



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Posgrado en Ciencias de la Tierra
Instituto de Geología
Estación Regional del Noroeste

Estratigrafía y Tafonomía de la Formación Corral de Enmedio, Grupo Cabullona, noreste de Sonora, México

TESIS

Para obtener de grado de
Maestro en Ciencias de la Tierra

Presenta:

Biol. Rubén Duarte Bigurra

Comité Tutor:

Dr. Carlos Manuel González León (Estación Regional del Noroeste, UNAM)

Dra. Uxue Villanueva Amadoz (Estación Regional del Noroeste, UNAM)

Dr. Madhavaraju Jayagopal (Estación Regional del Noroeste, UNAM)

Jurado Examinador:

Dra. Uxue Villanueva Amadoz (Estación Regional del Noroeste, UNAM)

Dra. Claudia Inés Serrano Brañas (Benemerita Escuela Normal de Coahuila)

Dr. Carlos Manuel González León (Estación Regional del Noroeste, UNAM)

Dra. Penélope Cruzado Caballero (Universidad Nacional de Río Negro)

Dra. Elena Previtera (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias
Ambientales)

Hermosillo Sonora, Enero 2019



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.

RESUMEN

La Cuenca Cabullona situada al noreste del estado de Sonora (Taliaferro, 1933) es un depocentro continental que tiene un relleno sedimentario de aproximadamente 4.5 km de espesor. Esta cuenca se formó en el Cretácico Tardío, entre ca. 82 y 70 Ma de acuerdo con varias secciones medidas y datadas regionalmente (González-León et al., 2017). La sección Naco que se ubica en la parte norte de la cuenca tiene un espesor de 2.5 km y una edad Campaniana tardía (~73 - 72 Ma) y en la base de dicha sección se encuentra la Formación Corral de Enmedio. Esta formación, la cual es el objeto de estudio del presente trabajo, tiene un espesor de 230 m y se encuentