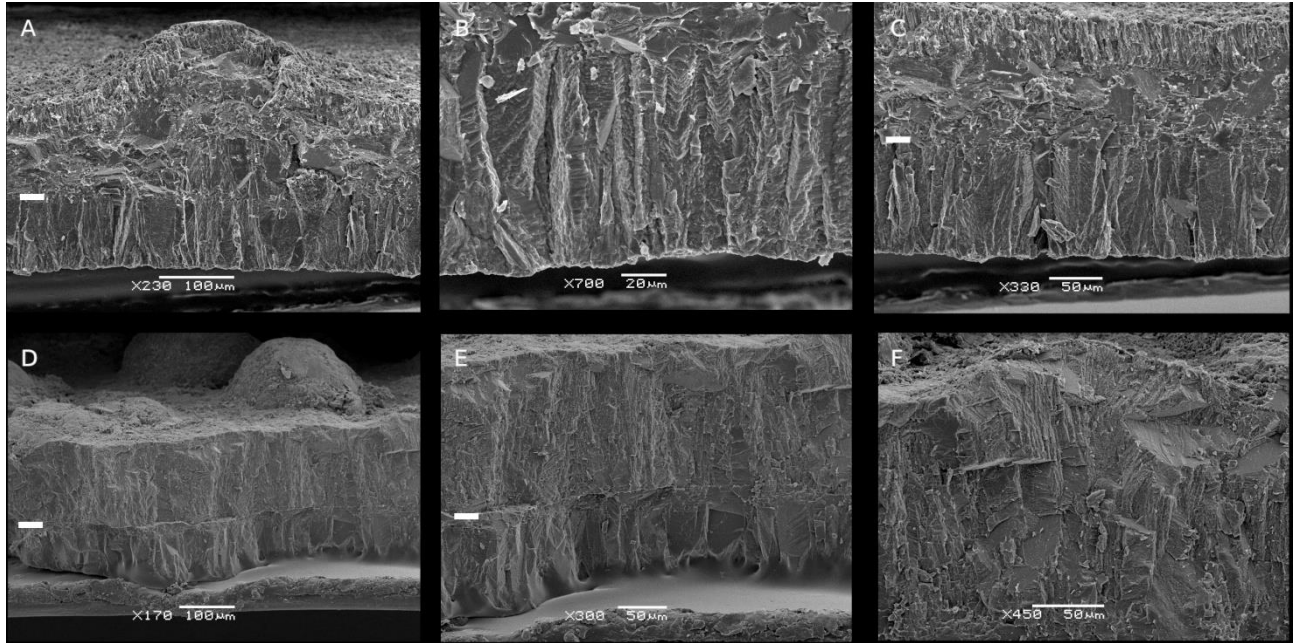


Figure 4. *Tubercuoolithidae* eggshells from El Gallo formation, morphotype No. 1 (R5-14) A-C and *Tubercuoolithus* oosp. eggshell (FH-2) D-H. A. Radial view under SEM. Note the two structural layers with an abrupt transition (white bar); B. Note the tightly mammillae with tabular crystals. C. Continuous layer with squamatic texture; D. Radial view under SEM. Note the two structural layers and the prominent domed tubercules; E. Note the abrupt transition between the mammillary and continuous layer (white bar); F. Continuous layer with incipient squamatic texture.

251 and different pattern of ornamentation. Also, it can be distinguished from *Porituberoolithus*
 252 *warnerensis*, because this oospecies has thicker eggshell and the pore aperture is situated on
 253 the node (Zelenitsky *et al.*, 1996; Tanaka *et al.*, 2011). Features not present in El Gallo
 254 tubercuoolithid eggshell.

255

256 *Taxonomic affinity.* For the moment no tubercuoolithid eggshell have been found associated
 257 with dinosaurs' remains but based on their crystallographic features these eggshells were
 258 presumably laid by no-avian theropod (Jackson and Varricchio, 2016).

259

260 **Oogenus** cf. *Tubercuoolithus* Jackson and Varricchio, 2010

261 *Studied material.* One eggshell fragment.

262 *Description.* This eggshell was found in the locality Fiesta de Huesos. This eggshell has an
263 ornamentation of slightly disperse domed-like nodes of different sizes (Fig. 4D). The
264 thickness ranges from 240-256 μm without the ornamentation and to 380-430 μm with it.
265 The height of the nodes varies from 124 to 172 μm , with a diameter of 251-293 μm .
266 This eggshell consists of two structural layers, the mammillary and the continuous.
267 Unfortunately, due to how the specimen was mounted for observation with the SEM, the
268 base of the mammillary layer cannot be observed (Fig. 4E). The mammillae consist of
269 wedge with tabular ultrastructure. The transition with the continuous layer is abrupt. The
270 continuous layer possesses an incipient squamatic ultrastructure with vesicles, making
271 possible to observe some prisms with tabular crystals (Fig. 4F). The thickness ratio between
272 the layers (ML:CL) is of 1:1.4 without ornamentation and 1:3 with it.

273

274 *Comparison.* El Gallo *Tubercuoolithus* eggshell shared almost all the features of
275 *Tubercuoolithus tetonensis* from Two Medicine Formation (Jackson and Varricchio, 2010).
276 The only difference is the eggshell thickness, this specimen is 240 – 430 μm , being thinner
277 than that of *T. tetonensis* which is 831 μm to 1186 μm . The specimen is distinguished from
278 *Dimorphoolithus benneti* by having a thinner eggshell, no present pore aperture on the
279 nodes and does not present the conical tubercles.

280

281 *Taxonomic affinity.* For the moment no tubercuoolithid eggshell have been found
282 associated with dinosaurs' remains but based on their crystallographic features these
283 eggshells were presumably laid by no-avian theropod (Jackson and Varricchio, 2016).

284

285 *Incertae sedis*

286 **Oogenus** *Continuoolithus* Zelenitsky, Hills and Currie, 1996

287 *Studied material.* Three eggshell fragments.

288 *Description.* Present in the localities Esqueleto and Fiesta del Hueso, these eggshells have
289 dispersituberculate ornamentation (Fig. 5A). The eggshell thickness is of 981 – 1058 μm
290 with ornamentation and of 851 – 895 without it. Their nodes have an obtuse triangle shape,
291 with a height of 125 - 264 μm and a width of 544 – 617 μm . The pore aperture is round and
292 located between the nodes with 94 μm in diameter. The pore system is angusticanalicate
293 (Fig. 5B).

294 These eggshells have two structural layers, with an abrupt transition between them. The
295 mammillary layer has a thickness that varies from 105 μm to 179 μm . This range is caused
296 by the abrasion present on the mammillae of the layer. The mammillae have acicular
297 crystals radially distributed on its base, which are substitute by wedge with tabular
298 ultrastructure (Fig. 5C). The continuous layer has an incipient squamatic ultrastructure,
299 where in some zones of the layer tabular crystals can be seen (Fig. 5D). The thickness ratio
300 of the layers ML:CL ranges from 1:4 to 1:5.

301

302 *Comparison.* These *Continuoolithus* specimens as *Continuoolithus canadensis* from
303 Oldman Formation, Alberta have a dispersituberculate ornamentation and a ML:CL ratio of
304 1:4 to 1:5, but El Gallo *Continuoolithus* have slightly thinner eggshells. *Continuoolithus*
305 specimens from Fruitland Formation (Tanaka *et al.*, 2011) and Willow Creek Formation
306 (Zelenitsky *et al.*, 2017) are thinner and have reduced ML:CL thickness ratio (~1:7),
307 respectively. *Continuoolithus* from El Gallo formation differs from *Spongiolithus hirschi*
308 (synonymized to *Continuoolithus* by Voris *et al.*, 2018) from North Horn Formation (Bray,
309 1999) in that the later has thicker eggshells and a reduced ML:CL thickness ratio (1:7). The

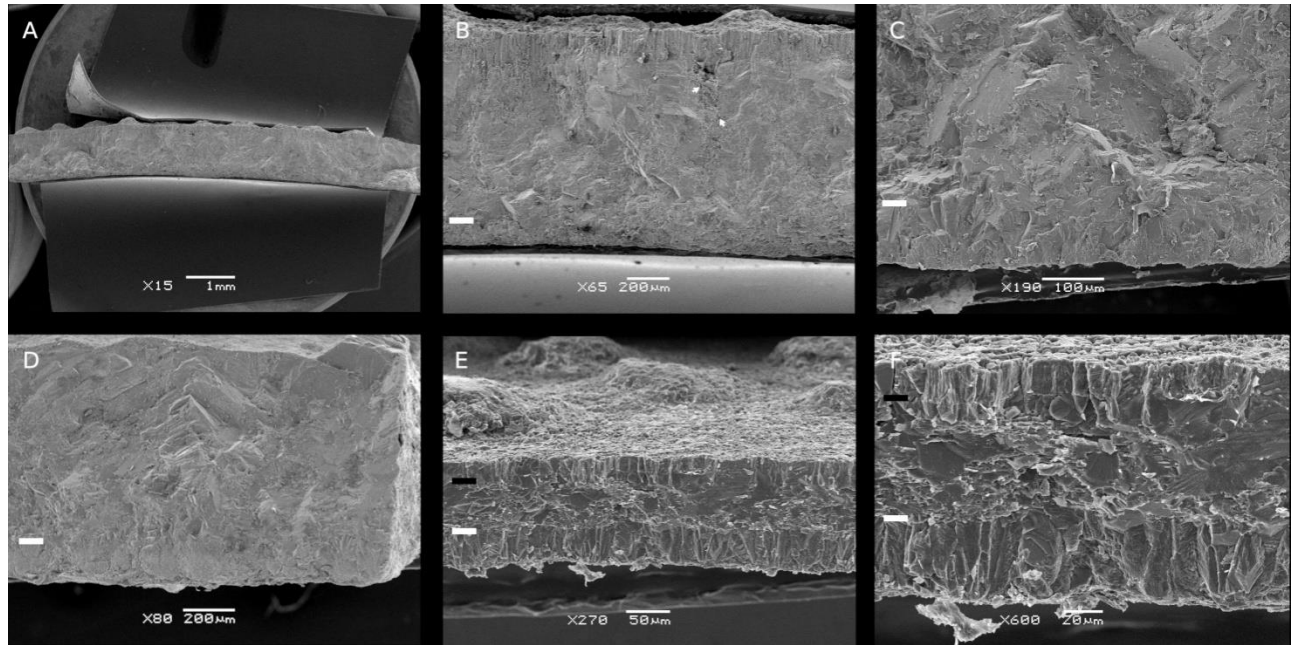


Figure 5. *Continuoolithus oosp.* eggshells A-D and *Tristraguloolithus oosp.* eggshell (R5-17) E-F. A. E12-40, radial view under SEM. Note the outer surface with dispersituberculate ornamentation; B. Close up of A, note the two structural layer (white bar) and the pore canal (white arrow); C. FH-4, radial view under SEM. Note the mammillary layer with mammillae made of radial wedge; D. FH-3, radial view under SEM. Note the continuous layer with tabular crystals; E. Radial view under SEM, Note dispersituberculate ornamentation; F. Note the abrupt transition between the mammillary and continuous layer (white bar), and the squamatic zone and external zone on the continuous layer (black bar).

310 *Continuoolithus* cf. *C. canadensis* from St. Mary River Formation (Vorisi *et al.*, 2018)

311 shows no differences with these *Continuoolithus* eggshells.

312

313 *Taxonomic affinity.* No skeletal materials have been found in association with

314 *Continuoolithus* eggs, but this ootaxon shares similarity to elongatoolithid eggshells, which

315 have been ascribed to oviraptorosaurs (Zelenitsky *et al.*, 1996; Norell *et al.*, 1994; Zelenitsky

316 and Therrien, 2008; Fanti *et al.*, 2012; Zelenitsky *et al.*, 2017)

317

318 *Incertae sedis*

319 **Oogenus** cf. *Tristraguloolithus* Zelenitsky, Hills and Currie, 1996

320 *Studied material.* One eggshell fragment.

321 *Description.* This thin eggshell was found on the sediments of the Ros-51 locality. It has a
322 thickness of 120 μm to 160 μm and a dispersituberculate ornamentation, made of low
323 tubercles with flat peaks. But this last morphology might be product of weathering. The
324 height of these tubercles ranges from 20 μm to 40 μm (Fig. 5E).
325 The SEM images show that this eggshell has two structural layers, the mammillary and the
326 continuous, where the later has two zones, a squamatic and the external zone (Fig. 5F). The
327 mammillary layer has mammillae barrel-shape and tightly between them. From their base,
328 wedge radiate outside with tabular ultrastructure. The transition of the mammillary to the
329 continuous layer is abrupt, while the transition between the squamatic and the external zone
330 is more or less gradual. The continuous layer has a squamatic ultrastructure well defined
331 and presents some vesicles. The external zone is made by blocky compact crystals, where
332 in some zones horizontal lamination is observed, indicating a tabular ultrastructure. The
333 thickness ratio between the mammillary layer, squamatic zone and external zone
334 (ML:SZ:EZ) is 0.8:1:0.35, without considering the ornamentation.

335

336 *Comparison.* As *Tristraguloolithus cracioides* (Zelenitsky *et al.*, 1996), this specimen
337 presents an external zone, an ornamentation based on isolated nodes and almost the same
338 ML:SZ:EZ thickness ratios, where in the first is of 1:1:0.5 and in the later is of 0.8:1:0.35.
339 But the El Gallo *Tristraguloolithus* has thinner eggshells. *Triprismatoolithus stephensis* has
340 a dispersituberculate ornamentation and an external zone (Jackson and Varricchio, 2010)
341 shared with this specimen, but also has thicker eggshells and its continuous layer is five
342 times the thickness of the mammillary layer, where in the El Gallo *Tristraguloolithus* they
343 are almost of the same thickness.

344

345 *Taxonomic affinity.* At the moment no skeletal materials have been associated with
346 *Tistraguloolithus* eggs, but based on the microstructure characteristics, this type of egg was
347 probably laid by theropod (Jackson and Varricchio, 2010).

348

349 *Incertae sedis*

350 **Oogenus** cf. *Dispersituberoolithus* Zelenitsky, Hills and Currie, 1996

351 *Studied material.* One eggshell fragment.

352 *Description.* This eggshell was recovered from the Ros-51 locality. The thin eggshell has
353 dispersituberculate ornamentation, with a thickness of 193 μm with the ornamentation and
354 of 175-181 μm without it (Fig. 6A). The nodes have conical shape, with height of 12 μm to
355 18 μm .

356 In radial view, the eggshell exhibits two structural layers, the mammillary and the
357 continuous. The mammillary layer has wedged that radiate from the center of the
358 mammillae, given a petal-like appearance in some of them (Fig. 6B). The wedges present a
359 tabular ultrastructure. The transition of the mammillary to the continuous layer is slightly
360 abrupt. The continuous layer has two zones, a squamatic zone characterized by squamatic
361 ultrastructure which is more conspicuous in the area above the transition of the two layers,
362 where on the upper middle half prisms with tabular crystals can be distinguished (Fig. 6C);
363 and the external zone is made of slender prism with tabular crystals, which are more
364 evident the ones that conform the ornamentation. The transition between the squamatic
365 zone and the external zone is gradual. The thickness ratio (ML:SZ:EZ) is 1:1.6-2:0.25

366

367 *Comparison.* El Gallo *Dispersituberoolithus* differs from *D. exilis* (Zelenistky *et al.*, 1996)
368 in that the later has thicker eggshells and its ornamentation is more pronounced. But its

369 ML:SZ:EZ ratio (1:2:0.5) is almost equal to the present in the specimen of Baja California.
370 This El Gallo *Dispersituberoolithus* eggshell can be distinguished from *Trigonoolithus*
371 *amae* (Monero-Aranza *et al.*, 2014) and *Arriagadoolithus patagoniensis* (Agnolin *et al.*,
372 2012) by differences in their thickness, ornamentation (*T. amae* has protuberance isosceles
373 triangles shaped, and *A. patagoniensis* has low nodes, node-like ridges and interconnected
374 ridges), and the ML:SZ:EZ thickness ratio of 1:3-4:0.5-0.33 and 1:4.9-4.4:0.1, respectively.

375

376 *Taxonomic affinity.* At the moment no skeletal materials have been associated with
377 *Dispersituberoolithus* eggs, but based on the microstructure characteristics, this type of egg
378 was probably laid by theropod (Jackson and Varricchio, 2010).

379

380 *Incertae sedis*

381 **Oogenus** *Styloolithus* Varricchio and Barta, 2015

382 *Studied material.* Two eggshell fragments.

383 *Description.* This type of eggshells was found in the locality Cascarita. The outer surfaces
384 of the eggshells present very low nodes with flat peaks dispersed. The low heights of the
385 nodes give an appearance of a rough outer surface (Fig. 6D). The thickness of the eggshells
386 varies from 142 μm to 243 μm .

387 The eggshells are formed by two structural layers: the mammillary and the continuous. The
388 thickness ratio between the mammillary layer, squamatic and external zones (ML: SZ: EZ)
389 is of 1:2:0.8. The mammillae are made of wedge with horizontal lamination, indicating its
390 conformation of tabular ultrastructure. The shape of the mammillae is barrel like, with a
391 width of 20 μm to 25 μm (Fig. 6E). The transition between the mammillary and the
392 continuous layers is gradual (prismatic). The continuous layer has a squamatic

393 ultrastructure with vesicles that corresponds to the squamatic zone, which then has a
 394 gradual transition to the external zone (Fig. 6F). The latter is thicker than the mammillary
 395 layer and almost as thick as the squamatic zone. The external zone is made of tall slender
 396 prism with horizontal striation, caused by the tabular crystal that makes them up.

397

398 *Comparison.* As the only oospecie of the oogenus *Styloolithus*, *S. sabathi*, these two

399 specimens from Baja California share the external zone being thicker than the mammillary

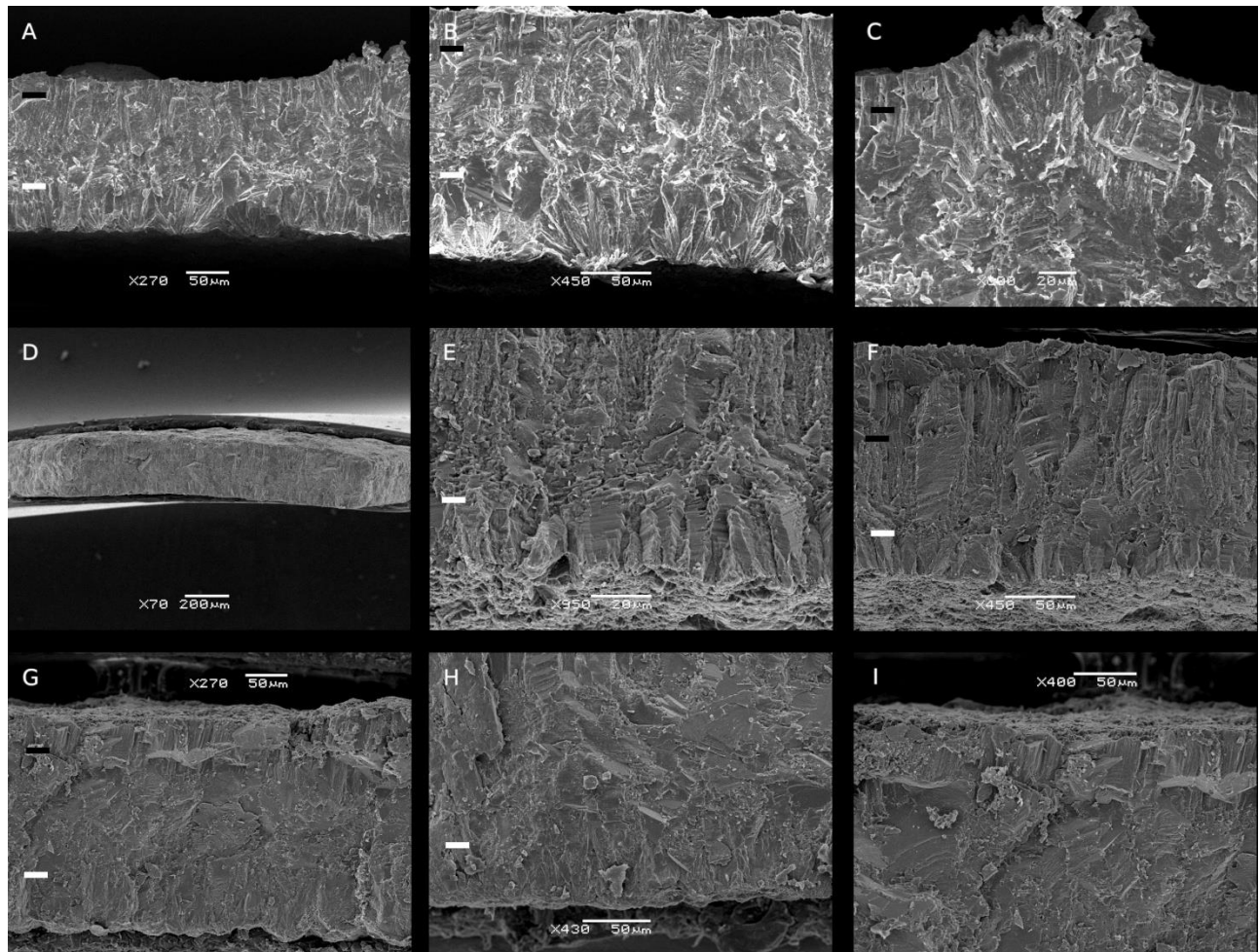


Figure 6. *Dispersituberoolithus oosp. eggshell (R5-16)* A-C, *Styloolithus oosp. eggshells (E12-22)* D-F and *Enanthiornithid eggshell (E12-22)* G-I. A. Radial view under SEM. Note the two structural layers (white bar), with a squamatic zone and external zone on the continuous layer (black bar); B. Mammillary layer with the petal-like mammillae and the squamatic texture over it; C. Note the prism that conform the node; D. Ca3-9, radial view under SEM. Note the outer surface with low nodes; E. Ca3-5, radial view under SEM. Note the mammillae made of wedge with tabular structure and their transition to the squamatic texture (white bar); F. Ca3-5, radial view under SEM. Note the continuous layer with a squamatic zone as thick as the external zone made of prims (black bar); G. Radial view under SEM, Note the two structural layer with gradual transition between them (white bar); H. Note the wedge that conform the mammillae; I. Continuous layer with the squamatic zone and the external zone (black bar).

400 layer and almost as thick as the squamatic zone, which is diagnostic of this oospecies
401 (Varricchio and Barta, 2015); also, their ML:SZ:EZ are nearly similar, with 1:1.6:0.9 in *S.*
402 *sabathi* and 1:2:0.8 in the *Styloolithus* from this formation. One difference is the presence
403 of short nodes in El Gallo specimens, where in *S. sabathi* possess smooth outer surface.

404

405 *Taxonomic affinity.* This type of eggshell has been found associated with forelimbs
406 elements of a non-ornithomorph bird, possible an enantiornithine (Varricchio and Barta,
407 2015).

408

409 Enantiornithid eggshells

410 *Studied material.* one eggshell fragment.

411 *Description.* The eggshell found in the locality of Esqueleto, has a thickness of 239 μm to
412 272 μm . its outer surface is slightly smooth with small flat nodes, indicating
413 microtuberculate ornamentation.

414 The SEM images show that this eggshell has two structural layers, the mammillary and the
415 continuous, where the later has a squamatic and an external zone (Fig. 6G). The transition
416 of the mammillary to the continuous layer is gradual (prismatic), while the transition of the
417 squamatic-external zone is abrupt (aprismatic). The thickness ratio ML:SZ:EZ is 1:2:0.4-
418 0.5. The mammillary layer possesses mammillae with semicircular shaped bases and widths
419 of 48 μm to 73 μm . Wedge with tabular ultrastructure radially grow from the base of the
420 mammillae (Fig. 6H). The squamatic zone from the continuous layer is made of a
421 squamatic ultrastructure with vesicles, but also tabular crystals can be seen near the contact
422 with the external zone (Fig. 6I). The external zone is made of prisms compound of tabular
423 crystals.

424

425 *Comparison.* The presence of an external zone together with a prismatic condition (gradual
426 transition between mammillary and continuous layer) are attributed to neognathes birds
427 (Grellet-Tinner and Norell, 2002; Grellet-Tinner, 2006). However, in this type of eggshell
428 the continuous layer is much thicker than the mammillary layer also the transition between
429 the squamatic zone and the external zone is gradual. In this way, this specimen doesn't
430 belong to neognathes birds. Eggs found in Sao Paulo, Brazil (Upper Cretaceous) and in
431 Bajo de la Carpa, Argentina (Upper Cretaceous) (Schweitzer *et al.*, 2002; Marsola *et al.*,
432 2014) have an external zone, with a prismatic contact between the mammillary-continuous
433 layer, and an aprismatic contact between the squamatic-external zone, similar to that
434 observed in this specimen. In addition, the ML:SZ:EZ ratio between this specimen and the
435 eggs from Argentina (1:1.5:0.3) are almost identical, indicating that they belong to the same
436 type of eggshells.

437

438 *Taxonomic affinity.* Egg with this type of microstructures has been associated with
439 enantiornithines embryos in Bajo de la Carpa, Argentina (Schweitzer *et al.*, 2002).

440

441 **Oofamily** Krokolithidae Kohring and Hirsch, 1996

442 *Studied material.* Five eggshell fragments.

443 *Description.* Recovered from the locality Ros-51, these eggshells have a thickness of 190-
444 300 μm and an outer surface rough with tubercles and irregular ridge. Some of the
445 eggshells have a secondary calcitic layer.

446 Most of the eggshells show evidence of weathering and have lost almost the nucleation site
447 from the inner surface of the eggshells (Fig. 7A). Their unit shells, when distinguished,

448 have a trapezoidal shape, with the widest edge on the outer surface; their width:tall ratio is
449 0.83 to 0.85. These eggshells present three structural layers: inner, middle and external,
450 following the description from Moreno-Azanza *et al.* (2014b). Most part of the inner layer
451 is lost, and only in one eggshell the nucleation site can be observed, where granular crystal
452 radially grows (Fig. 7B). Above this, the middle layer is constituted mainly by irregular
453 wedge with tabular ultrastructure, and in some areas tabular crystals with an arrangement of
454 book sheets (Fig. 7C) are observed. Despite the dissolution of some unit shells, the
455 horizontal striation that corresponds to tabular ultrastructure still can be seen. The external
456 layer is characterized by striations ranging from nearly vertical to diagonal from the outer
457 surface. In this layer a tabular ultrastructure can be present also.

458

459 *Comparison.* Krokolithid eggshells from Two Medicine and Fruitland Formations are
460 thicker and possesses different outer surface than these krokolithid eggshells (Jackson and
461 Varricchio, 2010; Tanaka *et al.*, 2011). The two oogenera of the oofamily Krokolithidae are
462 *Krokolithes* (Kohring and Hirsch, 1996) and *Bauruoolithus* (Oliveira *et al.*, 2011). The
463 krokolithids from this work have thinner eggshell than the *Krokolithes* eggshells, also at the
464 moment there is no evidence of the deep inner interstices present in this oogenus (Hirsch
465 and Kohring, 1992; Kohring and Hirsch, 1996; Jackson and Varricchio, 2010). The El
466 Gallo krokolithid eggshells as *Bauruoolithus* eggshells are thin, with a thickness of 150 to
467 250 μm , but its shells unit are much wider than taller, characteristic not observed in these
468 krokolithid eggshells.

469

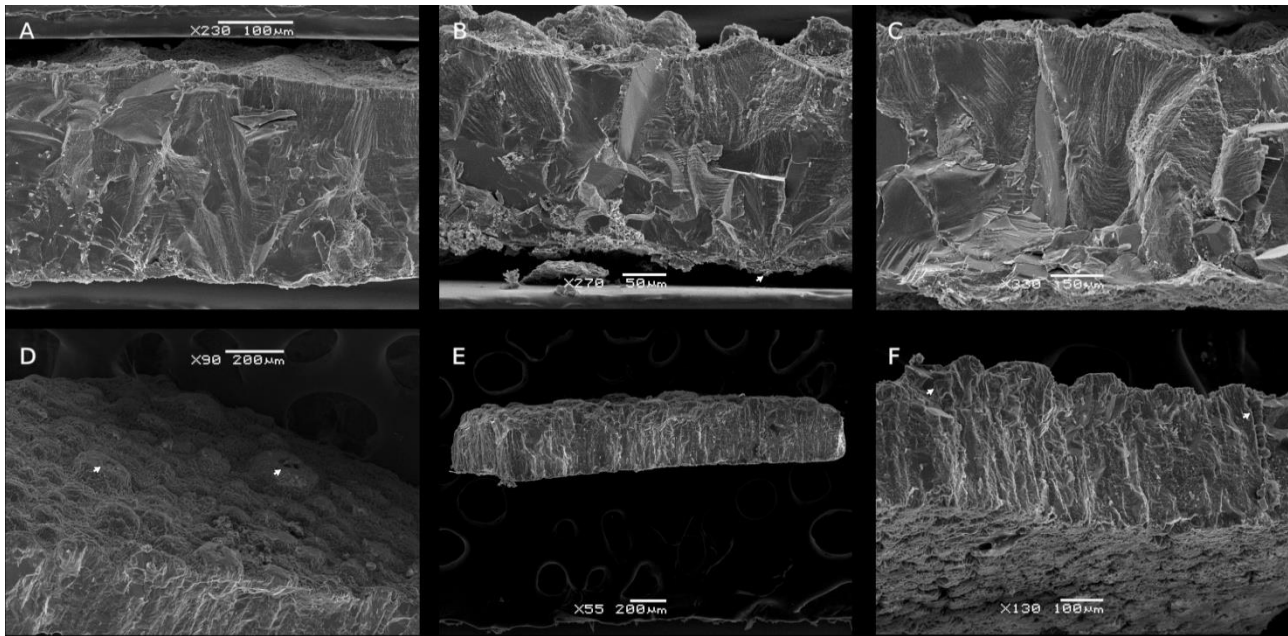


Figure 7. Krokolithid eggshells A-C and geckolithid eggshell (E12-10) D-F. A. R5-8, radial view under SEM. Note the unit shells made of wedge; B. R5-6, radial view under SEM. Note the base of the unit shell with de nucleation site (white arrow); C. R5-7, radial view under SEM. Note the tabular crystals forming a pattern of book sheets; D. Geckolithid eggshell outer surface view under SEM. Note the domed tubercles with the pore opening on it (white arrows); E. Radial view of the geckolithid eggshells; F. Radial view under SEM. Note the pore canals (white arrows) and the prism conforming the domed tubercles.

470 *Taxonomic affinity.* Eggshells with unit shells made of irregular wedge with tabular
 471 ultrastructure is characteristic of crocodyloid morphotype (Kohring and Hirsch, 1996), a
 472 type of egg and eggshell only laid by crocodylians.
 473
 474 Geckolithid eggshell
 475 *Studied material.* One eggshell fragment.
 476 *Description.* Only one eggshell of this type was collected from the Esqueleto site. It is
 477 orange in color with domed-like tubercles and conical nodes with flat peaks in the outer
 478 surface (Fig. 7D). The overall thickness is 300-318 μm without ornamentation and 355-375
 479 μm with ornamentation. The prominent domed tubercles measure 158-236 μm at the base
 480 and the conical nodes measure 81-123 μm at the base. Pore openings within the center of
 481 the domed-like tubercles have a diameter of 38-61 μm .

482 In radial view, the shell consists of a nearly complete homogenous calcitic layer with
483 slender jagged columns shell units (when they are recognized). In its outer part, the domed
484 tubercles are composed by slender, numerous, densely packed vertical columns (Fig. 7E).
485 The pore canal is funnel shaped across the domed tubercles but then turns into a straight
486 and narrow tube through rest of the shell thickness (Fig. 7F). This inner surface exhibits a
487 polygonal pattern which represents the base of the columns shell units.

488

489 *Comparison.* This specimen displays microstructure similar to *Gekkoolithus columnaris*
490 described from the Wind River Formation (Early Eocene), Wyoming (Hirsch 1996).
491 However, the *G. columnaris* doesn't present ornamentation and is very thin (40-50 μm).
492 The gecko-like eggshell fragment reported from the Two Medicine Formation of Montana
493 (USA) (Hirsch and Quinn, 1990) has a similar thickness. Similarly, they also show the pore
494 canal ending in a node. The pore from the first one, however, is wider and the node doesn't
495 present a domed-like shape.

496

497 *Taxonomic affinity.* Eggshells organized into jagged columns of compact crystalline
498 material are characteristic of recent geckos, specific the sub-families Gekkoninae and
499 Sphaerodactylinae (Deeming, 1988; Packard and Hirsch, 1989; Choi *et al.*, 2018). It is
500 possible that this specimen was laid by a kind of gecko.

501

502 **5 Eggshells geochemical analysis**

503 *5.1. Mineral and chemical composition of spheroolithid eggshells.*

504 X-ray diffraction (XRD) patterns of the dinosaur eggshells exhibit only the characteristic
505 peaks of calcite (CaCO_3) (Fig. 8). The eggshells are mainly composed calcium carbonate
506 and all other minerals, undetected with XRD, possibly represented <1%.

507 Chemical composition analyzed by X-ray fluorescence (XRF) supports the mineralogical
508 observation, with Ca (expressed as CaO) as the most abundant and varying between 53.82-
509 53.92% (Supplementary Table 1). It is associated with calcium carbonate, main component
510 of the dinosaur eggshells. Presence of about 1% of SiO_2 and traces amounts (<1%) of other
511 oxides such as Na_2O , K_2O and P_2O_5 in the eggshells can be attributed to clays infilling the
512 eggshells pores. Traces of MnO and MgO (about 0.5-0.6%) are possibly associated with the
513 diagenetic minerals. Loss by calcinations in the samples (could not be determined in E-12
514 due to small sample size) representing between 43.8-44.2%. It is comparable to the CaO
515 abundances, as it is attributed to carbon dioxide (CO_2) released from decomposition of
516 calcite at higher temperature (up to 950°C).

517 Trace element analysis could not be determined in sample E12 due to the small sample size
518 but the concentration in the other two samples, Cascarita (CA) and El Tortugario (CT) are
519 similar representing 0.09-0.13% (960-1320 ppm) of the dry sediment weight
520 (Supplementary Table 1). Barium (Ba) and Strontium (Sr) are the two most abundant trace
521 elements. Their occurrence probably indicate that the eggshells contained small amount of
522 strontianite and barite, both are Sr- and Ba-bearing minerals not detected in the XRD
523 analysis. Riera *et al.* (2013) reported both these minerals in smaller proportion in the pores
524 or scattered in the eggshell columns related to small fractures infilled with calcite of the
525 Upper Cretaceous dinosaur eggshells from the Tresp Formation, Spain.

Table 1. Comparison of eggshells from the El Gallo formation, arranged in the order in which they are described in the paper.

Ootaxon/taxon	Eggshell thickness (µm)	Ornamentation	ML:CL or ML:SZ:EZ thickness ratio	ML/CL boundary	Taxonomic affinity
<i>Spheroolithus</i>	750-1275	Smooth to sagenotuberculate	--	--	Ornithopod (Hadrosaurid)
<i>Prismatoolithus</i>	692-1000	Smooth	1:2.5-3	Prismatic	Troodontidae
cf. <i>Spheruprismatoolithus</i>	370-476	Sagenotuberculate	1:1.18-1.22	Prismatic	Maniraptora
Tubercuoolithid morphotype 1	205-320	Dispersituberculate	1:1	Aprismatic	No-avian theropod
<i>Tubercuoolithus</i>	240-430	Dispersituberculate	1:1.4	Aprismatic	No-avian theropod
cf. <i>Continuoolithus</i>	851-1058	Dispersituberculate	1:4-5	Aprismatic	Oviraptosaurid?
cf. <i>Tristraguloolithus</i>	120-160	Dispersituberculate	0.8:1:0.35	Aprismatic	Theropod (avian and no-avian)
cf. <i>Dispersituberoolithus</i>	175-193	Disperistuberculate	1:1.6-2:0.25	Aprismatic	Theropod (avian and no-avian)
cf. <i>Styloolithus</i>	142-243	Dispersituberculate	1:2:0.8	Prismatic	Enantiornithes
Enantiornithid	239-272	Microtuberculate	1:2:0.5	Prismatic	Enantiornithes
Krokolithidae	190-300	Tubercles with irregular ridge	--	--	Crocodylian
Geckolithid	300-375	Dispersituberculate	--	--	Gecko

Abbreviations: CL, continuous layer; EZ, external zone; ML, mammillary layer; SZ, squamatic zone.

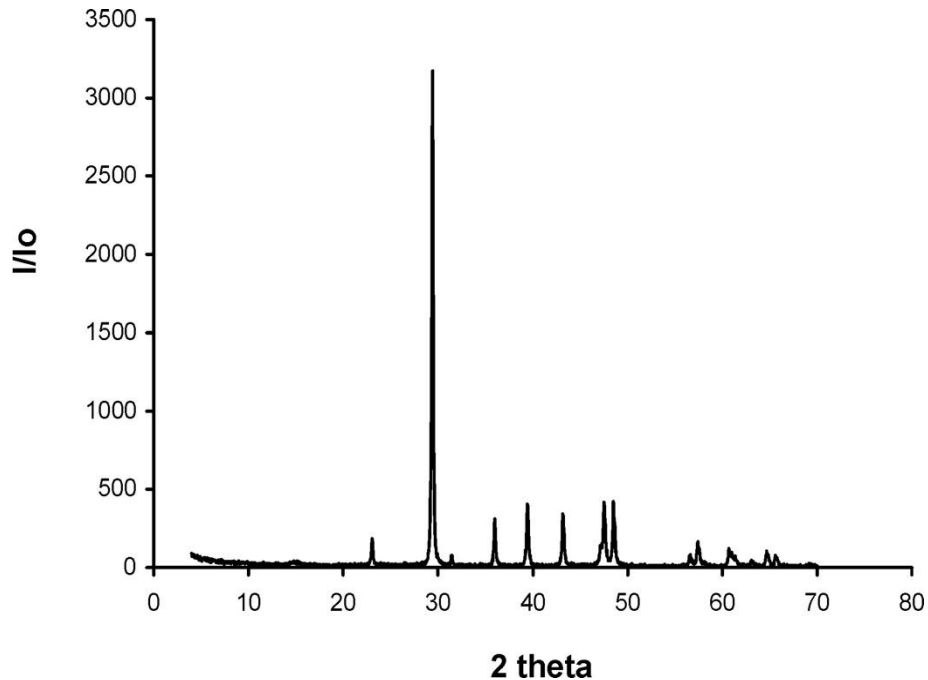


Figure 8. X-ray diffractogram of eggshells from Esqueleto (E-12) locality showing the peaks of calcite

527

528 5.2. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in spheroolithid eggshells

529 The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ compositions of eggshells obtained from three locations are similar

530 (Supplementary Table 2). $\delta^{13}\text{C}$ shows a variation of 1‰ and $\delta^{18}\text{O}$ has a variation of about

531 0.1‰. Eggshells from Cascarita (n= 5) show the most negative values and the eggshells

532 from El Tortugario (n= 5) show the less negative values. The samples from Cascarita have

533 $\delta^{13}\text{C}$ values between -13.14‰ and -13.00‰ with a mean of $-13.07 \pm 0.05\text{‰}$ and $\delta^{18}\text{O}$

534 between -7.06‰ and -6.93‰ with a mean of $-7.01 \pm 0.06\text{‰}$. Samples from El Tortugario

535 have $\delta^{13}\text{C}$ between -11.14‰ to -10.97‰ with a mean of $-11.06 \pm 0.07\text{‰}$ and $\delta^{18}\text{O}$ between

536 -6.91‰ and -6.23‰ with a mean of $-6.51 \pm 0.25\text{‰}$. The only sample from Esqueleto

537 presents values intermediate of the stable isotope compositions of eggshells from the

538 Cascarita and El Tortugario localities, with $\delta^{13}\text{C}$ of -12.63‰ and $\delta^{18}\text{O}$ value of -6.38‰.

539 Stable isotope compositions of the pedogenic nodules were obtained from Fastovsky *et al.*
540 (2020) (Supplementary Table 2). Those samples were collected from the “Silvina” and
541 “Granito de Mostaza” localities of the El Gallo formation. EGF-1-N1-2 samples (n= 2)
542 have $\delta^{13}\text{C}$ of -10.40‰ to -9.50‰ and $\delta^{18}\text{O}$ of -9.85‰ to -10.82‰, respectively. EGF-2-N1
543 samples (n= 6) have $\delta^{13}\text{C}$ between -11.60‰ to -6.40‰ with a mean of $-10.23 \pm 1.93\%$ and
544 $\delta^{18}\text{O}$ between -12.38‰ and -8.98‰ with a mean of $-9.73 \pm 1.32\%$. In general, these values
545 are similar, except for one of the samples of EGF-2-N1 that has both the most positive
546 value of $\delta^{13}\text{C}$ and the most negative value of $\delta^{18}\text{O}$.

547

548 **6 Discussions**

549 *6.1 Diversity revealed by eggshells assemblage*

550 We observed a taxonomic overlap of four to possibly five taxa by comparing the eggshells
551 diversity with osteological diversity of the El Gallo formation. Therefore, this study
552 increased the taxonomic diversity, mainly of the small theropod dinosaur. Among the
553 twelve different types of eggshells, ten were from dinosaur (no avian dinosaur, n= 8 and
554 avian dinosaurs, n= 2), one was associated with crocodiles and another with geckos. These
555 eggshells remain helped to expand our understanding of the dinosaur diversity as well as
556 other egg-laying animals of the late Campanian by providing new information outside the
557 Western Internal Basin of North America. Most of the oogenera described here were
558 reported previously in other Campanian localities of the Western Interior Basin (e.g.
559 Zelenistky *et al.*, 1996; Bray, 1999; Jackson and Varrichio, 2010; Tanaka *et al.*, 2011).
560 Their presence in sedimentary deposits of Baja California, however, expanded the
561 geographic distribution of oogenera towards the south and to the Pacific.

562 The dinosaur record includes ornithischians and theropods. The former group has fossils of
563 ankylosaurids (Morris, 1987; Martínez-Díaz, 2011), ceratopsians (Hernández-Rivera, 1997)
564 and hadrosaurs (Morris, 1972, 1981; Hilton, 2003; Ramírez-Velasco *et al.*, 2014). The latter
565 group is more abundant, and it is represented by the lambeosaurine *Magnapaulia*
566 *laticaudus* (Morris, 1981; Prieto-Márquez, *et al.*, 2012) and Kritosaurini hadrosaur
567 (Cabrera-Hernández *et al.*, 2018). In case of theropods, the recovered materials are from
568 tyrannosaurids (Morris, 1967; Peacock *et al.*, 2014), ornithomimids (Hernández-Rivera,
569 1997), dromaeosaurs such as *Dromeosaurus* and *Saurornitholestes*, a troodontid, the
570 *Richardoestesia* dental morphotype (Romo de Vivar, 2011; García Alcántara, 2016; García-
571 Gil, 2020) and possibly the oviraptorosaurian *Chirotelestes* (Hilton, 2003; Ramírez-Velasco
572 and Hernández-Rivera, 2015).

573 The presence of *Spheroolithus* can be associated with hadrosaurs. Features in perinatal
574 bones of the El Tortugario site belonging to lambeosaurine nest were conferred to
575 *Magnapaulia laticaudus* (JSCH personal observation). Unfortunately, the damaged
576 microstructures of *M. laticaudus* nest eggshells could not be assigned an ootaxon, and it
577 was not possible to distinguish them from other spheroolithid eggshells from Cascarita,
578 Esqueleto and OK localities in the evaluation. Hence, we could not verify if the
579 *Spheroolithus* eggshells of this study belonged to *M. laticaudus* or to some other
580 ornithopod.

581 Presence of *Prismatoolithus* and *Continuoolithus* in the El Gallo formation were correlated
582 with troodontid and oviraptorosaurid, respectively. In addition, the presence of
583 *Continuoolithus* reinforced the existence of oviraptorosaurids in Baja California. Because the
584 first and only report of oviraptorosaurids in this region, by Hilton (2003), was previously
585 questioned (Ramírez-Velasco and Hernández-Rivera, 2015). So far, none of the

586 *Spheruprismatoolithus* eggshells are associated with any dinosaur. Morphology suggests
587 their association with theropod, mainly maniraptors (Glut, 2003). Their presence in the El
588 Gallo formation might be linked to the dromaeosaurids. However, it was unreliable as
589 *Spheruprismatoolithus* has crystallographic differences with eggshells of the dromaeosaur
590 *Deinonychus* (Grellet-Tinner and Makovicky, 2006) and *Montanoolithus strongurum*
591 associated to dromaeosaurid or to oviraptorosaurians (Zelenitsky and Therrien, 2008).
592 Rest of the dinosaur eggshell could be attributed to four theropods and two birds. The
593 theropod eggshell thickness did not exceed 500 µm, indicating relatively small body size (<
594 50 kg) of the responsible (Tanaka *et al.*, 2016). The microstructure of tubercoolithidae
595 eggshells, cf. *Tristraguloolithus* and cf. *Dispersituberoolithus* indicated their association
596 with other small non-dromaeosaurid theropods. Additionally, the eggshells of *Styloolithus*
597 and enantiornithid are also the first reports of more than one species of birds in this
598 formation.

Table 4: Comparison between fossil records of dinosaur bones/eggshells from El Gallo formation (Baja California, Mexico).

	Taxa based on bones records	Taxa based on eggshell records
Ornithischian	<i>Magnapaulia</i>	<i>M. laticaudus</i> eggshells
	Hadrosaurs <i>laticaudus</i>	
	Hadrosaurid indet.	Ornithopod (<i>Spheroolithus</i>)
	Ankylosaurid	
	Ceratopsian	
Theropoda	Troodontid	Troodontids (<i>Prismatoolithus</i>)
	Oviraptorosaurian (<i>Chirostenostes?</i>)	Oviraptorosaurian? (<i>Continuoolithus</i>)
	Dromeosaur	Maniraptora (<i>Spheruprismatoolithus</i>)
	Tyrannosaurid	No avian small theropod (Tubercoolithid)
	Ornithomimid	No avian small theropod (<i>Tubercuoolithus</i>)
	<i>Richardoestesia</i> dental morphotype	Small theropod (<i>Tristraguloolithus</i>)
		Small theropod (<i>Dispersituberoolithus</i>)
	Enantiornithes (<i>Styloolithus</i>)	
	Enantiornithes eggshells	

599 However, it is not possible at this stage to relate the krokolithid eggshells of this study to
600 the genera of *Leydysuchus* or *Brachychampsia* (e.g. Romo de Vivar, 2011; García-
601 Alcántara, 2016). The lepidosaurs are represented by four families: Xenosauridae,
602 Varanidae, Anguidae and Polyglyphanodontidae (Romo de Vivar, 2011; García Alcántara,
603 2016; Chavarría-Arellano *et al.*, 2018). The tentative identification of some isolated teeth
604 and fragmented jaws suggests presence of Xantusiidae and Scincidae (Chavarría-Arellano
605 *et al.*, 2018). Currently, the only known Squamata capable of producing eggs with rigid and
606 completely calcified eggshells are geckos of the Gekkoninae and Sphaerodactylinae
607 subfamilies (Deeming, 1988; Packard and Hirsch, 1989; Choi *et al.*, 2018). Fernández *et al.*
608 (2015) have reported the first rigid-eggshell with preserved embryo of an anguimorph
609 from the early Cretaceous in Thailand. Crystallographic observations differentiated the
610 gecko eggshells of this study from those reported by Fernández *et al.* (2015), indicating the
611 possibility of a gecko species in the El Gallo formation.

612

613 *6.2 Preservation state of dinosaur eggshells*

614 The primary signals from isotopic compositions of eggshells required evaluation of the
615 diagenetic alterations. XRD data indicate that the eggshells are mainly composed of calcite,
616 a fact that is corroborated with the abundance of CaO (ca. 50%) in XRF analysis. Although
617 other methods such as cathodoluminescence could have been useful, our data suggest that
618 the isotopic composition was not obscured by diagenesis (e.g. Cojan *et al.*, 2003; Fricke *et*
619 *al.*, 2008, 2009; Grellet-Tinner *et al.*, 2010). In the absence of cathodoluminescence
620 studies, we used Mn and Fe contents to evaluate the preservation state of fossil eggshells as
621 intensity of cathodoluminescence is correlated with Mn abundance and Fe quenches the
622 luminescence in eggshell (Cojan *et al.*, 2003; Montanari, 2018). Both elements are not

623 common in eggshells of the current study, but they are typically present in anoxic pore
624 fluids, replacing calcium in the crystal lattice, and in recrystallizing calcite of the eggshell
625 during diagenesis (Grellet-Tinner *et al.*, 2010; Montanari, 2018). Samples from the
626 Cascarita, El Tortugario and Esqueleto have Mn of 1,239 ppm, 2,169 ppm and 1,781 ppm
627 respectively. Similarly, Fe concentrations are 699 ppm in Cascarita, 420 ppm in El
628 Tortugario. It remained below the detection limit in the Esqueleto sample. Cojan *et al.*
629 (2003) suggested that fossil eggshells showing bright luminescence have Mn concentration
630 in the range 300 – 3000 ppm. Eggshells of *Maiasaurua peeblesorum* with Mn
631 concentration 1560 ppm and Fe of 741 ppm presented Cl of 11.3% (Dawson *et al.*, 2019).
632 Compared to *M. peeblesorum*, the Cascarita sample has lower Mn and Fe concentrations
633 and the Esqueleto sample has slightly higher Mn and lower Fe (< detection limit). It is
634 possible that the Cascarita and Esqueleto eggshells have luminescence signal similar or
635 lower compared to *M. peeblesorum*. In addition, the preservation of original microstructure
636 characterizes the eggshells as moderately preserved and therefore the stable isotope data
637 can be used for paleoenvironmental interpretations (e.g. Dawson *et al.*, 2019).
638 However, the Lampeosaurine eggshells from El Tortugario lost their original
639 microstructure (Fig. 2F), similar to the eggshells of *Hypacrosaurus stebingeri* from Devil's
640 Coulee, and the indeterminate lambeosaurine from Wann's Hill (both in Canada, Dawson *et al.*
641 *et al.*, 2019). But the concentrations of Mn and Fe in eggshells of the El Tortugario locality
642 are different, almost half in the case of Mn and a fifth in the case of Fe when compared
643 with the eggshells of *H. stebingeri*. Similarly, they are two thirds of Mn and one quarter of
644 Fe present in the indeterminate lambeosaurine. These differences do not alter the fact that
645 the eggshells from El Tortugario fall into the poorly preserved category (Dawson *et al.*,
646 2019). We considered that the isotopic data from Cascarita and Esqueleto localities show

647 minimal alteration and hence suitable for paleoenvironmental interpretations. The stable
 648 isotopes from the El Tortugario eggshells could have been altered, but the comparison with
 649 stable isotope compositions of carbon and oxygen in pedogenic nodules from the El Gallo
 650 formation do not show overlapping (Fig. 9). The pedogenic nodules are depleted by more
 651 than 2‰ compared to the eggshells from Cascarita and Esqueleto in the $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ plot,
 652 and in the case of El Tortugario's samples the differences is on the $\delta^{18}\text{O}$ values. Diagenesis
 653 tends to reduce or minimize the differences in isotopic composition between the eggshell
 654 and nodules. Therefore, the different isotopic composition of eggshells compared to the
 655 carbonate nodules serve here as an evidence to support the hypothesis that the initial
 656 isotopic values of the poorly preserved eggshells from El Tortugario, as well the
 657 moderately preserved eggshells from the other two sites were not significantly altered by
 658 diagenesis, and their primary environmental signal were preserved (Sakar *et al.*, 1991;

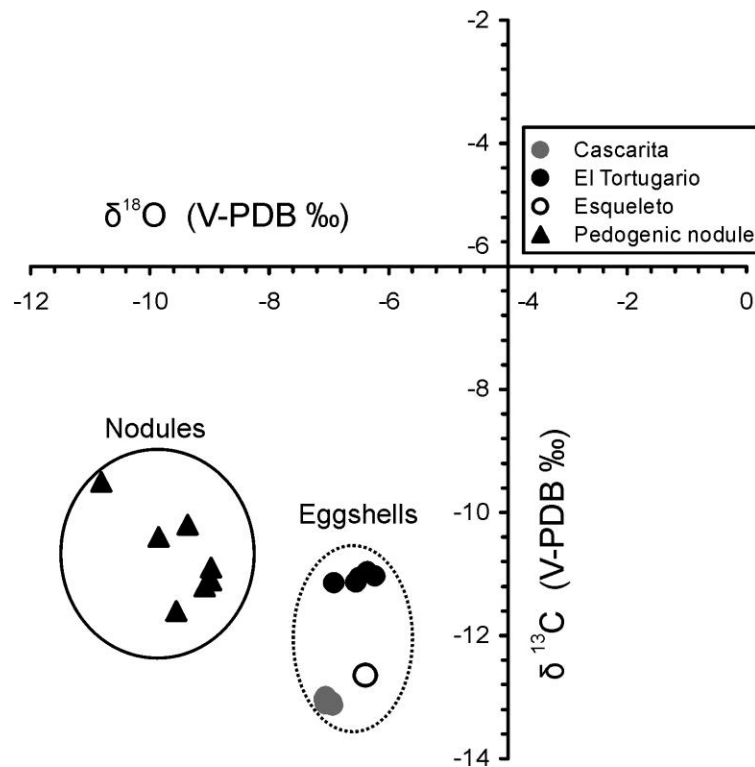


Figure 9. Combined $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ plots for the ornithopod eggshells and the carbonate nodules from El Gallo formation. Note how the dinosaur eggshell samples don't overlap the pedogenic nodules.

659 Cojan *et al.*, 2003; Fricke *et al.*, 2008; Bojar *et al.*, 2010; Montanari *et al.*, 2013).

660

661 6.3 Paleoenvironment

662 The dinosaur eggshells provide important paleoenvironmental information as $\delta^{13}\text{C}$ of the
663 biogenic carbonate reflects composition of the ingested food, taking into account the
664 fractionation caused by metabolic processes (Von Shiringding *et al.*, 1982; Schaffner and
665 Swart, 1991). Similarly, the $\delta^{18}\text{O}$ values are related to the ingested water (Folinsbee *et al.*,
666 1970; Sakar *et al.*, 1991). The eggshells from El Gallo formation show homogeneous
667 values in each of the localities with the mean $\delta^{13}\text{C}$ values of -13.07‰ in Cascarita, -
668 12.64‰ in Esqueleto and -11.06‰ in El Tortugario. We also found some differences
669 between $\delta^{13}\text{C}$ values from this study and other Upper Cretaceous localities. In Spain, the
670 dinosaur eggshells in Tremp Formation (Reiera *et al.*, 2013) and Coll de Nargó (Erben *et*
671 *al.*, 1979) have $\delta^{13}\text{C}$ values of -15.03‰ to -11.36‰ and -14.2‰ to -12.9‰, respectively.
672 The hadrosaur eggshells from Hațeg Basin in Romania have $\delta^{13}\text{C}$ between -15.0‰ to -
673 12.6‰ (Bojar *et al.*, 2005, 2010). The stable isotope compositions from Spain and Romania
674 are more negative and some of them overlap with the $\delta^{13}\text{C}$ of this work. The $\delta^{13}\text{C}$ values
675 from dinosaur eggshells of the Provence Basin (France) have wide dispersion. Erben *et al.*
676 (1979) reported $\delta^{13}\text{C}$ values of -14.5‰ to -8.4‰ and Cojan *et al.* (2003) obtained similar
677 $\delta^{13}\text{C}$ values varying between -14.61‰ and -8.01‰. In both cases, $\delta^{13}\text{C}$ are relatively more
678 negative as well as more positive compared to this work. The Asian dinosaurs have distinct
679 $\delta^{13}\text{C}$ values compared to the El Gallo formation. The range -6.4‰ to -4.0‰ in Mongolia
680 are much more positive than this work and all these variations are signals to the different
681 environmental conditions (Erben *et al.*, 1979; Montanari *et al.*, 2013). In the Nanxiong
682 Basin (China), the $\delta^{13}\text{C}$ values of dinosaur eggshells range from -11.6‰ to -8.37‰ (Zhao

683 and Yang, 2000). The Lameto Bebs in India have $\delta^{13}\text{C}$ between -12.3‰ to -8.4‰ (Sakar *et*
684 *al.*, 1991). In North America, the dinosaur eggshells belonging to North Horn (Utah) have
685 $\delta^{13}\text{C}$ between -14.5‰ to -9.4‰ (Erben *et al.*, 1979). This wide range was attributed to
686 distinct environments with different vegetations where the dinosaurs lived (Cojan *et al.*,
687 2003).

688 Considering the fractionation of ~16‰ between eggshells and the food source of the birds,
689 the carbon isotopic composition of ingested food varied between -29‰ in Cascarita, -28‰
690 in Esqueleto and -27‰ in El Tortugario, all of them similar to C3 plants (e.g. Von
691 Shirnding *et al.*, 1982; Schaffner and Swart, 1991; Johnson *et al.*, 1998). Our results are
692 comparable to values previously obtained from enamel and dentin of hadrosaur teeth. With
693 the fractionation of 19‰ (Fricke *et al.*, 2008), Fastovsky *et al.* (2020) reported an average
694 $\delta^{13}\text{C}$ of ~29‰ (ranges between -26‰ and -30‰) for the Campanian age vegetation in Baja
695 California. Both our new results and the previous study reinforces the interpretation that the
696 negative $\delta^{13}\text{C}$ values can be related to humid conditions (Tienzen, 1991). C3 plants in
697 environments with an average annual rainfall of > 500 mm/year, possibly higher than 1,100
698 mm/year, have $\delta^{13}\text{C}$ between -27‰ and -29‰ (Kohn, 2010).

699 These $\delta^{13}\text{C}$ values represent vegetation of more humid environment compared to other
700 localities in North America, such as the Two Medicine and the Fruitland formations (Fricke
701 *et al.*, 2008, 2009). However, the sedimentary evidence suggests wet/dry cyclicity and a
702 significant drainage in the paleosols (e.g. Fastovsky *et al.*, 2020). The negative $\delta^{13}\text{C}$
703 excursion in an environment of fluctuating hydroclimate was possible due to higher
704 proportion of angiosperms than gymnosperms in Baja California compared to other
705 locations of the Western Interior Basin (Fastovsky *et al.*, 2020). The eggshells composition
706 also corresponds to the food source prior of the egg formation, and therefore these isotopic

707 data might also represent instantaneous moments in the life of an animal (Johnson *et al.*,
708 1998). The C3 plants with more negative $\delta^{13}\text{C}$, inferred from eggshells of the El Gallo
709 formation in Baja California, enables the idea that dinosaur possibly fed on them during the
710 wetter intervals over the Campanian.

711 Similar to Bojar *et al.* (2010), Montanari *et al.* (2013) and Riera *et al.* (2013), we observed
712 discrepancy in $\delta^{13}\text{C}$ calculated from C3 plants from the eggshells and pedogenic nodules.
713 Using the calcrete-vegetation enrichment factor of $\sim 16\text{‰}$ (Cerling and Quade, 1993), the
714 pedogenic nodules suggested $\delta^{13}\text{C}$ composition of C3 plants to vary between -22‰ and -
715 27.60‰ . These values are slightly more positive than those reported from the dinosaur
716 eggshells. This discrepancy could be due to the fact that soil carbonate provides the isotopic
717 composition of vegetation that grew at that particular site, while the eggshells $\delta^{13}\text{C}$ is a
718 proxy of the ingested food in an area where the dinosaur lived (Bojar *et al.*, 2010; Riera *et*
719 *al.*, 2013).

720

721 The $\delta^{18}\text{O}$ values of this study are similar to the hadrosaur teeth recovered from other nearby
722 sites and they are slightly more positive compared to the tooth enamel (Fastovsky *et al.*,
723 2020). In this way, our new data agree with the latitudinal gradient of $\delta^{18}\text{O}$ proposed by
724 Fricke *et al.* (2008, 2009). Baja California presents the more positive $\delta^{18}\text{O}$ values compared
725 to other sites of the Western Interior Basin. Its geographic position in respects to the Pacific
726 Ocean might explain this difference as the marine air masses discharge rain with higher
727 $\delta^{18}\text{O}$ in regions near to the coast before reaching the rising mountains (Fastovsky *et al.*,
728 2020). The hadrosaurs are considered homeotherms (Dawson *et al.*, 2019) and the $\delta^{18}\text{O}$
729 values of their eggshells are directly influenced by $\delta^{18}\text{O}$ of the drinking water slightly
730 before and during the oogenesis (Erben *et al.*, 1979; Folinsbee *et al.*, 1970; Johnson *et al.*,

731 1998). In other study, the birds, both terrestrial and semi-aquatic, show a linear correlation
732 between eggshells oxygen isotope composition and $\delta^{18}\text{O}$ of the ingested water (Johnson *et*
733 *al.*, 1998; Lazzerini *et al.*, 2016). Using the equation of Lazzerini *et al.* (2016) for terrestrial
734 birds, we estimated the average $\delta^{18}\text{O}$ values of ingested water as $-9.10 \pm 3.04\text{‰}$ (V-SMOW)
735 for Cascarita, $-8.54 \pm 3.07\text{‰}$ (V-SMOW) for El Tortugario and $-8.40 \pm 3.08\text{‰}$ (V-SMOW)
736 for Esqueleto eggshells.

737 The $\delta^{18}\text{O}$ values of pedogenic carbonates are related to composition of the meteoric water,
738 temperature and evaporation of the soil water (Cerling and Quade, 1993; Levin *et al.*,
739 2004). We obtained $\delta^{18}\text{O}$ composition of meteoric water from carbonate nodules (-8.98‰
740 to -12.38‰ $\delta^{18}\text{O}$, V-PDB), to be approximately between -10.5‰ and -14.5‰ (V-SMOW)
741 by employing the graphs of Cerling and Quade (1993). The dinosaur drinking water shows
742 a slight enrichment compared to the meteoric water. This indicates an environment with
743 warm temperature and the significant evaporation enriched the drinking water in ^{18}O
744 compared to the precipitation in the Campanian Baja California (e.g. Mook, 2000). The
745 estimated values of $\delta^{18}\text{O}$ for ingested water of the dinosaur only correspond to the short
746 period of eggshell formation (Von Shiring *et al.*, 1982) and do not represent the annual
747 $\delta^{18}\text{O}$ values of the water bodies. Using $\delta^{18}\text{O}$ of the pedogenic nodules together with the
748 average $\delta^{18}\text{O}$ values of the drinking water in the equation by Craig (1965), and as proposed
749 by Anderson and Arthur (1983), we estimate the atmospheric temperatures as: 15.5 °C to
750 31.0 °C with a mean of 19.4 °C for Cascarita, 17.8 °C to 33.8 °C with a mean of 21.9 °C
751 for El Tortugario and 18.4 °C to 34.5 °C with a mean of 22.5 °C in Esqueleto. This range of
752 reconstructed temperature is related to the wide range of $\delta^{18}\text{O}$ values in the pedogenic
753 carbonates. However, the mean atmospheric temperatures of around 21 °C in the three
754 localities are near to the mean annual temperature for the paleo-latitude of El Gallo

755 formation. Amiot *et al.* (2004) estimated a thermal latitudinal gradient during the Late
756 Campanian-Middle Maastrichtian and the mean annual temperature of 19 – 20°C at the
757 paleo-latitude of 35°, where the El Gallo formation was located.
758 Based on the conjunction of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ data, the possible environmental conditions in
759 the Campanian of Baja California and during the dinosaur oogenesis correspond to humid
760 conditions with precipitation >500 mm/year (possibly greater than 1,100 mm/year) (Kohn,
761 2010), dominated by angiosperm plants over gymnosperms (Fastovsky *et al.*, 2020; Hayes
762 *et al.*, 2018), with warm conditions that generated significant evaporation of the meteoric
763 water in soil and water bodies that the dinosaur drank and a possible air mean annual
764 temperature between 19.4 and 22.5 °C.

765

766 7. Conclusions

- 767 • Among the different eggshells recovered from the Campanian deposits of El Gallo
768 formation in Baja California, ten were assigned to dinosaurs, one to crocodile and
769 one to gecko. The dinosaur eggshells correspond to ornithopod, possible hadrosaurs,
770 and this was the most abundant in all the sites. Other dinosaur eggshells belonged to
771 non-avian theropods (seven ootaxa) as well as the avian (two ootaxa). The ootaxa
772 *Prismatoolithus* and *Continuoolithus* were associated with the bone records of
773 troodontidae and oviraptorosauridae, respectively. The newly found theropod
774 eggshells and presence of enantheornites birds are evidence of the diversity of small
775 size theropods in Baja California.
- 776 • Crocodile eggshells can be correlated with the records of *Leydysuchus* and
777 *Brachychampsa*. On the other hand, the gecko eggshell could not be correlated with

778 the records of lepidosaurs, indicating the possible existence of a new type of gecko
779 in the Campanian Baja California.

- 780 • Even though the mineral and chemical compositions of the *Spheroolithus* eggshells
781 used for isotopic analysis did not show anomalies, the presence of Mn and Fe
782 suggested possible diagenetic alterations. The eggshells from lambeosaurine nest
783 also did not preserve primary microstructure. Despite these variations, the isotopic
784 compositions were presumably not modified significantly. It was supported by
785 different isotopic values of eggshells and the pedogenic carbonate nodules.
- 786 • The stable isotope composition of *Spheroolithus* eggshells from the Cascarita and
787 Esqueleto localities and Lambeosaurine eggshells from the El Tortugario locality
788 are congruent with the values of enamel and dentin of the hadrosaurs teeth obtained
789 from other sites within the El Gallo formation.
- 790 • Reconstructed $\delta^{13}\text{C}$ of -27‰ to -29‰ for the C3 plants suggested humid conditions
791 with possible precipitation of > 1,100 mm/year. The $\delta^{18}\text{O}$ composition of eggshells
792 (-6.23‰ to -7.07‰), slightly more negative compared to tooth enamel, agree with
793 the latitudinal gradient of $\delta^{18}\text{O}$ proposed by Fricke *et al.* (2008, 2009).
- 794 • Based on the comparison between reconstructed $\delta^{18}\text{O}$ of ingested water and
795 meteoric water, we inferred warm temperatures and evaporative conditions in Baja
796 California during the Campanian stage. The mean atmospheric temperature of 21 °C
797 was similar to the mean annual temperature estimated by Amion *et al.* (2004) for
798 the paleo-latitude of El Gallo formation.

799
800

801 **Acknowledgements**

802 The results of this research were generated during the study of the first author to obtain a
803 Master degree in the Posgrado de Ciencias Biológicas, UNAM. Special thanks to L. E.
804 Gómez Lizárraga (Instituto de Ciencias de Mar y Limnología, UNAM), for SEM and P.
805 Girón García (Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología,
806 UNAM) for XRD and XRF analyses. We would like to thank Jason Curtis for the stable
807 Isotope analysis and extend our gratitude to all the persons that participated in different
808 field seasons and helped with sample screen-washing. JSCH would like to thank M. L.
809 Chavarria Arellano (UNAM) for helping with image editing, the Posgrado en Ciencias
810 Biológicas (UNAM), and the CONACyT scholarship (CVU 1002773). Research grants to
811 MMB (PAPIIT IN 100913, IN 103616) helped to generate the data used in this paper.
812 MMB wants to acknowledge the support of the Rojas and Acevedo families and friendship
813 of R. Hernández-Rivera and G. Alvarez-Reyes, without their support in El Rosario this
814 work could not have been carried out.

815 **8. Literature cited**

816 Agnolin, F.L., Powell, J.E., Novas, F.E., Kundrát, M., 2012. New alvarezsaurid
817 (Dinosauria, Theropoda) from uppermost Cretaceous of north-western Patagonia with
818 associated eggs. *Cretaceous Research* 35, 33-56.

819 Aguillón-Martínez, M., Zelenitsky, D.K., Brikman, D., Eberth, D., 2004. Eggshell
820 fragments from the uppermost Cerro del Pueblo Formation (Upper Cretaceous; Mexico).
821 *Journal of Vertebrate Paleontology* 24, 33A.

822 Amiot, R., Lécuyer, C., Buffetaut, E., Fluteau, F., Legendre, S., Martineau, F., 2004.
823 Latitudinal temperature gradient during the Cretaceous Upper Campanian-Middle

824 Maastrichtian: $\delta^{18}\text{O}$ record of continental vertebrates. *Earth and Planetary Science Letter*
825 *224*, 255-271.

826 Anderson, F., Arthur, M.A., 1983. Stable isotopes of oxygen and carbon and their
827 application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. In: Anderson, T.F.,
828 Arthur, M.A. (Eds.) *Stable Isotopes in Sedimentary Geology*, SEPM Short Course, 10, pp.
829 1.1-1.151.

830 Barta, D.E., Brundridge, K.M., Croghan, J.A., Jackson, F.D., Varricchio, D.J., Jin, X.,
831 Poust, A.W., 2013. Eggs and clutches of the Spheroolithidae from the Cretaceous Tiantai
832 Basin, Zhejiang province, China. *Historical Biology: An International Journal of*
833 *Paleontology* *26*, 183-194.

834 Bojar, A.-V., Grigorescu, D., Ottner, F., Csiki, Z., 2005. Palaeoenvironmental
835 interpretation of dinosaur- and mammal-bearing continental Maastrichtian deposits, Hațeg
836 basin, Romania. *Geological Quarterly* *49(2)*, 205-222.

837 Bojar, A.-V., Csiki, Z., Grigorescu, D., 2010. Stable isotope distribution in Maastrichtian
838 vertebrates and paleosols from the Hațeg Basin, South Carpathians. *Palaeogeography,*
839 *Palaeoclimatology, Palaeocology* *193*, 329-342.

840 Bray, E.S., 1999. *Eggs and eggshells from the upper Cretaceous North Horn Formation,*
841 *Central Utah*. In: Gillette, D.D. (Ed.), *Vertebrate Paleontology in Utah*. Miscellaneous
842 Publication 99 Utah Geological Survey, Utah, pp. 361-376.

843 Brodkord, P., 1976. *Discovery of a Cretaceous bird, apparently ancestral to the orders*
844 *Coraciiformes and Piciformes (Aves: Carinatae)*. In: Olson, A.L. (ed.), *Collected Papers in*
845 *Avian Paleontology Honoring the 90th Birthday of Alexander Wetmore*. Smithsonian
846 Institution Press, Ciudad de Washington, pp. 67-74.

847 Cabrera-Hernández, J.S., Hernández-Rivera, R., Montellano-Ballesteros, M., 2018. Fossil
848 eggshells and two perinatals dinosaurs from the El Gallo Formation (Late Cretaceous) El
849 Rosario, Baja California, Mexico. *Society of Vertebrate Paleontology, Abstracts of papers,*
850 *78th Annual meeting*, 100.

851 Carpenter, K., 1999. Eggs, nest, and baby dinosaurs: A look at dinosaur reproduction. Life
852 of the past. *Indiana University Press, Indiana*, 336 pp.

853 Cerling, T.E., Quade, J., 1993. Stable carbon and oxygen isotopes in soil carbonates. In:
854 Swart, P.K., Lohmann, K.C., McKenzie, J.A., and Savin. S. (Eds), *Climate Change in*
855 *Continental Isotopic Records*, American Geophysical Union, *Geophysical Monograph 78*,
856 217-231

857 Chavarría-Arellano, M.L., García-Alcántara, D., Romo de Vivar-Martínez, P., Montellano,
858 M., 2018. Lizard from El Gallo Formation (Campanian) Baja California, Mexico. *Society*
859 *of Vertebrate Paleontology, Abstracts of papers, 78th Annual meeting*, 104.

860 Cojan, I., Renard, M., Emmanuel, L., 2003. Palaeoenvironmental reconstruction of dinosaur
861 nesting sites base on a geochemical approach to eggshells and associated palaeosols
862 (Maastrichtian, Provence Basin, France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology,*
863 *Palaeoecology 191*, 111-138.

864 Craig, H., 1995. *The measurement of oxygen isotope paleotemperatures*. In: tongiorgi, E.,
865 (Ed.) *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. Consiglio
866 Nazionale delle Ricerche-Laboratorio de Geologia Nucleare, Pisa, pp. 161-182.

867 Dawson, R.R., Field, D.J., Hull, P.M., Zelenitsky, D.K., Therrien, F., Affek, H.P., 2019.
868 Eggshell geochemistry reveals ancestral metabolic/thermoregulation in Dinosauria. *Science*
869 *Advances 6*, eaax9361

870 Deeming, D.C. 1988. Eggshell structure of lizards of two sub-families of the Gekkonidae.
871 *Herpetological Journal* 1, 230-234.

872 Dewaele, L., Tsogtbaatar, K., Barsbold, R., Garcia, G., Stein, K., Escuillié, F., Godefroit,
873 P., 2015. Perinatal specimens of *Saurolophus angustirostris* (Dinosauria: Hadrosauridae),
874 from the Upper Cretaceous of Mongolia. *PloS ONE* 10, e0138806.

875 Erben, H.K., Hoefs, J., Wesepohl, K.H., 1979. Paleobiological and isotopic studies of
876 eggshells from a declining dinosaur species. *Paleobiology* 5(4), 380-414.

877 Fanti, F., Currie, P.J., Badamgarav, D., 2012. New specimens of *Negmegtomaia* from the
878 Baruungoyot and Nemegt Formations (Late Cretaceous) of Mongolia. *PLoS ONE* 7(2),
879 e31330.

880 Fastosvky, D.E., Montellano-Ballesteros, M., Fricke, H.C., Ramezani, J., Tukai, K.,
881 Wilson, G.P., Hall, O., Hernández-Rivera, R., Álvarez, G., 2020. Paleoenvironments,
882 taphonomy, and stable isotopic contents of the terrestrial, fossil-vertebrate bearing sequence
883 of the El Disecado Member, El Gallo Formation, Upper Cretaceous, Baja California,
884 Mexico. *Geosphere* 16, 1-21.

885 Fernandez, V., Buffetaut, E., Suteethom, V., Rage, J.C. Tafforeau, P., Kundrát, M. 2015.
886 Evidence of egg diversity in Squamata evolution from Cretaceous anguimorph embryos.
887 *Plos one* 10(7), e0128610.

888 Fernández M.S., Wang, X., Vremir, M., Laurent., Naish, D., Kaiser., G., Dyke, G., 2019. A
889 mixed vertebrate eggshell assemblage from the Transylvanian Late Cretaceous. *Scientific*
890 *Reports* 9, 1-10.

891 Folinsbee, R.E., Fritz, P., Krouse, H.R., Robblee, A.R., 1970. Carbon-13 and Oxygen-18 in
892 Dinosaur, crocodile, and bird Eggshells indicate environmental conditions. *Science* 168,
893 1353-1355.

894 Fricke, H.C., Rogers, R.R., Backlund, R., Dwyer, C.N., Echt, S., 2008. Preservation of
895 primary stable isotope signals in dinosaur remains, and environmental gradients of the Late
896 Cretaceous of Montana and Alberta. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*
897 266, 13–27.

898 Fricke, H.C., Rogers, R.R., Gates, T.A., 2009. Hadrosaurid migration: inferences based on
899 stable isotope comparisons among Late Cretaceous dinosaur localities. *Paleobiology* 35,
900 270-288.

901 Fulford, M.M., Busby, C.J., 1993. Tectonic control on non-marine sedimentation in a
902 Cretaceous fore-arc basin, Baja California, Mexico. *International Association of*
903 *Sedimentologists* 20, 301-333.

904 García-Alcántara, D., 2016. Microvertebrados cretácicos de la localidad Fiesta de Huevos,
905 El Rosario, Baja California, México. Tesis profesional de licenciatura. Facultad de
906 Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de
907 México, 89 pp.

908 García-Gil, A., 2020. Terópodos pequeños provenientes de la formación El Gallo,
909 Cretácico Tardío, Baja California, México. Tesis profesional de licenciatura. Facultad de
910 estudios superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de
911 México, 103 pp.

912 Gautron, J., Stapane, L., Le Roy, N., Nys, Y., Rodriguez-Navarro, A.B., Hincke, M.T.,
913 2021. Avian eggshells biomineralization: an update on its structure, mineralogy and protein
914 tool kit. *BMC Molecular and Cell Biology* 22. <https://doi.org/10.1186/s12860-021-00350-0>

915 Glut, D.F., 2003. “Appendix: Dinosaur tracks and eggs”. *Dinosaurs: The Encyclopedia*. 3rd
916 Supplement. Jefferson, North Carolina, McFarland and Company, Inc. pp 613-652.

917 Grellet-Tiner, G., Makovichy, P. 2006. A possible egg of the dromaeosaur *Deinonychus*
918 *antirrhopus*: phylogenetic and biological implications. *Canadian Journal of Earth*
919 *Sciences* 43, 705-719.

920 Grellet-Tinner, G., Norell, M., 2002. An avian egg from the Campanian of Bayn Dzak,
921 Mongolia. *Journal of Vertebrate Paleontology* 22(3), 719-721.

922 Grellet-Tinner, G., Corsetti, F., Buscalioni, D., 2010. The importance of microscopic
923 examinations of eggshells: discrimination of bioalteration and diagenetic overprints from
924 biological features. *Journal of Iberian Geology* 36, 181–192.

925 Grellet-Tinner, G., 2006. Phylogenetic interpretation of eggs and eggshells: implications for
926 phylogeny of Palaeognathae. *Alcheringa* 30, 141-182.

927 Hayes, R.F., Smith, S.Y., Montellano-Ballesteros, M., Álvarez-Reyes, G., Hernández-
928 Rivera, R., Fastovsky, D.E., 2018. Cornelean affinities, phylogenetic significance, and
929 biogeographic implications of *Operculifrctus* infructescences from the Late Cretaceous
930 (Campanian) of Mexico. *American Journal of Botany* 105(11), 1-18.

931 Hernández-Rivera, R., 1997. Mexican dinosaurs. In: Currie, P.J. and Padian K. (Eds.),
932 Encyclopedia of Dinosaurs. Academic Press, San Diego, California, 433–437.

933 Hilton, R.P., 2003. Dinosaurs and other Mesozoic Reptiles of California. University of
934 California Press, Berkeley, California, 356 pp.

935 Hirsch, F.K., 1996. Parataxonomic classification of fossil Chelonian and Gecko eggs.
936 *Journal of Vertebrate Paleontology* 16(4), 752-762.

937 Hirsch, K. F., Kohring, R., 1992. Crocodylian eggs from the middle Eocene Bridger
938 Formation, Wyoming. *Journal of Vertebrate Palaeontology* 12(1), 56-65.

939 Hirsh, K.F., Quinn, B., 1990. Eggs and eggshell fragments from the Upper Cretaceous Two
940 Medicine Formation of Montana. *Journal of Vertebrate Paleontology* 10(4), 491-511.

941 Horner, J.R., Makela R., 1979. Nest of juveniles provides evidence of family structure
942 among dinosaurs. *Nature* 282, 296-298

943 Jackson, F.D., Horner, J.R., Varricchio, D.J., 2010. A study of a *Troodon* egg containing
944 embryonic remains using epifluorescence microscopy and other techniques. *Cretaceous*
945 *Research* 31, 255-262.

946 Jackson, F.D., Varricchio, D.J., 2010. Fossil eggs and eggshell from the lowermost Two
947 Medicine Formation of western Montana, Sevenmile Hill Locality. *Journal of Vertebrate*
948 *Paleontology* 30, 1142-1156.

949 Jackson F.D., Varricchio, D.J., 2016. Fossil egg and eggshells from the upper Cretaceous
950 Hell Creek formation, Montana. *Journal of Vertebrate Paleontology*, e1185432.

951 Johnson, B.J., Fogel, M.L., Miller, G.H., 1998. Stable isotopes in modern ostrich eggshell: a
952 calibration for paleoenvironmental applications in semi-arid regions of southern Africa.
953 *Geochimical et Cosmochimica Acta* 62(14), 2451-2461.

954 Kilmer, F.H., 1963. Cretaceous and Cenozoic Stratigraphy and Paleontology, El Rosario
955 area, Baja California, Mexico. PH. D. dissertation, University of California, Berkeley,
956 USA, 216 pp.

957 Kohn, M.J., 2010. Carbon isotope compositions of terrestrial C3 plants as indicators
958 (paleo)ecology and (paleo)climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107,
959 19691–19695.

960 Kohring, R., Hirsch, K.F., 1996. Crocodylian and avian eggshells from the middle Eocene
961 of the Guiseltal, Eastern Germany. *Journal of Vertebrate Paleontology* 16(1), 67-80.

962 Lazzerini, N., Lécuyer, C., Amiot, R., Angst, D., Buffetaut, E., Fourel, F., Daux, V.,
963 Betancort, J.F., Flandrois, J.P., Sanches-Marco, A., Lomoschitz, A., 2016. Oxygen isotope

964 fractionation between bird eggshell calcite and body water: application to fossil eggs from
965 Lanzarote (Canary Islands). *Sci Nat* 103(81), DOI 10.1007/s00114-016-1404-x

966 Levin, N.E., Quade, J., Simpson S.W., Semaw,S., Rogers, M., 2004. Isotopic evidence for
967 Plio-Pleistocene environmental change at Gona, Ethiopia. *Earth and Planetary Science*
968 *Letters* 219, 93-110.

969 Lillegraven, J.A., 1972. Preliminary report on Late Cretaceous mammals from the El Gallo
970 Formation, Baja California del Norte, Mexico. Natural History Museum, Los Angeles
971 Country, Contribution Science 232, 1-11.

972 Lillegraven, J.A., 1976. A new genus of therian mammal from the Late Cretaceous “El
973 Gallo Formation,” Baja California, Mexico. *Journal of Paleontology* 50(3), 437-443.

974 Marsola, J.C. de A., Grellet-Tinner, G., Montefeltro, F. C., Sayão, J.M., Schmaltz-Hsiou,
975 A., Langer, M.C., 2014. The first fossil avian egg from Brazil. *Alcheringa: An Australasian*
976 *Journal of Palaeontology* 38, DOI: 10.1080/03115518.2014.926449

977 Martínez-Díaz, J.L., 2011. El registro fósil de anquilosaurios (Thyreophora-Ankylosauria)
978 de Cretácico Superior de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad
979 Nacional Autónoma de México, México D.F., 49 pp.

980 Mikhailov, K.E., 1991. Classification of fossil eggshells of amniotic vertebrates. *Acta*
981 *Palaeontologica Polonica* 36, 193-238; pls 21-39.

982 Mikhailov, K.E., 1997. Fossil and recent eggshell in amniotic vertebrates: Fine structure,
983 comparative. *The Paleontological Association, London*, 80 pp.

984 Mikhailov, K.E., Bray, E.S. Hirsch, K.F., 1996. Parataxonomy of fossil eggs remains
985 (Veterovata): Principles and applications. *Journal of Vertebrate Paleontology* 16, 763-769.

986 Montanari, S., 2018. Cracking the egg: the use of modern and fossil eggs for ecological,
987 environmental and biological interpretation. *R. Soc. Open sci.* 5,180006.

988 Montanari, S., Higgins, P. Norell, M.A., 2013. Dinosaur eggshell and tooth enamel
989 geochemistry as an indicator of Mongolian Late Cretaceous paleoenvironments.
990 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 370, 158-166.

991 Montellano, M., Wilson, G., Álvarez-Reyes, G., Hernández-Rivera, R., Quintero, E.,
992 Aranda-Manteca, F., 2005. New material of *Polyglyphanodon bajaensis* from El Rosario
993 Baja California, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 25(39), 93A

994 Montellano-Ballesteros, M., Wilson, G.P., Hernández-Rivera, R. Álvarez-Reyes, G.,
995 Aranda-Manteca, F., 2008. Microvertebrados de la Formación El Gallo (Cretácico
996 Superior), Baja California, México. *Libro de Resúmenes III Congreso Latinoamericano de*
997 *Paleontología de Vertebrados-Neuquén, Patagonia, Argentina*, pp. 161.

998 Mook, W.G., 2000. Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and
999 Applications. Volume I: *Introduction, Theory methods review*. International Atomic Energy
1000 Agency, 291 pp. https://www.hydrology.nl/images/docs/ihp/Mook_I.pdf

1001 Moreno-Azanza, M., Bauluz, B., Canudo, J.I., Puértolas-Pascual, E., Sellés, A.G., 2014. A
1002 re-evaluation of aff. Megaloolithidae eggshell fragments from the uppermost Cretaceous of
1003 the Pyrenees and implications for crocodylomorph eggshell structure. *Historical Biology*
1004 25(2), 195-205

1005 Morris, W.J., 1967. Baja California: Late Cretaceous dinosaurs. *Science New series* 155,
1006 1539-1541.

1007 Morris, W.J., 1973. A review of Pacific Coast hadrosaurs. *Journal of Paleontology* 47, 551-
1008 561.

1009 Morris, W.J., 1981. A new species of hadrosaurian dinosaur from the Upper Cretaceous of
1010 Baja California *Lambeosaurus laticaudus*. *Journal of Paleontology* 55, 453-462.

1011 Norell, M.A., Clark, J. M., Demberelyin, D., Rhinchen, B., Chiappe, L.M., Davidson, A.
1012 R., McKenna, M.C., Altangerel, P., Novacek, M.J., 1994. A theropod dinosaur embryo and
1013 the affinities of the Flaming Cliffs dinosaur eggs. *Science* 266, 779-781.

1014 Oliveira, C. E. M., Santucci, R. M., Andrade, M. B., Fulfaro, V. J., Basilio, J. A. F. y M. J.
1015 Benton. 2011. Crocodylomorph eggs and eggshells from the Adamantina Formation (Bauru
1016 Group), Upper Cretaceous of Brazil. *Paleontology* 54(2): 309-321.

1017 Packard, M.J., Hirsch K.F., 1989. Structure of shells from eggs of the geckos *Gekko gekko*
1018 and *Phelsuma madagascarensis*. *Canadian Journal of Zoology* 67, 746-758.

1019 Peacock, B.R., Wilson, J.A., Hernández-Rivera, R. Montellano-Ballesteros, M., Wilson,
1020 G.P., 2014. First tyrannosaurid remains from the Upper Cretaceous “El Gallo” Formation
1021 of Baja California, Mexico. *Acta Paleontologica Polonica* 59, 71-80.

1022 Prieto-Márquez, A., Chiappe, L.M., Joshi, S.H., 2012. The Lambeosaurine Dinosaur
1023 *Magnapaulia laticaudus* from the Late Cretaceous of Baja California, Northwestern Mexico.
1024 *PloS ONE* 7(6), e38207.

1025 Ramírez-Velasco, A.A., Hernández-Rivera, R., 2015. Diversity of Late Cretaceous
1026 dinosaurs from Mexico. *Boletín Geológico y Minero* 126, 63-108.

1027 Ramirez-Velasco, A.A., Hernández-Rivera, R., Servín-Pichardo, R., 2014. The
1028 hadrosaurian record from Mexico. In: Eberth, D.A. and Evans D.C. (Eds.), *Hadrosaurs*.
1029 Indiana University Press, Bloomington, Indiana, 340-360.

1030 Renne, P.R., Fulford, M.M. Busby-Spera, C., 1991. High resolution $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$
1031 chronostratigraphy of the Late Cretaceous El Gallo Formation, Baja California del Norte,
1032 México. *Geophysical Research Letters* 28(3), 459-462.

1033 Rodríguez de la Rosa, R.A., 1998. Cáscaras de huevo avianas (Neognathae) y de
1034 Ornithopoda (Dinosauria) del Cretácico Tardío, Baja California, México. *VI Congreso*
1035 *Nacional de Paleontología, Memorias*, 59-60.

1036 Romo de Vivar-Martínez, P.R., 2011. Microvertebrados cretácicos tardíos del área de El
1037 Rosario, Baja California, México. Tesis profesional de Licenciatura. Facultad de Ciencias,
1038 Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. Ciudad de México, 146
1039 pp.

1040 Romo de Vivar-Martínez, P.R., Montellano Ballesteros, M., García Alcántara, D., 2016.
1041 Primer registro de la Familia Albanerpetontidae (Lissamphibia) en la formación El Gallo
1042 (Campaniano, Cretácico Superior), Baja California, México. *Boletín de la Sociedad*
1043 *Geológica Mexicana* 68(3), 571-580.

1044 Sarkar, A., Bhattacharya, S.K., Mohabey, D.M., 1991. Stable-isotope analyses of dinosaur
1045 eggshells: palaeoenvironmental implications. *Geology* 19, 1068-1071.

1046 Schaffner, F.C., Swart, P.K., 1991. Influence of diet and environmental water on the carbon
1047 and oxygen isotopic signatures of seabird eggshell carbonate. *Bulletin of Marine Science*
1048 48, 23-38.

1049 Schweitzer, M.H., Jackson, F.D., Chiappe, L.M., Schmitt, J.G. Calvo, J.O., Rubilar, D.E.,
1050 2002. Late Cretaceous avian eggs with embryos from Argentina. *Journal of Vertebrate*
1051 *Paleontology* 22(1), 191-195.

1052 Tanaka, K., Zelenitsky, D.K., Williamson, T., Weil, A., Therrien, F., 2011. Fossil eggshells
1053 from the Upper Cretaceous (Campanian) Fruitland Formation, New Mexico. *Historical*
1054 *Biology* 23, 41-55.

1055 Tanaka, K., Zelenitsky, D.K., Saegusa, H., Ikeda, T., DeBuhr, C.L. Therrien, F., 2016.
1056 Dinosaur eggshell assemblage from Japan reveals unknown diversity of small theropods.
1057 *Cretaceous Research* 57, 350-363.

1058 Tienzen, L.L., 1991. Natural variation in the carbon isotope values of plants: implications
1059 for archaeology, ecology and paleoecology. *Journal of Archaeological Science* 18, 227-
1060 248.

1061 Varricchio, D.J., Horner, J.R. Jackson, F.D., 2002. Embryos and eggs for the Cretaceous
1062 theropod dinosaur *Troodon formosus*. *Journal of Vertebrate Paleontology* 22, 564-576.

1063 Varricchio, D.J., Barta, D.E., 2015. Revisiting Sabath's "Larger Avian Eggs" from the
1064 Gobi Cretaceous. *Acta Palaeontologica Polonica* 60(1), 11-25.

1065 Varricchio, D.J., Jackson, F.D., 2004. Cladistic analysis of eggshell characters: a
1066 phylogenetic assessment of prismatic dinosaur eggs from the Cretaceous Two Medicine
1067 Formation of Montana. *Journal of Vertebrate Paleontology* 24, 931-937.

1068 Von Schrindig, Y., Van Der Merwe, N.J., Vogel, J.C., 1982. Influence of diet and age on
1069 carbon isotope ratios in ostrich eggshell. *Archaeometry* 24, 3-20.

1070 Voris, J.T., Zelenitsky D.K., Therrien, F., Tanaka, K., 2018. Dinosaur eggshells from the
1071 lower Maastrichtian St. Mary River Formation of southern Alberta, Canada. *Canadian*
1072 *Journal Earth Science* 55, 272-282.

1073 Wilson, G., Meng, C., Montellano-Ballesteros, M., 2011. A new multituberculate skull
1074 from the Upper Campanian "El Gallo Formation" Baja California, Mexico. *IV Congreso*
1075 *Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados, San Juan, Argentina: Ameghiniana*, v.
1076 48, no. 4. Supplement, p.R115.

1077 Xie, J.F., Zhang, S.K., Jin, X.S., Li, D.Q., Zhou, L.Q., 2016. A new type of dinosaur eggs
1078 from Early Cretaceous of Gansu Province, China. *VertebrataPalasiatica* 54, 1-10.

1079 Zelenitsky, D.K., Hills, L.V., Currie, P.J., 1996. Parataxonomic classification of ornithoid
1080 eggshell fragments from the Oldman Formation (Judith River Group; Upper Cretaceous),
1081 southern Alberta. *Canadian Journal of Earth Sciences* 33, 1655-1667.

1082 Zelenitsky, D.K., Carpenter K., Currie, P.J., 2000. First record of Elongatoolithid Theropod
1083 eggshell from North America: the Asian oogenus *Macroelongatoolithus* from the Lower
1084 Cretaceous of Utah. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20(1), 130-138.

1085 Zelenitsky, D.K., Therrien, F., Tanaka, K., Currie, P.J., DeBuhr, C.L., 2017. Latest
1086 Cretaceous eggshell assemblage from the Willow Creek Formation (Upper Maastrichtian-
1087 Lower Paleocene) of Alberta, Canada, reveals higher dinosaur diversity than represented by
1088 skeletal remains. *Canadian Journal of Earth Sciences* 54, 134-140.

1089 Zelenitsky, D.K., Hills, L.V., 1997. Normal and pathological eggshell of *Spheroolithus*
1090 *albertensis* oosp. nov., from the Oldman formation (Judith River Group, Late Campanian),
1091 Southern Alberta. *Journal of Vertebrate Paleontology* 17(1), 167-171.

1092 Zelenitsky, D.K., Hills, L.V., 1996. An egg clutch of *Prismatoolithus levis* oosp. nov. from
1093 the Oldman Formation (Upper Cretaceous), Devil`s Coulee, southern Alberta. *Canadian*
1094 *Journal of Earth Sciences* 33, 1655-1667.

1095 Zelenitsky, D.K., Therrien, F., 2008. Unique maniraptoran egg clutch from the Upper
1096 Cretaceous Two Medicine formation of Montana reveals theropod nesting behavior.
1097 *Paleontology* 51, 1253-1259.

1098 Zhao, Z., Yan, Z., 2000. Stables isotopic studies of dinosaur eggshells from the Nanxiong
1099 Basin, South China. *Science in China (Series D)* 43, 84-92.

1100

1101

1102 **Supplementary table 1**

Chemical composition of the ornithopod eggshell from El Gallo formation of Baja California, Mexico.

Mayor Elements (%)												
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Loi	Total
Ca	1.02	0.01	ND	0.1	0.16	0.37	53.82	0.14	0.03	0.16	44.2	100.01
CT	0.99	ND	ND	0.06	0.28	0.34	53.91	0.06	0.02	0.53	43.8	99.99
E12	1.07	ND	ND	ND	0.23	0.32	53.92	0.11	0.04	0.27	Not Det.	

Traza Elements (ppm)															
	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb	Total
Ca	<2	574	661	10	8	<1	21	<3	3	3	15	14	3	6	≥ 1,324
CT	<2	668	196	16	12	<1	18	<3	3	<2	12	16	<2	9	≥ 960

Ca= Cascarita; CT= El Tortugario; E12= Esqueleto; Loi= Loss on ignition to 950°C; ND = Not detected; No Det= Not determined.

1103

1104 **Supplementary table 2**

Carbon and oxygen stable isotope compositions (‰ V-PDB) of the ornithopod eggshells and pedogenic nodules from the El Gallo formation of Baja California, Mexico

Cascarita			El Tortugario			Esqueleto		
Sample	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	Sample	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	Sample	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁸ O (‰)
Ca-1	-13.08	-6.95	CT-1	-11.03	-6.5	E12-1	-12.65	-6.38
Ca-2	-13.03	-7.07	CT-2	-11.14	-6.55			
Ca-3	-13.11	-7.05	CT-3	-11.14	-6.91			
Ca-4	-13.14	-6.93	CT-4	-10.97	-6.35			
Ca-5	-13	-7.06	CT-5	-11.03	-6.23			

Pedogenic nodules (Fastovsky *et al.*, 2020)

Sample	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	Sample	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁸ O (‰)
EGF-1-N1	-10.4	-9.85	EGF-2-N1	-10.9	-8.98
EGF-1-N2	-9.5	-8.98	EGF-2-N1	-6.4	-12.38
			EGF-2-N1	-11.2	-9.08
			EGF-2-N1	-11.6	-9.56
			EGF-2-N1	-10.2	-9.37
			EGF-2-N1	-11.1	-8.98

V. RESULTADOS (Continuación)

5.2 Descripción de los dinosaurios perinatales

Dinosauria Owen, 1842

Ornithischia Seeley, 1887

Ornitopoda Marsh, 1881

Hadrosauridae Cope, 1870

Esqueleto axial

Vértebra cervical: el ejemplar Esq-1PT corresponde a la prezigoapófisis de la vértebra.

Posee una forma alargada casi cilíndrica con excepción de la zona proximal que presenta la faceta de articulación. Esta faceta presenta una forma ovalada y se puede observar en vista cráneo-dorsal. Debido a lo recto de la superficie ventral del proceso, es señal de que perteneció una de las vértebras cervicales posteriores del cuello.

Esqueleto apendicular

Húmero: los ejemplares Jao 200, ES3 y Esq-1H fueron identificados como húmeros y pertenecen a las localidades JAO, Escorpio y Esqueleto respectivamente. El ejemplar Jao 200 es el más completo de los tres y corresponde a un húmero derecho (Fig. 10 e-g).

Carece de la terminación proximal y presenta daños en la región distal, donde deberían estar los cóndilos. La región proximal del elemento está lateromedialmente comprimido. En esta zona se puede observar la cresta deltopectoral que le da una apariencia sigmoidal al elemento en vista lateral. Esta cresta posee una proporción de entre el ancho de la cresta deltopectoral con relación al ancho del eje del hueso de 1.61. Esta proporción se encuentra dentro del rango presente en la subfamilia de los hadrosaurinos, pero esta proporción podría cambiar durante la ontogenia. La superficie medial de la cresta se puede observar una depresión triangular que se expande proximalmente. Esta depresión correspondería al punto de unión del músculo latísimo dorsal (Dilkes, 2000). La zona distal de Jao 200, a pesar de no preservar los cóndilos, presenta una torsión indicando que el cóndilo ulnar se encuentra en una posición posterior con relación al cóndilo radial.

Tanto ES3 como Esq-1H corresponden a fragmentos distales del húmero. ES3 es el menos preservado, careciendo del cóndilo ulnar y muy poco preservado el cóndilo radial (Fig. 10

a-b). A pesar de lo incompleto del ejemplar, al compararlo con el ejemplar Jao 200 se puede observar que presentan la misma desviación de los cóndilos, indicando que el cóndilo ulnar presenta una posición posterior con respecto al cóndilo radial, además que también indica que este fragmento corresponde a un húmero derecho. En vista caudolateral se pueden observar la cavidad medular del hueso en la porción proximal del ejemplar. El ejemplar Esq-1H (Fig. 10 c-d) posee la mejor preservación de los cóndilos en comparación con ES3 y Jao 200. En vista proximal el eje del hueso tiene una forma circular y se puede observar la cavidad medular. El fragmento tiene forma de trapecio isósceles, siendo angosto en la zona proximal, la cual se ensancha distalmente para formar la zona articular del húmero. El cóndilo radial tiene una mayor proyección cranial que el cóndilo ulnar, pero esto puede deberse a que este último está incompleto. A diferencia de los otros dos ejemplares, el cóndilo ulnar no posee una desviación posterior.

Fémur: se recuperaron dos fragmentos de fémures, uno de la localidad El Cielo (ejemplar EC-FH1) y otro de la localidad OK (ejemplar OK-FH1). El ejemplar EC-FH1 prácticamente corresponde la mitad distal de un fémur izquierdo, la cual presenta gran parte del cuarto trocánter y el inicio de los cóndilos (Fig. 11 a-c). En vista proximal el elemento tiene una forma ovalada mientras que en vista dista es cuadrada. El cuarto trocánter tiene una forma de triángulo escaleno con el ápice redondeado. En vista craneal se puede observar un pequeño surco en la región distal del elemento, que podría corresponder con el surco anterior intercondilar. El ejemplar OK-FH1 corresponde a un fémur derecho, el cual carece de sus epífisis y presenta una compresión lateromedial por diagénesis (Fig. 11 d-f). Tanto en vista proximal como distal presenta un perfil ovalado. Su cuarto trocánter, como en todos los hadrosaurios tiene una forma de triángulo escaleno con su ápice redondeado. Se puede observar que el ápice del cuarto trocánter tiene un pequeño ensanchamiento lateromedial, con relación al resto del proceso que es más plano.

Tibia: El ejemplar Ca-TH1 encontrado en la localidad Cascarita, corresponde a la terminación proximal de una tibia izquierda (Fig. 12 a-c). Gran parte de su superficie laterocaudal está dañada careciendo de sus cóndilos. Debido a la condición de perinatal, la cresta cnemial no presenta su gran proyección lateralmente, indicando el poco desarrollo

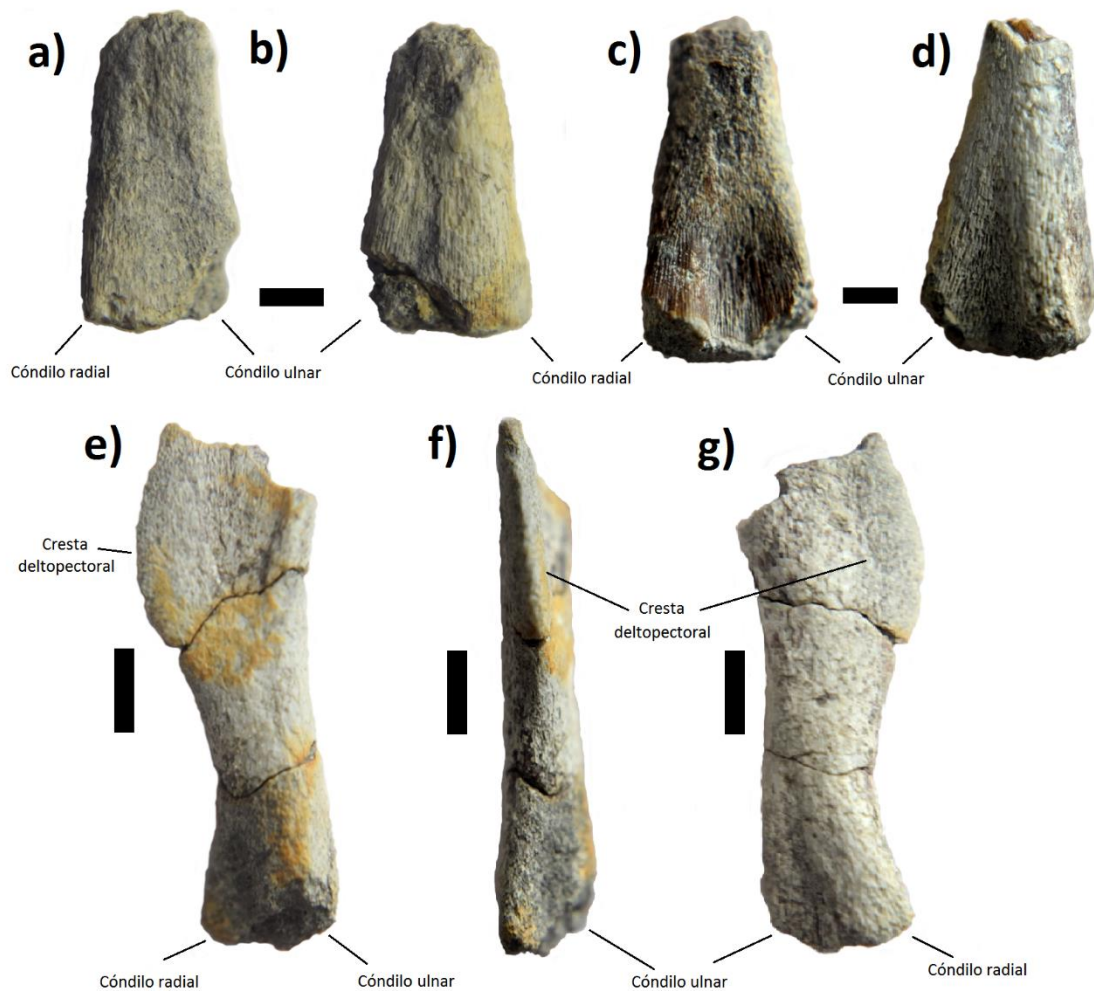


Figura 10. Húmeros aislados de hadrosaurios perinatales de la formación El Gallo. Ejemplar ES3 en vista cráneomedial (a) y caudolateral (b); ejemplar Esq-1H en vista craneal (c) y caudal (d); y ejemplar Jao 200 en vista cráneomedial (e), craneal (f) y caudolateral (g). Escalas en a)-d) equivalen a 3 mm y de e)-g) a 5 mm.

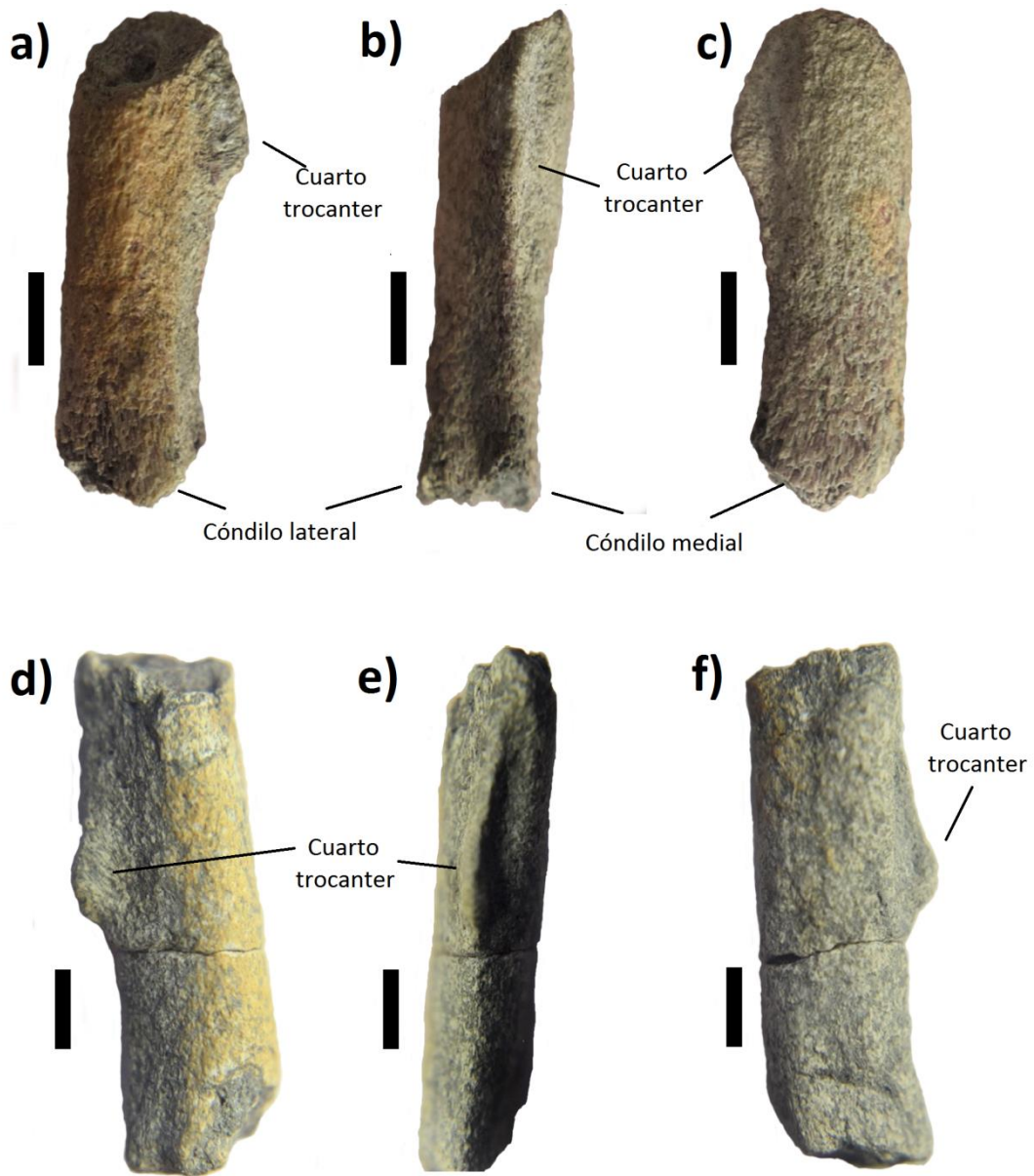


Figura 11. Fémures aislados de hadrosaurios perinatales de la formación El Gallo. Ejemplar EC-FH1 en vista lateral (a), caudal (b) y medial (c); Ejemplar OK-FH1 en vista lateral (d), caudal (e) y medial (f). Escalas equivalen a 5 mm.

del proceso. En vista proximal presenta una forma de una cuña curva, mientras que en vista distal es ovalada. El otro ejemplar (CHA-TH1) corresponde a la terminación distal de una tibia derecha (Fig. 12 d-f). La superficie distal que articula con el astrágalo está dañada. El borde lateral que origina el maléolo lateral está fragmentado, pero aún se puede distinguir que presenta un borde más delgado con respecto al maléolo medial que es más ancho cráneocaudalmente. En vista proximal el CHA-TH1 tiene una forma casi circular mientras en vista distal presenta una forma de triángulo escaleno debido a la diferencia de grosor de los maléolos.

Tabla 2: Medidas (en mm) del esqueleto apendicular aislado de Hadrosauridae

Elementos	Medida
Húmero (Jao200), largo preservado del elemento	33
Húmero (Jao 200), Ancho de la máxima expansión de la cresta deltopectoral	15
Húmero (Jao 200), ancho cráneocaudal del eje humeral	6.5
Húmero (Jao 200), ancho de la región distal incompleta (cóndilos)	9
Húmero (Esq-1H), largo preservado del elemento	18.5
Húmero (Esq-1H), ancho de la región distal (cóndilos)	9
Húmero (ES3), largo preservado del elemento	15
Húmero (ES3), ancho de la región distal incompleta (cóndilos)	7
Fémur (EC-FH1), largo preservado del elemento	25
Fémur (EC-FH1), largo del cuarto trocánter	12
Fémur (EC-FH1), diámetro cráneocaudal del eje femoral cercano al cuarto trocánter	6.5
Fémur (OK-FH1), largo preservado del elemento	32
Fémur (OK-FH1), largo del cuarto trocánter	10
Fémur (OK-FH1), diámetro cráneocaudal del eje femoral cercano al cuarto trocánter	9
Tibia (Ca-TH1), largo preservado del elemento	15
Tibia (Ca-TH1), ancho cráneocaudal de la región proximal	10
Tibia (Ca-TH1), diámetro cráneocaudal de la diáfisis	5
Tibia (CHA-TH1), largo preservado del elemento	22
Tibia (CHA-TH1), ancho lateromedial de la región distal	12
Tibia (CHA-TB1), diámetro cráneocaudal de la diáfisis	6

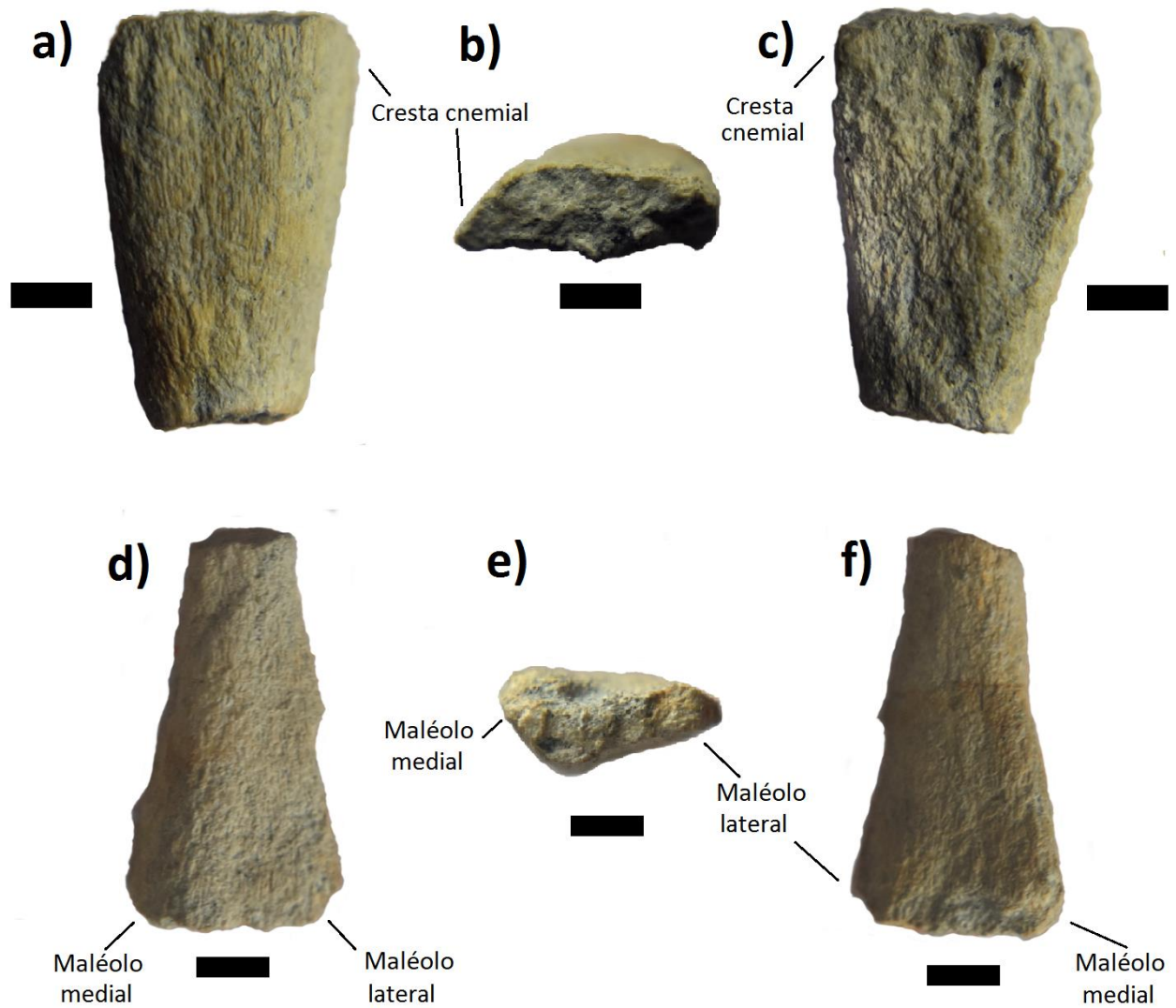


Figura 12. Tibias aisladas de hadrosaurios perinatales de la formación El Gallo. Ejemplar Ca-TH1 en vista medial (a), proximal (b) y lateral (c); Ejemplar CHA-TH1 en vista caudal (d), distal (e) y craneal (f). Escalas en a)-c) equivalen a 3 mm y de d)-f) a 5 mm

Dinosauria Owen, 1842
Ornithischia Seeley, 1887
Ornitopoda Marsh, 1881
Hadrosauridae Cope, 1870
Lambeosaurinae Parks, 1923
Magnapaulia Prieto-Márquez, Chiappe, y Joshi, 2012
M. laticauda Morris, 1961

Descripción general- Los restos encontrados en el nido corresponden mínimo a dos individuos, debido principalmente a la presencia de dos dentarios izquierdos y dos fémures derechos. Dentro de las características que indican el estadio perinatal de los ejemplares, son la textura estriada que presenta la superficie de los huesos, la separación del arco neural y el cuerpo vertebral, la presencia del pozo notocordal (nothocordal pit) en este último, así como características propias del grupo taxonómico como un número reducido de dientes en el maxilar y dentario, y el ángulo casi vertical del proceso coronoideo del dentario. Para la identificación del lambeosaurino se utilizó principalmente el maxilar, debido a que presentaba la mayor información para comparar con la descripción de la única especie de la formación El Gallo, *Magnapaulia laticaudus* (Prieto-Márquez et al., 2012). Las características que se utilizaron para su identificación fueron el ángulo entre la región rostródorsal y el margen alveolar, la curvatura del margen dorsolateral de la región rostral, así como su prominente borde del margen medial de la plataforma premaxilar, y el número y su posición de los forámenes.

Cráneo

Premaxilar: Tres fragmentos corresponden a la parte media de dos premaxilares. El ejemplar TGR-LP01 corresponde a un premaxilar izquierdo y es el ejemplar más completo de los tres ejemplares. En vista lateral se observan el proceso medial y lateral. Este último tiene un grosor dorsoventral menor al del proceso medial, pero se va engrosando caudalmente presentando un perfil ovalado. La superficie ventral del proceso lateral es ancha para recibir la plataforma premaxilar del maxilar. Esta superficie es recta al principio del fragmento, pero se va curvando dorsalmente en la región caudal. El proceso medial conserva su forma y anchura a lo largo del proceso. También está más incompleto que el

proceso lateral. Estos procesos forman un ángulo de 25° entre el margen dorsal del proceso medial y el margen ventral del proceso lateral. Entre ambos procesos se encuentra un canal que corresponde a la nariz externa. En la región caudal del canal, el proceso lateral forma una pared lateral bordea la nariz externa. La superficie medial del ejemplar TGR-LP01 es plana, pero se puede observar una superficie rugosa en la zona del proceso medial y un surco superficial a lo largo del proceso lateral.

El ejemplar TGR-LP02 pertenece a un premaxilar derecho. Al igual que en TGR-LP01 se observan los procesos medial y lateral, solo que en este los procesos están más incompletos. Se observa una pequeña región del canal de la nariz externa. La superficie medial es plana y presenta un surco superficial tanto en el proceso medial como en el lateral. El ejemplar TGR-LP03 corresponde a la región caudal del proceso lateral con forma ovalada. Sus paredes que forma el canal de la nariz externa están colapsadas sobre el canal.

Maxilar: La descripción de este hueso se basa en dos ejemplares de maxilares izquierdos. El ejemplar TGR-LP-04 es el más completo de los dos, careciendo solo de la punta del proceso anteroventral y toda la plataforma del ectopterigoide (Fig. 13a). Es un elemento alargado con un perfil lateral triangular, característico de los hadrosaurios.

La región rostral del maxilar corresponde al proceso anteroventral, que forma un ángulo de 23° entre su superficie dorsal y el margen ventral que contiene la hilera de dientes. El margen laterodorsal de este proceso tiene una curvatura rostrocaudal, pero debido a lo incompleto del proceso se desconoce si la punta termina por debajo del nivel de las hileras de dientes. Como en el resto de los lambeosaurinos, en esta región se encuentra la plataforma premaxilar que soporta el proceso caudolateral de la premaxila. Esta plataforma es mediolateralmente expandida y se enfrenta dorsal y ligeramente lateralmente. El margen medial de la plataforma se proyecta dorsomedialmente formando una gruesa pestaña (borde) que termina en la base del proceso dorsal del maxilar.

Al final de la plataforma del premaxilar, se observa el gran foramen maxilar. Este foramen se expone en la superficie dorsal característico de los lambeosaurinos (Fig. 13b) (Prieto-Márquez, 2010). Dorsal al foramen se encuentra el proceso dorsal que es más ancho que alto y presenta una morfología redondeada. En la superficie rostrolateral del proceso rostral se observa un pequeño surco inclinado rostrocaudalmente que corresponde a la articulación

con el lagrimal. Caudal a la articulación del lagrimal, se encuentra la articulación del yugal. Esta articulación se enfrenta más lateralmente que dorsalmente, presentando una morfología ovalada y una superficie cóncava rostrocaudalmente. Caudalmente la superficie articular se vuelve ligeramente plana y se puede observar el tubérculo dorsal del yugal al final de la superficie articular. Anterior y ventral de la articulación del yugal se observan dos pequeños forámenes.

La superficie medial del TGR-LP04 ha sufrido una compresión en la zona del parapeto dental. Debido a esto, es difícil reconocer a los forámenes alveolares y genera la apariencia que la mitad dorsal de su superficie medial se encuentra medialmente proyectado. En el margen dorsal al mismo nivel del fin de la articulación del yugal se observa la cresta del pterigoides, el cual tiene una apariencia redondeada.

En la superficie ventral se observan cinco dientes de diferentes tamaños, debido a que presentan diferente grado de exposición. El primer diente es el menos preservado de todos. La zona oclusal solo presenta un diente funcional por alveolo.

El ejemplar TGR-LP05 corresponde a porción rostral de la plataforma del ectopterigoides. En vista lateral se puede observar la cresta ectopterigoidal que se proyecta lateralmente. En la superficie medial se observa un fragmento del parapeto dental unido a uno de los dos dientes visibles en el ejemplar. Al igual que el ejemplar anterior, estos dientes presentan diferentes tamaños debido a su grado de exposición. Las superficies de fractura de este ejemplar y del anterior no articulan, dificultando interpretar si estos dos ejemplares realmente corresponden al mismo individuo. Además, que los dientes en el ejemplar TGR-LP5 son más grandes indicando que probablemente pertenezcan a diferentes individuos.

Prefrontal: El ejemplar TGR-LP06 corresponde a un prefrontal izquierdo. Debido a que tiene otros huesos y sedimentos unidos al ejemplar, gran parte de su superficie ventral y la mitad caudal de su margen lateral no se pueden observar. El prefrontal es un hueso curvo y aplanado dorsoventralmente. Su margen lateral forma el margen laterodorsal de la órbita. En la superficie ventral de la región rostralateral se observa una ranura que servía de unión para lagrimal. Debido a su condición de perinatal, carece de su borde medial que forma parte de la plataforma ventral de articulación para la cresta hueca de los lambeosaurinos.

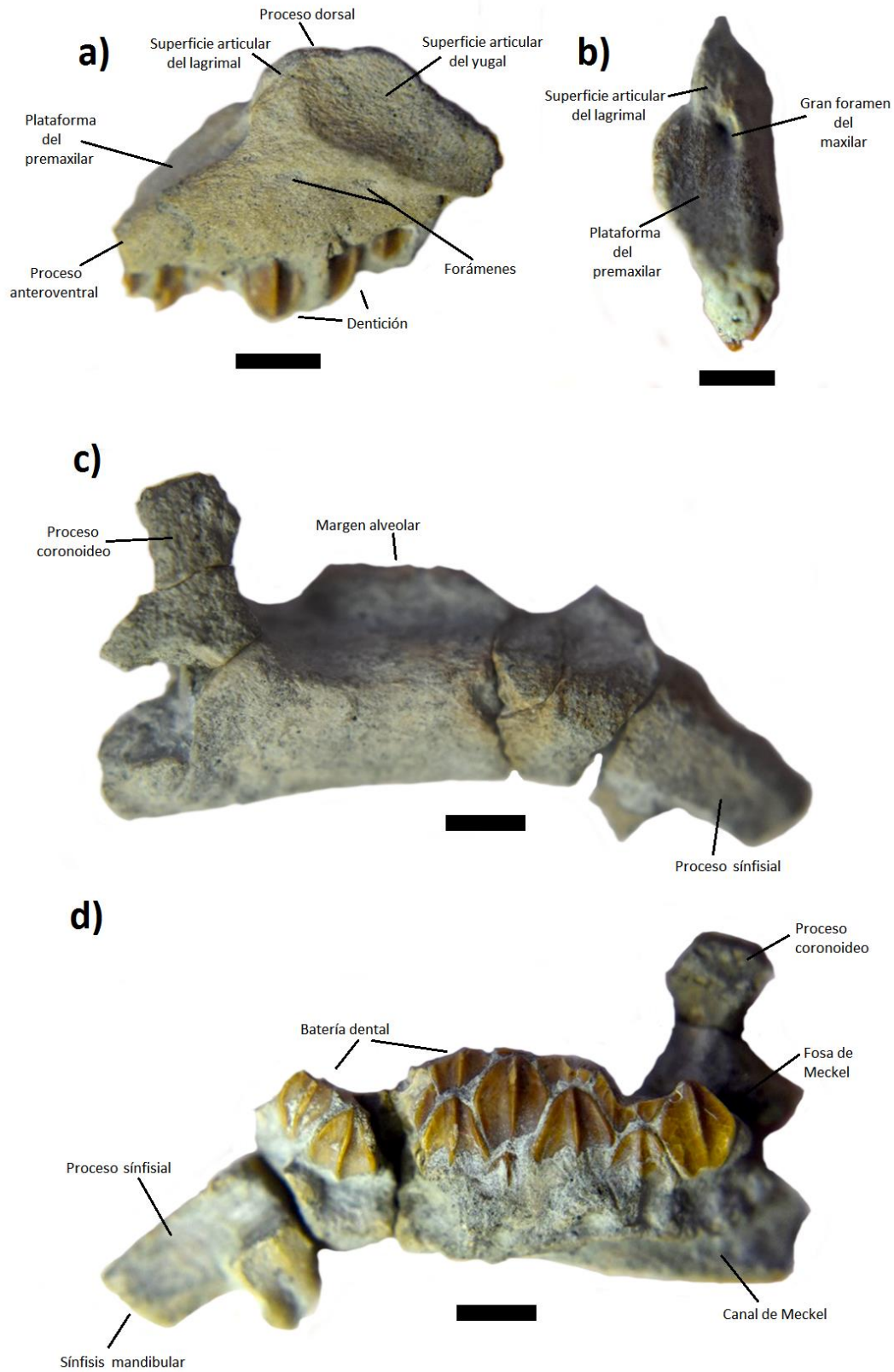


Figura 13. Elementos craneales del lambeosaurino perinatal de la formación El Gallo. Maxilar derecho (TGR-LP04) en vista lateral (a) y rostral (b); Dentario izquierdo (TGR-LP07) en vista lateral (c) y medial (d). Escalas en a), c) y d) equivalen a 5 mm y en b) a 4 mm

Dentario: Los ejemplares TGR-LP07 y TGR-LP 08 corresponden a dentarios derechos casi completos. TGR-LP07 es el mejor conservado de los dos, solo teniendo dañado el ápice del proceso coronoideo, carece de la superficie lateral de la terminación caudal del dentario y le falta el parapeto (Fig. 13 c y d). El ejemplar TGR-LP08 presenta desgaste en la terminación rostral del proceso sínfial, carece de la batería dental, la mitad rostral del margen dorsal está colapsado medialmente y carece de la terminación caudal del dentario. La mayor parte de la descripción se basará en el ejemplar TGR-LP07.

La región rostral del dentario presenta la diastema, y el procesos sínfial que presenta la zona de articulación tanto del predentario como del dentario izquierdo. El elemento posee un diastema corto con una proporción de 0.22 entre su largo y el largo de la batería dental. El ángulo que forma la diastema con el plano horizontal del dentario es de 146° , mientras que el ángulo que forma el proceso sínfial con el plano horizontal del dentario es de 130° . El margen ventral de esta región rostral presenta una inclinación de 30° en el ejemplar TGR-LP07 y 21° en el ejemplar TGR-LP08. En ambos casos está inclinación ventral del margen rostroventral se posiciona ventral al primer diente del dentario, con una proporción de 0.78 entre el largo del margen ventral y el largo de la batería dental (en el caso del ejemplar TGR-LP07). El proceso sínfial carece de una buena proyección lingual con una proporción de 1.20 entre la extensión labio lingual de región sínfial y el ancho lateromedial del dentario. En vista rostral la región sínfial tiene una sutil curvatura medialmente, formando un arco ancho. La terminación rostral del proceso sínfial en el ejemplar TGR-LP07 es recta con una apariencia rectangular, sin embargo, en el ejemplar TGr-LP08 está redondeada y tiene una apariencia más delgada, pero esto puede ser debido a su preservación.

La superficie lateral del ejemplar TGR-LP07 está dorsoventralmente convexa, a diferencia del ejemplar TGR-LP08 que posee una convexidad no tan evidente. Sin tomar en cuenta el proceso sínfial, el margen ventral de los ejemplares es completamente recto. En vista dorsal el margen lateral del dentario es recto al inicio de la batería dental, pero se va curvando lateralmente conforme llega al proceso coronoideo, alcanzando su máxima anchura lateromedial en la base de este proceso. Esta curvatura no es evidente en el ejemplar TGR-LP08. En ambos ejemplares el proceso coronoideo su eje es casi vertical con un ángulo de 87° . Similar a los hadrosaurios adultos, es el desplazamiento lateral del

proceso coronoideo de la batería dental. El ápice del proceso coronoideo del ejemplar TGR-LP07, aunque incompleta tiene una apariencia más robusta teniendo un ancho casi constante a lo alto del proceso. En el ejemplar TGR-LP08 este ápice está completo y se va comprimiendo lateromedialmente conforme llega al margen dorsal. El ápice tiene una forma casi rectangular con una expansión rostrocaudalmente ligera, con una ligera proyección rostral del margen rostral. El margen rostródorsal del ápice se encuentra redondeado. En vista caudal, se puede observar la fosa de Meckel que inicia cerca del inicio del ápice del proceso coronoideo. Esta fosa se va ensanchando ventralmente hasta conectarse con el canal de Meckel.

En el lado medial, ambos ejemplares carecen del parapeto, exponiendo un total de 9 alveolos (de los cuales 7 aún conservan dientes) en el ejemplar TGR-LP07. La batería dental, similar al resto de los hadrosaurios, se extiende caudal al margen caudal del proceso coronoideo. En el ejemplar TGR-LP08 es difícil reconocer los límites de los alveolos debido a los daños en esta región, pero difícilmente se logran observar 7 alvéolos. Los límites entre estos son más perceptibles en los últimos 4 alveólos preservados. En el límite caudoventral de la batería dental se observa el canal del Meckel. Este canal es muy ancho en el ejemplar TGR-LP07, el cual disminuye su grosor rostralmente hasta cerrarse a mitad de la batería dental. En el ejemplar TGR-LP08 no es tan ancho y es uniforme a lo largo del canal preservado. Al igual que el ejemplar TGR-LP07, el canal se cierra a mitad de batería dental.

Dentición: La descripción de los dientes se basó tanto en los dientes preservados en los maxilares, en el ejemplar TGR-LP07 y en varios dientes aislados encontrados durante la recuperación y preparación del nido. Tanto el maxilar como el dentario poseen un diente funcional en el plano oclusal. Cabe señalar que, a diferencia del maxilar, varios dientes del dentario poseen desgaste en este plano. Como en todos los hadrosaurios los dientes tienen una forma lanceolada y presentan una corona con esmalte en su lado labial en el caso de los maxilares y en su cara lingual en el de los dentarios.

La superficie labial de los dientes maxilares presenta una cresta primaria bien desarrollada. Esta cresta se proyecta labialmente generando una apariencia convexa a la superficie labial de la corona. La cresta primaria se posiciona a la mitad de la corona y presenta una forma

recta a lo largo de la corona. Sin embargo, un diente maxilar aislado muestra que la cresta también puede tener una forma sinuosa. Los dentículos marginales de los dientes del maxilar tienen formas redondeadas a ligeramente ovaladas, presentando de 3 a 4 dentículos por milímetro (Fig. 14a).

El dentario tiene un número de tres dientes arreglados dorsoventralmente a la mitad del largo de la batería dental. Las coronas tienen una proporción alto/ancho de 1.16 a 1.6 y poseen una cresta primaria a mitad de la corona. Esta cresta es recta o sinuosa en algunos dientes. A diferencia de los dientes maxilares la superficie de la corona es más o menos plana. Los dentículos marginales consisten en bultos redondeados e individuales que varían su tamaño a lo largo de los márgenes sinfisial y caudal de la corona (Fig. 14b y c).

Esqueleto axial

Cuerpos vertebrales: Los 18 cuerpos vertebrales preservados presentan las mismas características. Poseen un pozo notocordal tanto en la superficie craneal como caudal y un canal neural ancho lateromedialmente. Las superficies suturales para el arco neural corresponden a depresiones superficiales y lisas. Todas las vértebras son anficélicas y presentan superficies laterales cráneocaudalmente cóncavas.

Tabla 3: Medidas (en mm) de elementos craneales del lambeosaurino perinatal.

Elemento	Medidas
Maxilar (TGR-LP04), largo incompleto	24
Maxilar (TGR-LP04), alto dorsoventral por el proceso dorsal (excluyendo los dientes)	13
Prefrontal (TGR-LP06), largo por el margen dorsal	14
Dentario (TGR-LP07), largo desde la sínfisis mandibular hasta el margen caudal del proceso coronoideo	45
Dentario (TGR-LP07), largo de la batería dental	30
Dentario (TGR-LP07), alto a mitad de la batería dental	10
Dentario (TGR-LP07), alto del proceso coronoideo	21
Dentario (TGR-LP07), ancho a mitad de la batería dental	8
Dentario (TGR-LP08), largo desde la sínfisis mandibular hasta el	42

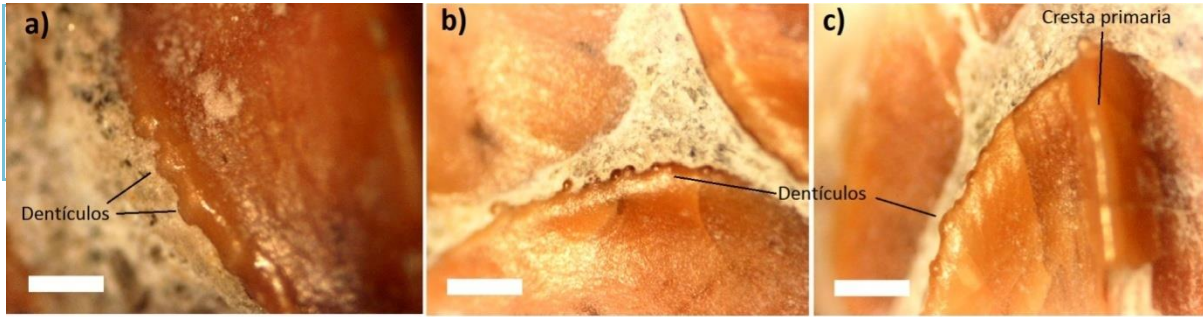


Figura 14. Dentición del lambeosaurino perinatal. Corona de diente maxilar (TGR-LP05) en vista labiomesial (a). Dientes del dentario (TGR-LP07) en vista lingual (b y c). Escala en a) equivale a 0.5 mm y en b) y c) a 1 mm

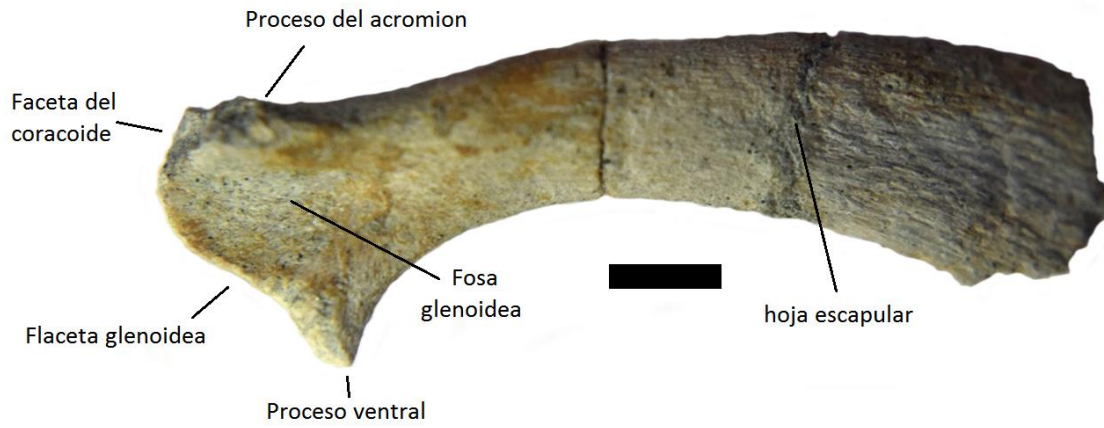


Figura 15. Escápula izquierda (TGR-LP09) del lambeosaurino perinatal en vista lateral. Escala equivale a 5 mm.

Morfológicamente presentan dos variantes, una hexagonal y otra en forma de diamante. La forma hexagonal corresponde a vertebras caudales representado por 15 cuerpos vertebrales. La forma de diamante es el cuerpo vertebral más grande que corresponde a una vértebra torácica de la región caudal. Dos cuerpos vertebrales están incompletos.

Arcos neurales: Solo tres arcos neurales se preservaron. Estos arcos corresponden a vértebras caudales. Debido a que aún se encuentran embebidos en la matriz solo se puede observar la superficie lateral de un arco neural, y la superficie caudal de la otra. Las espinas neurales a pesar de estar incompletas son relativamente largas, presentando una proporción entre su alto dorsoventral y ancho cráneocaudal de 7.5. En la base craneal de la espina neural se observa la precigapófisis izquierda, proyectándose rostralmente. Debido a la inclinación caudal de la espina neural, se asume que el arco neural pertenece a una de las vértebras caudales de la región media de la cola.

Chevrones: El único chevrón preservado posee su típica forma de “Y”. Presenta la terminación distal fracturada por lo que se desconoce qué tan largo dorsoventral era.

Esqueleto apendicular

Escápula: Este elemento está representado por los ejemplares TGR-LP09 y TGR-LP10. El primer ejemplar corresponde a una escápula izquierda casi completa, con solo el margen distal de la hoja escapular dañada (Fig. 15). El ejemplar TGR-LP10 corresponde a la región media de la escápula derecha, la cual se puede observar el cuello de la escápula como la región proximal de la hoja escapular. La descripción del elemento se basará en el ejemplar TGR-LP09.

Este ejemplar es una escápula corta, por su proporción entre el ancho dorsoventral de la región proximal de la escápula y su largo cráneocaudal de 3.38. En vista dorsal se puede observar que la región proximal se desvía medialmente con respecto a la hoja escapular, además que también corresponde a la zona más ancha lateromedial del elemento. El ensanchamiento de esta región es para formar la faceta de articulación del coracoides. Esta faceta tiene una forma ovalada casi rectangular la cual tiene una continua estrecha hacia el proceso acromion. La faceta del coracoides como en otros lambeosaurinos (Prieto-Márquez

et al. 2012), tiene una proyección craneal moderada, con una proporción entre la distancia de esta articulación con el margen proximal del proceso acromion y la altura del proceso acromion y la punta ventral de la faceta glenoidea de 0.36. La faceta coracoides forma un ángulo de 128° con la faceta glenoidea, la cual es más angosta y larga terminando en un ápice prominente en la esquina ventromedial. Su superficie articular tiene una forma rectangular y es ligeramente cóncava. El proceso acromion se expande laterocranealmente formando una pequeña repisa en el margen dorsal de la región proximal de la escápula. Entre este proceso y la punta ventral de la faceta glenoidea se encuentra la fosa glenoidea. El cuello de la escápula es ligeramente angosto, siendo el 53% del ancho dorsoventral de la región articular de la escápula. Distal al cuello se encuentra la hoja escapular, la cual tiene un ancho dorsoventral que va aumentando caudalmente. Su punto máximo de anchura tiene una proporción de 0.85 con respecto al ancho dorsoventral de la región proximal. Tanto el margen dorsal como el ventral de la hoja escapular están curvados caudoventralmente, tomando en cuenta como horizontal el proceso acromion. Debido a la condición de perinatal del ejemplar, no se observa la cresta deltoidea.

Fémur: De los tres ejemplares de fémures disponibles, TGR-LP11 y TGR-LP12 están prácticamente completos con ligeros daños en sus epífisis. El ejemplar TGR-LP13 corresponde a la mitad proximal del elemento, la mayor parte de su cuarto trocánter está ausente, así como la cabeza del fémur y los trocánter mayor y menor. La descripción del fémur se basará en los dos primeros ejemplares. El fémur corresponde a un hueso casi cilíndrico, y con la diáfisis casi recta a lo largo del hueso (Fig. 16). En la región proximal, tanto el trocánter mayor como la cabeza del fémur poseen poco desarrollo. La cabeza del fémur tiene una superficie dorsal plana. Esta superficie está ligeramente erosionada y se puede observar que presentaba una gran vascularización. El trocánter mayor está separado de la cabeza del fémur por un surco superficial. Debido a la condición perinatal del ejemplar no presenta su proyección proximal característica del proceso. Distal de trocánter mayor en la superficie cráneo lateral se observa el trocánter menor. En la superficie caudal, a mitad del fémur se encuentra el cuarto trocánter. Este proceso tiene una forma de triángulo escaleno, con el ápice redondeado. El cuarto trocánter es relativamente largo, ocupando el 30% del largo del fémur. Como en todos los hadrosaurios,

este proceso está más cerca al margen medial del elemento. En vista caudal se puede observar que el ápice del cuarto trocánter se desvía medialmente. En la mitad distal de la base del cuarto trocánter se observa un surco longitudinal. A pesar de la condición perinatal del fémur, el cuarto trocánter, tiene una gran proyección caudalmente del eje del fémur. La terminación distal del fémur se ensancha cráneocaudalmente para formar los cóndilos. El cóndilo medial es más grande que el lateral, además que posee una mayor proyección caudal. Tanto en la superficie craneal como el caudal se puede observar el surco intercondilar. La superficie craneal de los cóndilos está dañada, imposibilitando conocer si presentaban una proyección craneal o no.

Tibia: La tibia (ejemplar TGR-LP14) es un hueso subcilíndrico con una expansión proximal craneocaudalmente y distal lateromedialmente (Fig. 17). La tibia es ligeramente delgada, presentando un largo proximodistal 9 veces mayor que el ancho mediolateral a mitad del elemento. En la región proximal, se observan los dos cóndilos caudolaterales. La superficie articular de los cóndilos es muy rugosa y está algo dañada. El cóndilo lateral es más ancho que el cóndilo interno, pero ambos tienen una superficie proximal semicircular. Estos cóndilos se encuentran separados por el surco intercondilar. Cráneolateralmente de los cóndilos se encuentra la cresta cnemial. Esta es gruesa y se proyecta ligeramente lateralmente.

La terminación distal presenta los maléolos medial y lateral. El maléolo lateral tiene un margen delgado en forma de cresta con una ligera curvatura y se proyecta distalmente. Por otro lado, el maléolo medial es más grueso cráneocaudalmente, con una ligera proyección cráneomedialmente. El ancho lateromedial de esta región tiene una relación de 2.14 con respecto al ancho del eje a mitad del hueso. Al igual que la superficie proximal, la superficie distal es rugosa.

Fíbula: El ejemplar TGR-LP15 corresponde a la porción proximal de la fíbula. Esta región está lateromedialmente comprimida. En vista proximal se puede observar que la superficie lateral es ligeramente convexa mientras que la superficie articular (medial) es cóncava. La superficie proximal es rugosa y una de sus esquinas está dañada.

Tabla 4: Medidas (en mm) del esqueleto apendicular del lambeosaurino perinatal.

Elemento	Medida
Escápula (TGR-LP09), largo del margen dorsal (desde la faceta del coracoides hasta la esquina dorsodistal de la hoja escapular)	44
Escápula (TGR-LP09), ancho del proceso del acromion al ápice (proceso ventral) de la faceta glenoidea	12
Escápula (TGR-LP09), ancho dorsoventral del cuello de la escápula	7
Escápula (TGR-LP09), máximo ancho dorsoventral de la hoja escapular	10.5
Fémur (TGR-LP11), largo desde el margen dorsal de la cabeza femoral al margen distal del cóndilo medial	62
Fémur (TGR-LP11), ancho cráneocaudal del cóndilo medial	16
Fémur (TGR-LP11), largo del cuarto trocánter	18
Fémur (TGR-LP11), diámetro cráneocaudal del eje femoral	8
Fémur (TGR-LP11), ancho lateromedial de la región proximal	14
Fémur (TGR-LP11), ancho lateromedial de la región distal	12
Tibia (TGR-LP14), largo	62
Tibia (TGR-LP14), ancho cráneocaudal de la región proximal	15
Tibia (TGR-LP14), ancho lateromedial de los cóndilos	9
Tibia (TGR-LP14), diámetro cráneocaudal de la diáfisis de la tibia	7
Tibia (TGR-LP14), ancho lateromedial de la región distal	15.5
Tibia (TGR-LP14), ancho lateromedial del maléolo lateral	7
Fíbula (TGR-LP15), largo preservado del elemento	11
Fíbula (TGR-LP15), ancho de la terminación proximal	7
Fíbula (TGR-LP15), diámetro lateromedial	2.5

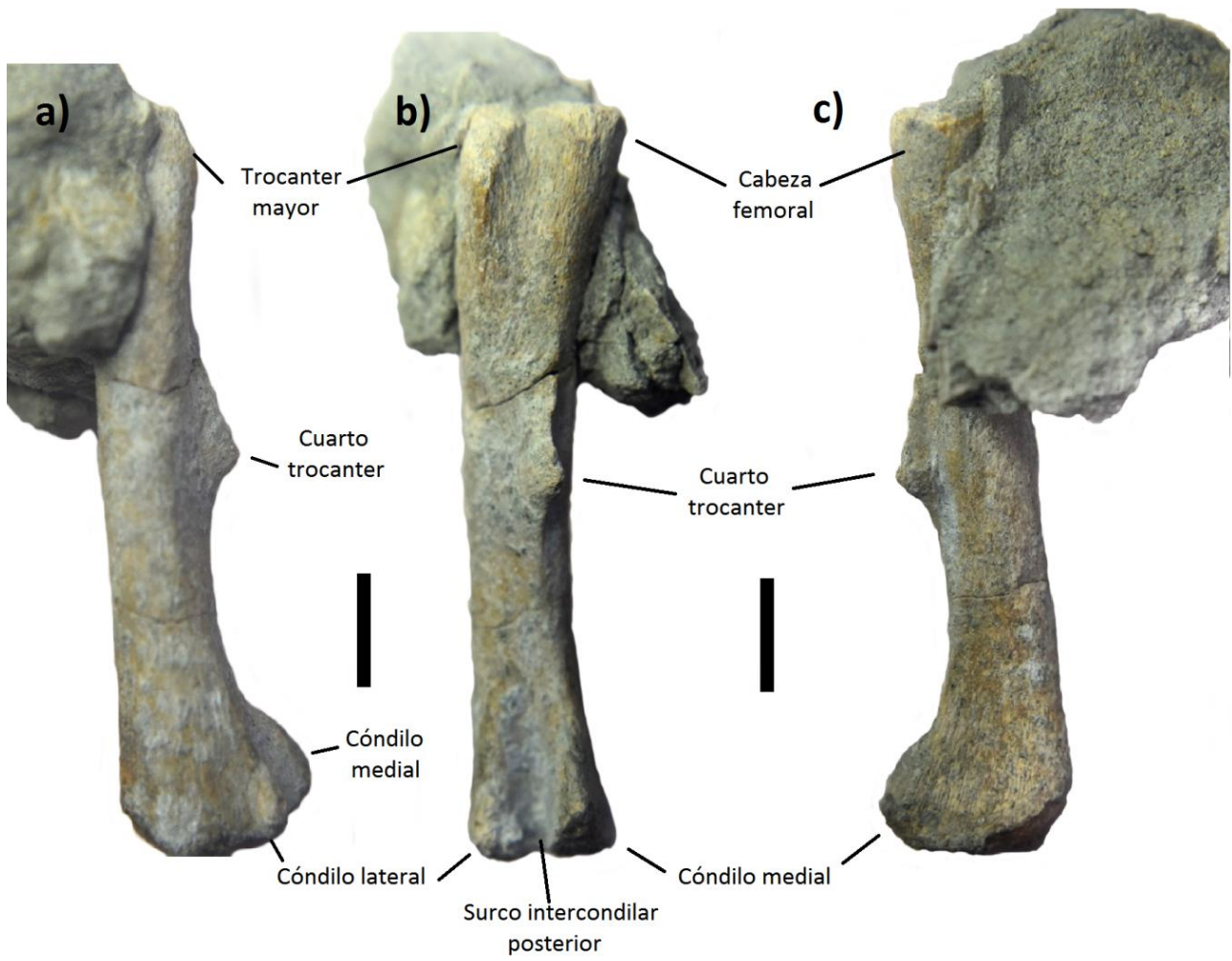


Figura 16. Fémur izquierdo (TGR-LP11) del lambeosaurino perinatal. a) Vista lateral, b) caudal y c) medial. Escala equivalen a 10 mm.

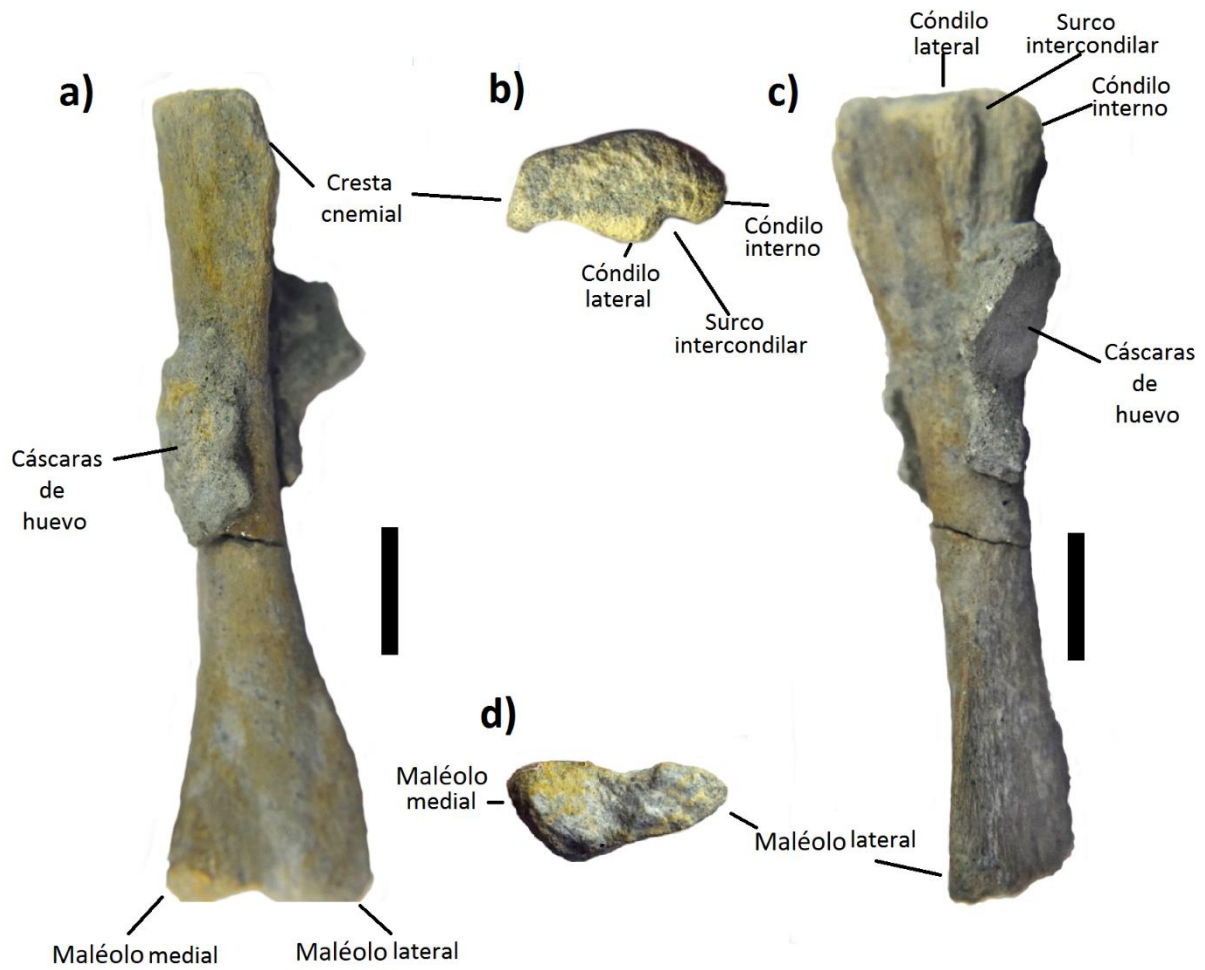


Figura 17. Tibia derecha (TGR-LP14) del lambeosaurino perinatal. a) vista craneal, b) vista proximal, c) vista laterocaudal, y d) vista distal. Escalas equivalen a 10 mm.

VI. DISCUSIÓN

6.1 Discusión general del artículo

Al ser la formación El Gallo uno de los pocos lugares fuera del Mar Interior Occidental con fósiles de dinosaurios, los restos de cáscaras nos ayudan a ampliar el conocimiento sobre la diversidad de dinosaurios y vertebrados ponedores de huevo que vivieron en Norte América durante el Campaniano tardío.

Los registros de dinosaurios de la formación El Gallo contemplan ornitisquios y terópodos. Dentro de los ornitisquios solo los fósiles pertenecientes a hadrosaurios, como *Magnapaulia laticaudus* y a un Kritosaurino indeterminado (Morris, 1972, 1981; Hilton, 2003; Prieto-Márquez, *et al.*, 2012; Ramírez-Velasco *et al.*, 2014; Cabrera-Hernández *et al.*, 2018) se pueden asociar a las cáscaras *Spheroolithus*. Infortunadamente, las microestructuras dañadas de las cáscaras extraídas del nido de *M. laticaudus* impide asignarlos a un ootaxón, así como distinguirlos de las cáscaras spheroolithidas descritas en las otras localidades. De esta manera, no se puede comprobar si las cáscaras *Spheroolithus* descritas en el trabajo pertenecen a *M. laticaudus* o a algún otro ornitópodo.

En el caso de los terópodos se ha descrito material referido a tiranosáurido (Morris, 1967; Peacock *et al.*, 2014), ornitomímido (Hernández-Rivera, 1997), dromeosaurios como *Dromeosaurus* y *Sauronitholestes*, el morfotipo dental *Richardostesia*, troodontidos, (Romo de Vivar, 2011; García Alcántara, 2016) y el oviraptorosaurio *Chiropotes* (Hilton, 2003; Ramírez-Velasco and Hernández-Rivera, 2015). Los dos últimos taxones se correlacionan con la presencia de *Prismatoolithus* y de *Continuoolithus*, respectivamente. Además, que la presencia de *Continuoolithus* refuerza la idea de la posible presencia de oviraptorosaurios en Baja California y en México, esto debido a que se ha cuestionado el primer y único reporte de oviraptorosaurios, que corresponde a dientes conferidos a *Chiropotes* por Hilton (2003) (Ramírez-Velasco and Hernández-Rivera, 2015).

Por su cristalografía, *Spheruprismatoolithus* se considera que fue generado por los terópodos, principalmente maniraptores (Glut, 2003). Por lo que su presencia puede estar ligada a los dromeosaurios reportados en la formación El Gallo. Sin embargo, cáscaras del dromeosaurio *Deinonychus* (Grellet-Tinner y Makovicky, 2006) y de la ooespecie asociada a dromeosaurios por análisis cladísticos, *Montanoolithus strongurum* (Zelenitsky y

Therrien, 2008), presentan diferencias cristalográficas con *Spheruprismatoolithus*, indicando que su asociación con los dromeosaurios es poco fiable.

El resto de las cáscaras de terópodos tienen un grosor < 500 µm, indicando un tamaño estimado < 50kg de los animales responsables de poner dichos huevos (Tanaka *et al.*, 2016). Además, su cristalografía es diferente al de los dromeosaurios, de esta manera las cáscaras Tubercoolithidae, de *Tristragulooolithus* y *Dispersituberooolithus* pertenecen a terópodos pequeños distintos de los dromeosaurios; mientras que las cáscaras de *Stylooolithus* y las de enantiornithidae apoyan la idea de la presencia de aves en la formación El Gallo, además señalan que existió más de una especie de enantiornithidae en esta formación.

Hasta el momento los únicos registros de cocodrilos en la formación El Gallo son *Leydyosuchus* y *Brachychampsia* (Romo de Vivar, 2011; García Alcántara, 2016). Por lo que uno de estos cocodrilos es responsable de las cáscaras krokolithidae encontradas en este lugar. Por otro lado, los registros de lepidosaurios en la formación corresponden a las familias Xenosauridae, Varanidae, Anguidae, Polyglyphanodontidae y posiblemente a Xantusiidae y Scincidae (Romo de Vivar, 2011; García Alcántara, 2016; Chavarría-Arellano *et al.*, 2018). Hasta el momento los únicos Squamata conocidos capaces de producir cáscaras rígidas son los geos pertenecientes a las subfamilias Gekkoninae y Sphaerodactylinae, y un anguimorfo del Cretácico temprano de Tailandia (Fernández *et al.*, 2015). Basado en la cristalografía se han asociado cáscaras tipo gekkolitidas con los geos, y la identificación de este tipo de cáscaras sugiere su presencia en la formación El Gallo.

Al comparar la diversidad de las cáscaras con la diversidad osteológica en la formación El Gallo se puede observar un traslape taxonómico de cuatro, posiblemente cinco, taxones. De esta manera, este estudio aumenta la diversidad taxonómica principalmente de dinosaurios terópodos de pequeño tamaño esta formación.

Para la interpretación de las señales primarias de la composición isotópica de las cáscaras requiere de evaluación de la alteración diagenética. Tanto los análisis de DRX como los de FRX indican que la composición de las cáscaras es principalmente calcita (CaCO₃). Sin embargo, utilizamos su contenido de Mn y Fe como sustituto del análisis de

catodoluminiscencia para evaluar la alteración diagenética, debido a que estos elementos se correlacionan con dicho análisis.

Los contenidos de Mn y Fe en ppm de las cáscaras de Cascarita y Esqueleto son consistentes a las reportadas por Cojan *et al.* (2013) y las de *Maiasaura peeblesorum* en Dawson *et al.* (2019). Además, al preservar también su cristalografía, se establece que las cáscaras de Cascarita y Esqueleto tienen una preservación moderada y son aptas para su interpretación paleoambiental. Por otro lado, las cáscaras de El Tortugario al igual que las cáscaras de lambeosaurios del trabajo de Dawson *et al.* (2019) presentan valores altos de Mn y una preservación pobre de sus microestructuras, catalogándolas como pobremente preservadas y no aptas para sus análisis paleoambiental.

Sin embargo, al comparar los datos isotópicos de las cáscaras de las tres localidades con la de los nódulos de carbonatos obtenidos por Fastovsky *et al.* (2020), se observa en la gráfica $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ que no existe un solapamiento entre los valores. La diagénesis tiende a homogenizar los valores entre las cáscaras y los nódulos de carbonatos (Sakar *et al.*, 1991; Cojan *et al.*, 2003; Fricke *et al.*, 2008; Bojar *et al.*, 2010; Montanari *et al.*, 2013). Al presentar diferencias mayores a 2‰ entre los valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de las cáscaras de Cascarita y Esqueleto y de $\delta^{18}\text{O}$ en el caso de las cáscaras de El Tortugario, con respecto al de los nódulos, es evidencia para sustentar que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de las cáscaras no se encuentran alteradas, incluso en las cáscaras de El Tortugario que poseen una preservación pobre. Y de esta manera todas las muestras de Cascarita, Esqueleto y El Tortugario son aptas para ser utilizada en la interpretación paleoambiental.

Las cáscaras de dinosaurios proveen importante información paleoambiental debido a que su $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato biogénico reflejan la composición de la comida ingerida, tomando en cuenta el fraccionamiento causado por el proceso metabólico (Von Shiring *et al.*, 1982; Schaffner y Swart, 1991). Similarmente, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ están relacionados con la ingesta de agua (Folinsbee *et al.*, 1970; Sakar *et al.*, 1991). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son homogéneos en las localidades, con valores promedios de -13.07‰ en Cascarita, -12.64‰ en Esqueleto y de -11.06 en El Tortugario.

Al considerar el fraccionamiento de ~16‰ entre las cáscaras y la fuente de comida en aves actuales, la composición isotópica de carbono de la comida ingerida varía entre -29‰ y -

27‰, que corresponde a plantas C3 (Von Shirnding *et al.*, 1982; Schaffner y Swart, 1991; Johnson *et al.*, 1998). Estos resultados son comparables por los obtenidos en esmalte y dentina de los dientes de hadrosaurios en Fastovsky *et al.* (2020). Estos nuevos resultados refuerzan la interpretación que estos valores negativos se relacionan con condiciones húmedas, esto debido a que plantas C3 con estos valores se encuentran en ambientes con un promedio de lluvia anual de >500mm/año, posiblemente mayor a 1,100mm/año (Tienzen, 1991; Kohn, 2010).

Aunque los valores de $\delta^{13}\text{C}$ indican un ambiente húmedo, la evidencia sedimentaria de la formación El Gallo sugiere un ambiente con ciclicidad húmeda/seco y un drenaje significativo de los paleosuelos (Fastovsky *et al.*, 2020). Por ello se propuso que la causa de estos valores era debido a una mayor proporción de angiospermas con respecto a las gimnospermas en Baja California. Sin embargo, los valores isotópicos de las cáscaras corresponden a la fuente de comida ingerida previo a la formación del huevo, por lo tanto, estos datos isotópicos corresponden a momentos instantáneos durante la vida del animal (Johnson *et al.*, 1998). De esta manera, estos valores pudieron generarse cuando los dinosaurios se alimentaron en los intervalos húmedos.

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las cáscaras de huevo son similares a los reportados en los dientes de hadrosaurios recuperados en otros sitios del área de estudio (Fastovsky *et al.*, 2019). De esta manera también concuerda con el gradiente latitudinal de $\delta^{18}\text{O}$ propuesta por Fricke *et al.* (2008, 2009), donde Baja California presenta los valores de $\delta^{18}\text{O}$ más positivos comparado con otros sitios del Mar Interior Occidental. Esto debido a su posición geográfica, donde las masas de aire provienen del Océano Pacífico (Fastovsky *et al.*, 2020). Los hadrosaurios al considerarse homeotermos (Dawson *et al.*, 2019), sus valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las cáscaras de huevo están directamente influenciados por valores de $\delta^{18}\text{O}$ del agua ingerida previo y durante la formación del huevo (Erben *et al.*, 1979; Folinsbee *et al.*, 1970; Johnson *et al.*, 1998). Empleando la ecuación de la correlación lineal de aves terrestres de Lazzarini *et al.* (2016) se estimaron los valores $\delta^{18}\text{O}$ del agua ingerida: $-9.10 \pm 3.04\text{‰}$ (V-SMOW) para Cascarita, $-8.54 \pm 3.07\text{‰}$ (V-SMOW) para El Tortugario y $-8.40 \pm 3.08\text{‰}$ (V-SMOW) para Esqueleto.

Al comparar estos valores con los valores del agua meteórica (-10.5‰ a -14.5‰ V-SMOW $\delta^{18}\text{O}$) obtenidas con el empleo de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de los nódulos de carbonatos junto con las gráficas de Cerling y Quade (1993), se observa un ligero enriquecimiento del agua que bebieron los dinosaurios. Esto indica un ambiente con temperaturas cálidas y una evaporación significativa que enriqueció los cuerpos de agua en ^{18}O comparado con la precipitación en el Campaniano de Baja California (Mook, 2000).

Usando el $\delta^{18}\text{O}$ de los nódulos de carbonatos junto con los valores $\delta^{18}\text{O}$ promedios del agua bebida en la ecuación de Craig (1965), la temperatura atmosférica calculada varía de 15.5 °C a 34.5 °C con un promedio de 21 °C. Esta temperatura promedio anual calculada se acerca a la temperatura media anual (19-20 °C) obtenida por Amiot *et al.* (2004) en la paleo-latitud de la formación El Gallo (35°) durante el Campaniano Tardío-Maastrichtiano Medio.

Basado en la conjunción de los datos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, las posibles condiciones ambientales en el Campaniano de Baja California durante la oogénesis de los dinosaurios corresponden a condiciones húmedas con precipitación >500mm/año (posiblemente mayor de 1,100 mm/año) (Kohn, 2010), dominado por angiospermas sobre gimnospermas (Fastovsky *et al.*, 2020; Hayes *et al.*, 2018), con condiciones cálidas que generaron evaporación significativa del agua meteórica del suelo y los cuerpos de agua que bebieron los dinosaurios y una posible temperatura del aire media anual entre 19.4 y 22.5 °C.

6.2 Cambios ontogenéticos de *Magnapaulia laticaudus*

Un aspecto importante de la paleobiología e historia evolutiva de los hadrosaurios y dinosaurios en general es comprender como su morfología esquelética cambia durante la ontogenia (Prieto-Márquez, 2014; Prieto-Márquez y Guenther, 2018). Esto, con el fin de identificar caracteres que muestran poca o ninguna variación sustancial, de modo que puedan tratarse adecuadamente en estudios filogenéticos y taxonómicos (Prieto-Márquez, 2014).

Los caracteres más distintivos de los hadrosaurios que ayudan a la identificación taxonómica y posicionamiento filogenético se concentran principalmente en el cráneo (Horner *et al.*, 2004; Prieto-Márquez, 2008, 2010), y dentro de los caracteres postcraneales, la cintura pélvica posee los más informativos (Prieto-Márquez *et al.*, 2006). Los caracteres

de importancia filogenética que varían ontogenéticamente que se han podido observar en *Magnapaulia laticaudus* y que se han reportado en otros hadrosaurios se encuentran los siguientes:

- *Número de posiciones de dientes en la batería dental del maxilar y dentario*: El ejemplar adulto presenta 41 alveolos en el maxilar (LACM 17715) y mayor de 40 en el dentario (LACM 20874) (Prieto-Márquez, *et al.*, 2012), mientras el perinatal posee en el maxilar ~7 (TGR-LP04) y en el dentario 9 (TGR-LP07) (Fig. 18). La tendencia de los dientes en volverse más numerosos conforme crece, es muy bien conocida en todo el grupo de los hadrosaurios, donde los ejemplares de mayor tamaño de la misma especie presentan el mayor número de dientes (Prieto-Márquez, 2010, Bell, 2011; Campione y Evans, 2011).
- *Proporción alto/ancho de la corona de los dientes del dentario*: En los perinatales esta proporción es de 1.16-1.6, mientras que en adulto es de 3.2. Este cambio en proporción también se ha reportado entre los juveniles y adultos de *Edmontosaurus annectens* (Prieto-Márquez, 2014) y los perinatales y adultos de *Maiasaura peeblesorum* (Prieto-Márquez y Guenther, 2018). Sin embargo, esta proporción no cambia entre los juveniles y adultos del hadrosauroide *Bactrosaurus johnsoni* (Prieto-Márquez, 2011).
- *Ángulo del proceso coronoide del dentario*: En los adultos hadrosaurios el proceso coronoide del dentario se encuentra inclinado rostralmente (Prieto-Márquez, 2010), como se observa en el *Ma. laticauda* (Prieto-Márquez *et al.*, 2012), a diferencia del ejemplar perinatal que posee este proceso casi vertical (Fig. 18), como en los embriones de *H. stebingeri* (Horner y Currie, 1994) y *Saurolophus* cf. *S. angustirostris* (Dewaele *et al.*, 2015).
- *Proceso dorsal*: A pesar de que el maxilar (LACM 17715) del adulto de *M. laticaudus* no preserva la totalidad del proceso dorsal, es muy posible que como el resto de lambeosaurinos presentara un proceso dorsal puntiagudo más alto dorsoventralmente que ancho (Horner *et al.*, 2004; Prieto-Márquez, 2010), a diferencia del perinatal que presenta un ápice redondeado y es mucho más ancho que largo (Fig. 19). Otro aspecto, es la posición del proceso dorsal con respecto al largo de la maxila, por desgracia debido a que el maxilar TGR-LP04 está

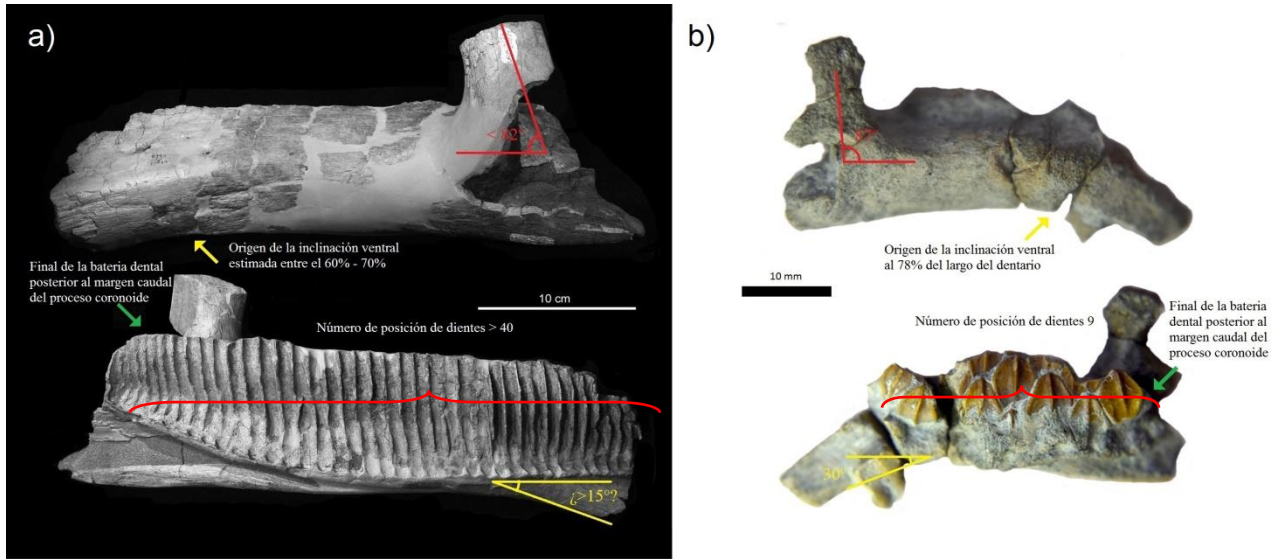


Figura 18. Diferencias morfológicas por ontogenia observadas en el dentario de *Magnapaulia laticaudus*. a) Ejemplar adulto LACM 20874, dentario izquierdo en vista lateral y medial; b) Ejemplar perinatal TGR-LP07, dentario derecho en vista lateral y medial. Los caracteres en rojo señalan que hay diferencia, mientras que en amarillo el carácter no se puede comparar por los daños presentes en el material y en verde los que no presentan cambios durante la ontogenia.

incompleto no se puede conocer si al igual que otros perinatales, como el lambeosaurino *Hypacrosaurus stenbigeri* y el hadrosaurino *M. peeblesorum*, este proceso se encontraba posicionado más rostralmente con respecto a los adultos de estas especies (Horner y Currie, 1994; Prieto-Márquez y Guenther, 2018).

- *Constricción proximal de la escápula:* En el adulto de *Ma. Laticaudus*, esta constricción es 60% del máximo ancho de la región articular de la escápula mientras que en el perinatal (TGR-LP09) equivale al 53% (Fig. 20). Similarmente entre los perinatales y adultos de *E. annectens* (Wosik *et al.*, 2018), *M. peeblesorum* (Prieto-Márquez y Guenther, 2018) e *H. stenbigeri* (Horner y Currie, 1994). En el caso de *B. johnsoni*, no cambia la proporción de la constricción proximal entre juveniles y adultos (Prieto-Márquez, 2011), algo que sí se observó entre los juveniles y adultos de *E. annectens* (Prieto-Márquez, 2014).
- *Cresta deltoides de la escápula:* En la escápula del perinatal (TGR-LP09) no se observa la cresta deltoides (Fig. 20), a diferencia del adulto que sí la presenta y como es típicamente observable en lambeosaurines, la cresta deltoides está pobremente desarrollada (Prieto-Márquez *et al.*, 2012). Durante el crecimiento es que se define la cresta deltoides, volviéndose más larga y robusta (Prieto-Márquez, 2011, 20014; Guenther, 2014; Prieto-Márquez y Guenther, 2018).

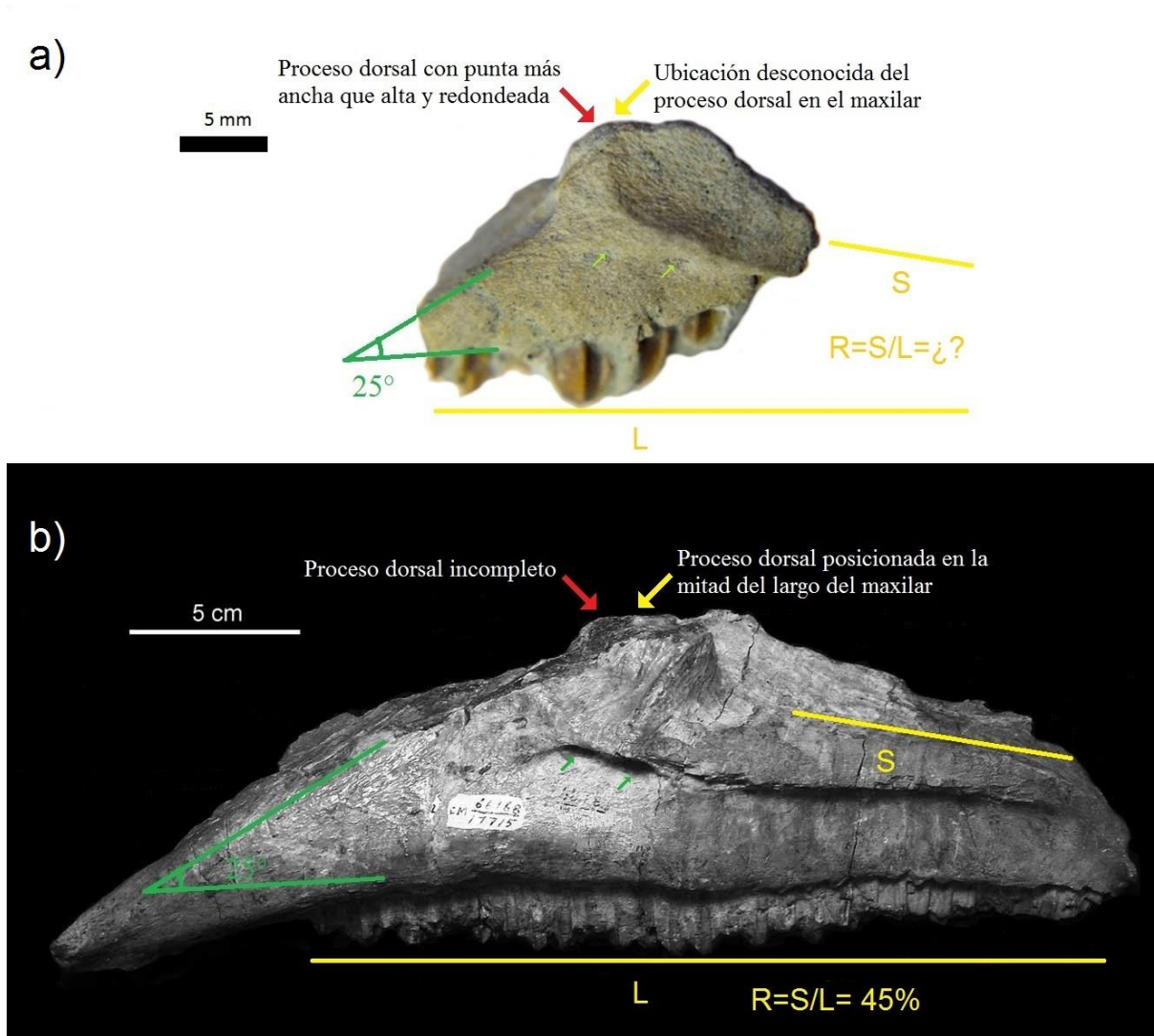


Figura 19. Comparación entre el maxilar del adulto y perinatal de *Magnapaulia laticaudus*. a) Ejemplar perinatal TGR-LP04, maxilar izquierdo en vista lateral; b) Ejemplar adulto LACM 17715, maxilar izquierdo en vista lateral. Los caracteres en rojo señalan que hay diferencia, mientras que en amarillo el carácter no se puede comparar por los daños presentes en el material y en verde los que no presentan cambios durante el crecimiento.

- **Expansión de la cresta cnemial:** Es el cambio más notable de la tibia, que por la condición perinatal del ejemplar no presenta una gran expansión anterolateral de la cresta cnemial (Fig. 21), como se ha observado en otros hadrosaurios perinatales y juveniles (Dilkens, 2001; Prieto-Márquez, 2011, 2014; Dewaele *et al.*, 2015; Prieto-Márquez y Guenther, 2018).

Otro carácter filogenético que presenta variación fue la forma de los dentículos marginales presentes en los dientes maxilares. En el ejemplar adulto de *Magnapaulia laticaudus* cada

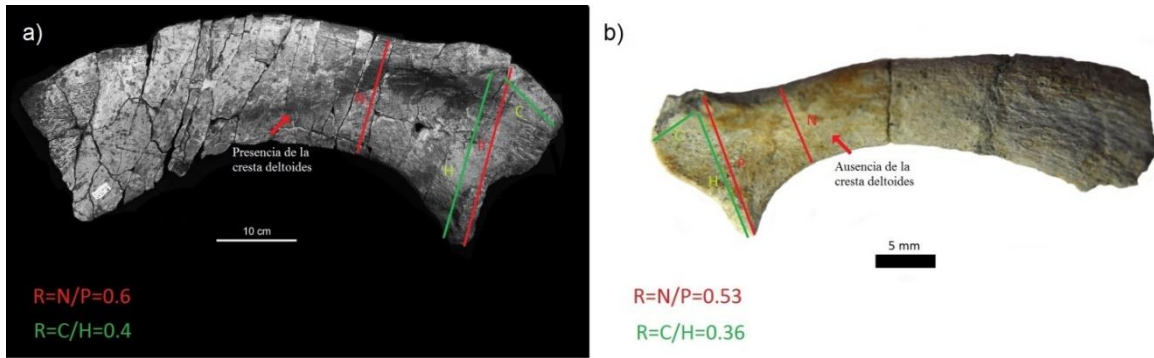


Figura 20. Diferencias morfológicas por ontogenia observadas en la escápula de *Magnapaulia laticaudus*. a) Ejemplar adulto LACM 17715, escápula derecha en vista lateral; b) Ejemplar perinatal TGR-LP09, escápula izquierda en vista lateral. Los caracteres en rojo señalan que hay diferencia y en verde los que no presentan cambios durante la ontogenia.

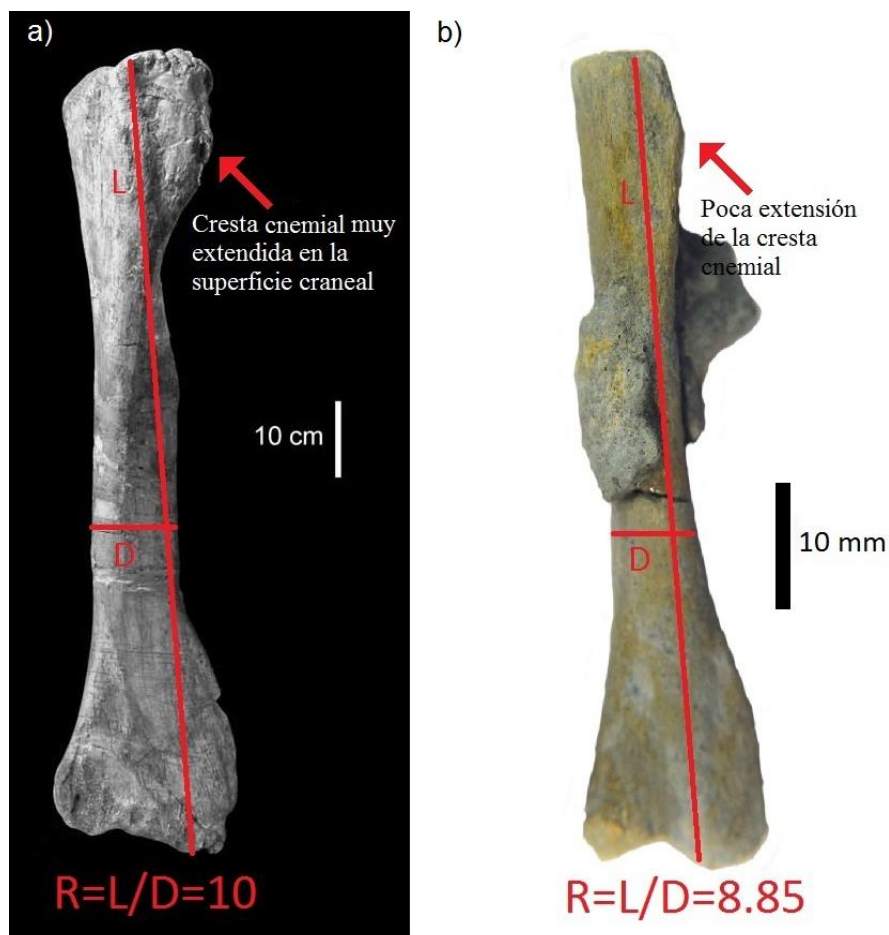


Figura 21. Diferencias presentes entre la tibia del adulto y perinatal de *Magnapaulia laticaudus*. a) Ejemplar adulto LACM 20876, tibia izquierda en vista rostral; b) Ejemplar perinatal TGR-LP 14, tibia izquierda en vista rostral.

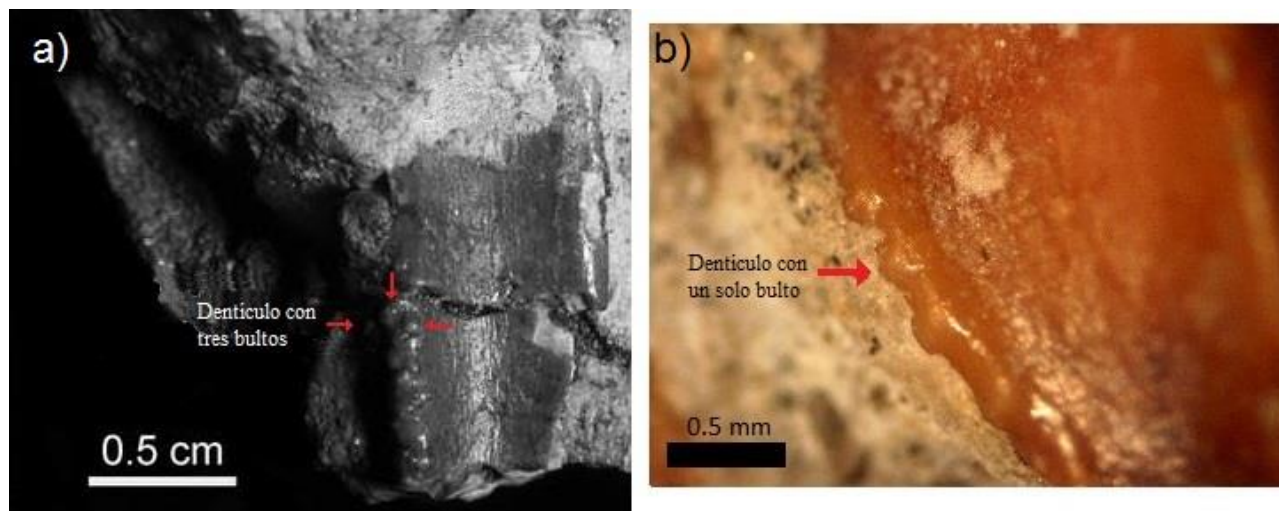


Figura 22. Diferencia de los denticulos presentes en los dientes del maxilar entre el adulto y el perinatal de *Magnapaulia laticaudus*. a) Ejemplar adulto LACM 17715; b) Ejemplar perinatal TGR-LP04.

denticulo está constituido por tres bultos pequeños y redondeados arreglados en forma triangular (Prieto-Márquez *et al.*, 2012), mientras que en los ejemplares del perinatal solo constituyen un único bulto pequeño (Fig. 22). Esta variación ontogenética no se ha reportado en otros hadrosaurios con ejemplares perinatales o juveniles.

Debido al daño presente en el maxilar del ejemplar perinatal y el dentario del adulto de *Ma. laticaudus* no se pudo determinar si algunos cambios ontogenéticos previamente reportados en otros hadrosaurios también están presentes. Como la placa ectopterigoidal del maxilar (Fig. 19), que en *E. annectens* se observa un aumento de su proporción de 28% en el juvenil a 40% en el adulto (Prieto-Márquez, 2014), a diferencia de *M. peeblesorum* que su tendencia es lo contrario, al disminuir del 40% en el perinatal a un tercio en el adulto (Prieto-Márquez y Guenther, 2018). En cambio, en el hadrosauroide *B. johnsoni*, tanto el juvenil como el adulto presentan la misma proporción (Prieto-Márquez, 2011).

En el caso del dentario los cambios más significativos se encuentran en la región rostral de este, como son el ángulo de la desviación ventral del proceso sinfisial (Fig. 18), que en *B. johnsoni* aumenta de 12° en el juvenil a 24° en el adulto (Prieto-Márquez, 2011), patrón también observado en los lambeosaurinos *Amurosaurus riabinini*, *Lambeosaurus lambei* e *H. stebingeri* (Godefroit *et al.*, 2004; Prieto-Márquez, 2008). Sin embargo, en *E. annectens* y *Brachylophosaurus canadensis* los adultos tienen un menor ángulo en comparación al juvenil (Prieto-Márquez, 2008, 2014), y en *M. peeblesorum* esta desviación no cambia, presentando el mismo ángulo tanto el perinatal como el adulto (Prieto-Márquez y Guenther, 2018); y la posición de esta desviación ventral en el dentario (Fig. 18), en donde aquellos

taxones donde el ángulo de la desviación ventral incrementa con la edad, la posición de su origen se desplaza caudalmente (Godefroit *et al.*, 2004; Prieto-Márquez, 2008, 2011).

Con relación a los elementos apendiculares, como el fémur y la tibia, *Magnapaulia laticaudus* mostro el mismo patrón observado en el otro lambeosaurino perinatal, *Hypacrosaurus stebingeri*, donde estos elementos son más robustos en comparación con los presentes en el adulto (Horner y Currie, 1994). En el adulto de *Ma. laticaudus* el largo próximodistal del fémur es ligeramente más de nueve veces mayor que el diámetro craneocaudal de la diáfisis del hueso, mientras que en la tibia es 10 veces mayor (Prieto-Márquez *et al.*, 2012), mientras que en los perinatales es de 7.75 en el fémur (Fig. 23) y de 8.85 en la tibia (Fig. 21).

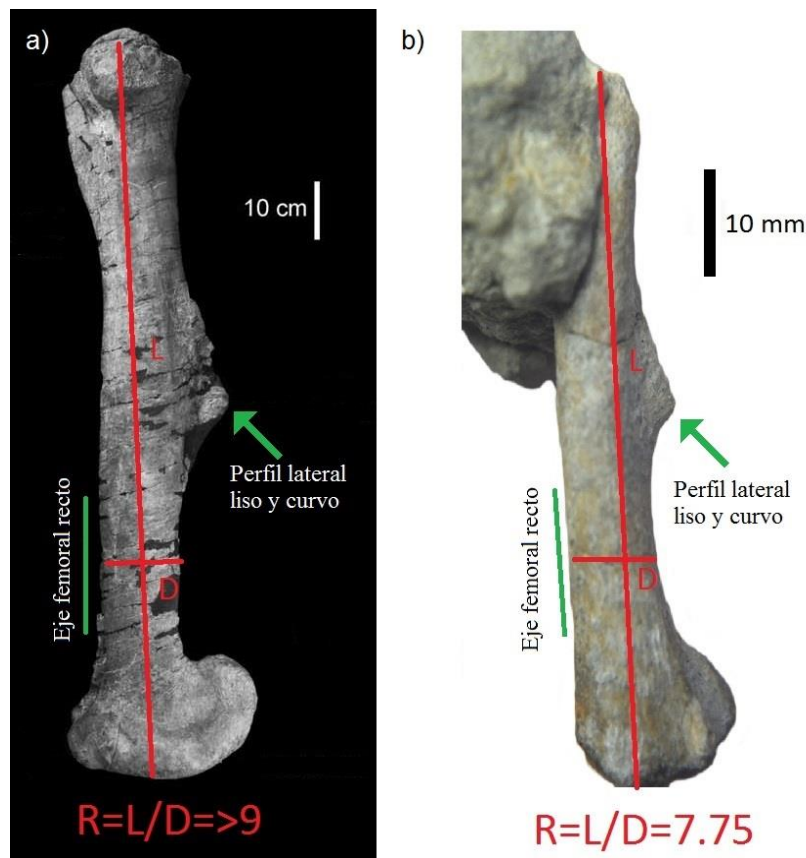


Figura 23. Diferencias morfológicas del fémur por ontogenia en *Magnapaulia laticaudus*. a) Ejemplar adulto LACM 17715, fémur derecho en vista medial; b) Ejemplar perinatal TGR-LP11, fémur izquierdo en vista lateral. Características en verde indican estabilidad durante la ontogenia y en rojo señalan que hay cambio durante el crecimiento.

Por el momento no se ha reportado la presencia del húmero del perinatal de *Ma. laticaudus* en el nido, y los ejemplares reportados en las otras localidades, con excepción del ejemplar Jao-200, no poseen características suficientes para hacer una distinción entre los grupos de hadrosaurios (hadrosaurinos y lambeosaurinos). Una de las características que distingue hadrosaurinos y lambeosaurinos es la expansión lateroventral de la cresta deltopectoral del húmero, que en los primeros mantienen una cresta corta (con excepción de *Saurolophus*) que no se expande más del doble del diámetro del eje humeral como en los lambeosaurinos (Horner *et al.*, 2004; Prieto-Márquez, 2010).

Varios autores han documentado los cambios ontogenéticos presentes en el húmero de los hadrosauridos (Dilkens, 2001; Prieto-Márquez, 2011; Guenther, 2009, 2014). Pero según el grupo, son los cambios que sufren, por ejemplo, en el hadrosaurioide *Bactrosaurus johnsoni* hay un aumento tanto en la robustez del húmero como en la expansión lateroventral de la cresta deltopectoral de 1.60-1.65 a 1.74 entre juveniles y adultos (Prieto-Márquez, 2011). Mientras que en los hadrosaurinos como *Maiasaura peeblesorum* y *Edmontosaurus annectes* solo aumenta la robustez del húmero, presentando una expansión lateroventral de la cresta deltopectoral similar durante la ontogenia (Dilkens, 2001; Guenther, 2014; Prieto-Márquez, 2014; Prieto-Márquez y Guenther, 2018). Y en los lambeosaurinos, el húmero de los perinatales de *Hypacrosaurus stebingeri* y polluelo de cf. *Parasaurolophus tubicen* muestran una expansión lateroventral de la cresta deltopectoral comparables al de los adultos, como en los hadrosaurinos, pero en su caso el húmero es más robusto, señalando que durante la ontogenia hay una reducción en su robustez (Horner y Currie, 1994; Sullivan *et al.*, 2011). Curiosamente este mismo patrón se observa en el hadrosaurino *Saurolophus* cf. *S. angustirostris* (Dewaele *et al.*, 2015), que comparte (por convergencia) con los lambeosaurinos la misma proporción en la expansión lateroventral de la cresta deltopectoral.

De esta manera, el ejemplar Jao-200 al presentar una expansión lateroventral de la cresta pectoral con una proporción de 1.61, se puede distinguir de los ejemplares de *Magnapaulia laticaudus* (LACM 17715, 17712, 17716) que poseen una proporción ligeramente por encima de 1.8 (Prieto-Márquez *et al.*, 2012) (Fig. 24). Esto indica que el ejemplar Jao-200 no pertenece a *Magnapaulia laticaudus*, sino a un hadrosaurino.

Finalmente, los siguientes caracteres craneales que son similares tanto en el perinatal como adulto de *Magnapaulia laticaudus* y por lo tanto se consideran constantes durante la ontogenia son los siguientes: presencia de una cresta primaria y una o dos crestas cortas tenues en la corona de los dientes del dentario y maxilar; crestas primarias posicionadas en la mitad de la corona en la mayoría de los dientes tanto del dentario como del maxilar; crestas primarias principalmente rectas y sinuosos; presencia del esmalte solo en la cara lingual en el dentario y labial en el maxilar; extensión de la batería dental caudal al margen caudal del proceso coronoide; proceso coronoide lateralmente desfasado relativo a la hilera de dientes con la presencia de una plataforma cóncava; ausencia del proceso rostródorsal del maxilar; ángulo entre el margen dorsal de la placa premaxilar y el segmento rostral de la hilera de dientes de 25°; superficie articular del yugal expuesto más lateralmente que dorsalmente; arreglo y número de los forámenes maxilares ventral y rostral de la articulación del yugal; el gran foramen del maxilar expuesto en la superficie dorsal del maxilar y no expuesto lateralmente; ausencia de la exposición de los pasajes nasales, encapsulados por el hueso y formando cavidades internas y pasajes.

Mientras los caracteres postcraneales que no varían durante la ontogenia se encuentran: morfología del proceso acromion recurvado craneodorsalmente; extensión craneal de la región craneodorsal de la escápula (0.36 en perinatal, 0.4 en adulto); diáfisis del fémur recto; y perfil lateral del cuarto trocánter liso y curvado.

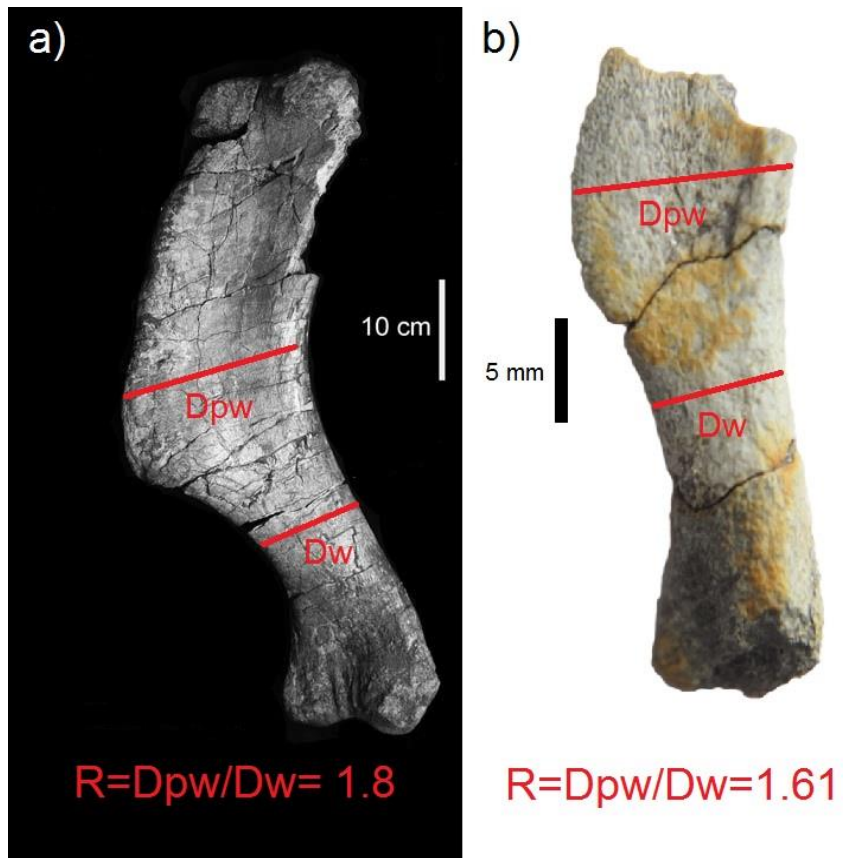


Figura 24. Diferencia en la expansión de la cresta deltopectoral del húmero de a) *Magnapaulia laticaudus* (17715) y b) el ejemplar Jao-200.

VII. CONCLUSIONES

- Entre las diferentes cáscaras de huevo recuperadas de la formación El Gallo (Campaniano), Baja California, diez fueron asignadas a dinosaurios, una a cocodrilo y otra a geco. Las cáscaras de huevo de dinosaurios corresponden a ornitópodos (*Spheroolithus*), posiblemente hadrosaurios y es el más abundante en todos los sitios dentro de la formación El Gallo. El resto de las cáscaras de dinosaurios pertenecen a terópodos. Los ootaxones *Prismatoolithus* y *Continuoolithus* fueron asociados con el registro de troodontidae y oviratosauroidae, respectivamente. Los nuevos hallazgos de las cáscaras de terópodos y de aves enanthornites son evidencia de la diversidad de terópodos de pequeño tamaño en Baja California.
- Las cáscaras de cocodrilo se pueden correlacionar con los registros de *Leydysuchus* y *Brachychampsa*. Mientras que las cáscaras de geco indican la posible existencia de este lepidosaurio en el Campaniano de Baja California.
- La presencia de Mn y Fe en las cáscaras spheroolitidas sugieren una posible alteración diagenética, sobre todo en las cáscaras del nido de Lambeosaurino que perdieron su microestructura primaria. Pero a pesar de esto, la composición isotópica diferente entre las cáscaras y los nódulos de carbonato señalan que los valores isotópicos de las cáscaras no fueron modificados significativamente.
- La composición de isótopos estables de las cáscaras provenientes de las tres localidades es congruente con los valores de esmalte y dentina de los dientes de hadrosaurios de otros sitios de la formación El Gallo.
- La reconstrucción de plantas C3 con $\delta^{13}\text{C}$ de -27‰ a -29‰ sugieren condiciones húmedas con una posible precipitación de > 1,100mm/año. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las cáscaras de huevo concuerdan con el gradiente latitudinal de $\delta^{18}\text{O}$ propuesta por Fricke *et al.* (2008, 2009)
- Basado en la comparación entre el $\delta^{18}\text{O}$ del agua ingerida y agua meteórica, se infirió temperaturas cálidas y condiciones de evaporación en Baja California durante el Campaniano. Temperaturas atmosféricas entre 15.5-34.5 °C con un promedio de 21 °C, fueron similares a la temperatura media anual estimada por Amion *et al.* (2004) para la paleo-latitud de la formación El Gallo.

- Todos los registros osteológicos de perinatales corresponden a hadrosaurios y los presentes en el nido se asignaron al lambeosaurino *Magnapaulia laticaudus* con base a las características presentes principalmente en el maxilar.
- La mayoría de los cambios morfológicos que sufre *M. laticaudus* durante el crecimiento (la ontogenia) son congruentes con los reportados en otros hadrosaurios perinatales como *Maiasaura peeblesorum* (Prieto-Márquez y Guenther, 2018) e *Hypacrosaurus stebingeri* (Horner y Currie, 1994). Sin embargo, también se observa que la forma en que varían estos cambios no es constante dentro de los hadrosaurios.
- Como en otros perinatales, un número de caracteres filogenéticamente informativos de la maxila, dentario, dientes, como también de la escápula y el fémur, son invariables durante la ontogenia de *M. laticaudus*. Demostrando su utilidad para la inferencia filogenética en hadrosaurios.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bell, P.R. 2011. Cranial osteology and ontogeny of *Saurolophus angustirostris* from the Late Cretaceous of Mongolia with comments on *Saurolophus osborni* from Canada. *Acta Palaeontologica Polonica* 56 (4): 703-722
- Campione, N.E. y Evans, D.C. 2011. Cranial growth and variation in *Edmontosaurus* (Dinosauria: Hadrosauridae): Implications for Latest Cretaceous megaherbivore diversity in North America. *PLoS ONE* 6(9): e25186.
- Chiappe, L. M., Coria, R. A., Dingus, L., Jackson, F., Chinsamy, A. y M. Fox. 1998. Sauropod dinosaur embryos from the Late Cretaceous of Patagonia. *Nature* 396: 258-261.
- Dilkes, D. W. 2001. Appendicular myology of the hadrosaurian dinosaur *Maiasaura peeblesorum* from the Late Cretaceous (Campanian) of Montana. *Transactions of the Royal Society of Edinburg: Earth Sciences* 90: 87-125.
- Eagle, R. A., Enriquez, M., Grellet-Tinner, G., Pérez-Huerta, A., Hu, D., Tütken, T., Montanari, S., Loyd, S. J., Ramirez, P., Tripathi, A. K., Kohn, W. J., Cerling, T. E. Chiappe, L. M., y J. M. Eiler. 2015. Isotopic ordering in eggshells reflects body temperatures and suggest differing thermophysiology in two Cretaceous dinosaurs. *Nat. Commun* 6:8296.
- Fricke, H., Montellano-Ballesteros, M., Wilson, G. P., Sewall, J. O., Sertich, J. y D. E. Fastovsky. 2015. Looking over the Late Cretaceous cordillera: a comparison of stable isotope records and climate model simulations from Utah and New Mexico with those from Baja California, Mexico. *The Geological Society of America Annual Meeting* 47: 53-6.
- Godefroit, P., Bolotsky, Y.L. y Van Itterbeeck, J. 2004. The lambeosaurine dinosaur *Amurosaurus riabinini*, from the Maastrichtian of Far Eastern Russia. *Acta Palaeontologica Polonica* 49 (4): 585-618.
- Guenther, M.F. 2009. Influence of sequence heterochrony on hadrosaurid dinosaur postcranial development. *The anatomical Record* 292: 1427-1441.
- Guenther, M. F. 2014. *Comparative ontogenies (appendicular skeleton) for three hadrosaurid and a basal iguanodontian: divergent developmental pathways in*

- Hadrosaurinae and Lambeosaurinae*. En: Eberth D. A., Evans, D. C. (eds).
Hadrosaurs. Bloomington: Indiana University Press, pp. 398-336.
- Hechenleitner, M., Fiorelli, L. E., Grellet-Tinner, G., Leuzinger, L., Basilici, G., Taborda, J. R. A., De La vega, S. R., y C. A. Bustamante. 2016. A new upper Cretaceous titanosaur nesting site from La Rioja (NW Argentina), with implications for titanosaur nesting strategies. *Paleontology*: 1-14.
 - Horner, J. R. 1982. Evidence of colonial nesting and “site fidelity” among ornithischian dinosaurs. *Nature* 297(5868): 675-676.
 - Horner, J. R. 1999. Egg clutches and embryos of two hadrosaurian dinosaurs. *Journal of Vertebrate Paleontology* 19: 607-611.
 - Horner, J. R. y P. J. Currie. 1994. *Embryonic and neonatal morphology and ontogeny of a new species of Hypacrosaurus (Ornithischia, Lambeosauridae) from Montana and Alberta*. En: Carpenter, K., Hirsch, H. F. y J. R. Horner (eds). Dinosaur eggs and babies. Cambridge University Press, New York, pp. 312-336.
 - Horner, J. R., De Ricqlès, A. y K. Padian. 2000. Long bone histology of the hadrosaurid dinosaur *Maiasaura peeblesorum*: growth dynamics and physiology based on an ontogenetical series of skeletal elements. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20: 115-129.
 - Horner, J. R., De Ricqlès, A. y K. Padian. 2001. Comparative osteohistology of some embryonic and perinatal archosaurs: developmental and behavioral implications for dinosaurs. *Paleobiology* 27: 39-58.
 - Horner, J.R., Waischalpe, D.B. y Foster, C.A. 2004. *Hadrosauridae*. En: Wishamplé, D.B., Dodson, P. y Osmólka, H. (eds). The Dinosauria, second edition. University of California Press, Bekerley, pp. 438-463.
 - Liang, X., Wen, S., Yang, D., Zhou, S., y S. Wu. 2009. Dinosaur eggs and dinosaur egg-bearing deposits (Upper Cretaceous) of Henan Province, China: Occurrences, palaeoenvironments, taphonomy and preservation. *Nature Science* 19: 1587-1601.
 - Maryanska, T y Osmolka, H. 1981. Cranial anatomy of *Saurolophus angustirostris* with comments on the Asian Hadrosauridae (Dinosauria). *Palaeontologia Polonica* 42: 5-24.

- Nydam, L. R. 1999. *Polyglyphanodontinae (Squamata Teiidae) from the Medial and Late Cretaceous: New taxa from Utah, USA and Baja California del Norte, Mexico*. En: Gillette, D. D. (ed.) *Vertebrate Paleontology in Utah*. Miscellaneous Publication 99 Utah Geological Survey, Utah, 303-319.
- Prieto-Márquez, A. 2008. *Phylogeny and Historical Biogeography of Hadrosauridae Dinosaurs*. PhD dissertation, Florida State University, Tallahassee, Florida, 636 pp.
- Prieto-Márquez, A. 2010. Global phylogeny of Hadrosauridae (Dinosauria: Ornithomimidae) using parsimony and Bayesian methods. *Zoological Journal of the Linnean Society* 159: 435-502.
- Prieto-Márquez, A. 2011. Cranial and appendicular ontogeny of *Bactrosaurus johnsoni*, a hadrosauroid dinosaur from the Late Cretaceous of Northern China. *Palaeontology* 54: 1-20.
- Prieto-Márquez, A. 2014. A juvenile *Edmontosaurus* from the Late Maastrichtian (Cretaceous) of North America: Implications for ontogeny and phylogenetic inference in saurolophine dinosaur. *Cretaceous Research* 50: 282-303.
- Prieto-Márquez, A. y M. F. Guenther. 2018. Perinatal specimens of *Maiasaura* from the Upper Cretaceous of Montana (USA): insights into the early ontogeny of saurolophine hadrosaurid dinosaurs. *PeerJ* 6: e4734.
- Prieto-Márquez, A., Joshe, S. y Parker, W.C. 2006. Morphometrics of the hadrosaurid pelvic girdle using a new method of shape analysis. *Journal of Vertebrate Paleontology* 26 (suppl. 3): 112A
- Reisz, R. R., Evans, D. C., Sues, H.D. y D. Scott. 2010. Embryonic skeletal anatomy of the sauropodomorph dinosaur *Massospondylus* from the Lower Jurassic of South Africa. *Journal of Vertebrate Paleontology* 30: 1653-1665.
- Stanford, R., Weishampel, D. B. y V. B. DeLeon. 2011. The first hatchling dinosaur reported from the eastern United States: *Propanoplosaurus marylandicus* (Dinosauria: Ankylosauria) from the Early Cretaceous of Maryland, U.S.A. *Journal of Paleontology* 85: 916-924.
- Sullivan, R.M., Lucas, S.G., y Jasinski, S.E. 2011. The humerus of a hatchling Lambeosaurine (Dinosauria: Hadrosauridae) referable to cf. *Parasaurolophus tubicens* from the upper Cretaceous Kirtland Formation (De-Na-Zin Member), San

Juan Basin, New Mexico. *Fossil Record 3, New Mexico Museum of Natural History and Sciences, Bulletin 53*: 472-474.

- Wosik, M., Goodwin, M. B. y D. C. Evans. 2018. A nestling-sized skeleton of *Edmontosaurus* (Ornithischia, Hadrosauridae) from the Hell Creek Formation of Northeastern Montana, U.S.A., with an analysis of ontogenetic limb allometry. *Journal of Vertebrate Palaeontology*: e1398168.

ANEXO I

Veterovata

El sistema de clasificación parataxonómica dedicada al estudio de huevos fósiles fue desarrollado por paleontólogos chinos (Zhao, 1979, 1994), que fue aceptada y empleada por investigadores posteriores (Mikhailov, 1991, 1997; Mikhailov *et al.*, 1996; Carpenter, 1999). En 1972, Vialov introdujo el nombre Veterovata (huevo viejo) para referirse al sistema universal de identificación de restos de huevos fósiles (Mikhailov *et al.*, 1996; Carpenter, 1999). La clasificación está basada en la descripción física del huevo, que incluyen macroestructuras, microestructuras y la ultraestructura. Estas características se describen como componentes estructurales de las cáscaras entendiendo su arreglo biocristalino, definiendo el morfotipo estructural y el sistema del poro, los cuales son conservadores entre los grupos zoológicos, permitiendo de esta manera asignar niveles taxonómicos de mayor nivel a los huevos fósiles (Mikhailov, 1991; Mikhailov *et al.*, 1996; Carpenter, 1999).

Se agrega el prefijo griego “oo”, que significa “huevo”, para distinguir las especies, géneros y familias de huevo: ooespecies, oogéneros y oofamilias, respectivamente. Al igual que utiliza el sufijo griego “-oolithus” (huevo de piedra), en los géneros y familias para evitar la confusión con los nombres de animales en catálogos y listas de vertebrados fósiles (Mikhailov *et al.*, 1996; Mikhailov, 1997; Carpenter, 1999). Este sistema de clasificación sigue la metodología y reglas generales del Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICNZ) (Mikhailov, 1991; Mikhailov *et al.*, 1996; Carpenter, 1999).

Diferentes caracteres morfológicos se emplean para el establecimiento de las oofamilias, oogéneros y ooespecies (Mikhailov *et al.*, 1996; Mikhailov, 1997; Carpenter, 1999):

- Oofamilias: se distinguen por su morfotipo estructural, sistema del poro, y la ornamentación superficial externa del huevo.
- Oogénero: se basa en la forma del huevo, variación dentro del morfotipo, sistema del poro y ornamentación de la superficie exterior de la cáscara.

- Ooespecies: se diferencian por características cuantitativas como el rango exacto del grosor de la cáscara, tamaño del huevo, patrón externo de los poros y detalles de la ornamentación.

Dentro del nivel de la ooespecie se encuentran ciertas dificultades, debido a que se conoce por estudios en huevos de reptiles y aves modernos que el tamaño y forma del huevo puede variar a cierto punto. Tanto el tamaño como el grosor de la cáscara del huevo fluctúan dentro de la misma puesta o incluso entre puestas de la misma especie. Cabe mencionar que, dentro de las oofamilias, la ornamentación de la superficie externa del huevo varía de la misma manera que el grosor de la cáscara. Por otro lado, la diagénesis puede causar alteraciones en la microestructura y ultraestructura de la cáscara y el desgaste de la superficie externa puede afectar el grosor y los patrones de la ornamentación de la cáscara (Mikhailov *et al.*, 1996).

Literatura citada

- Carpenter, K. 1999. Eggs, Nests, and Baby Dinosaurs: A look at Dinosaur Reproduction. Life of the Past. Indiana University Press, Indiana. 336 pp.
- Mikhailov, K. E. 1991. Classification of fossil eggshells of amniotic vertebrates. *Acta Palaeontologica Polonica* 36: 193-238; pls 21-39.
- Mikhailov, K. E. 1997. Fossil and recent eggshell in amniotic vertebrates: Fine structure, comparative. The Palaeontological Association, London. 80 pp.
- Mikhailov, K. E., Bray, E. S. y K. F. Hirsch. 1996. Parataxonomy of fossil egg remains (Veterovata): Principles and applications. *Journal of Vertebrate Paleontology* 16: 763-769.
- Zhao, Z. 1979. *The advancement of research on the dinosaurian eggs in China*. En IVPP (Institute of Vertebrate Paleontology, Paleoanthropology) and NGPI (Nanjing Institute of Paleontology) (eds.). Mesozoic and Cenozoic Redbeds in Southern China. Science Press, Beijing, pp. 330-340.
- Zhao, Z. 1994. *Dinosaur eggs in China: On the structure and evolution of eggshells*. En: Carpenter, K., Hirsch, K. F. y J. R. Horner (eds.). Dinosaur Eggs and Babies. Cambridge University Press, New York, pp. 184-203.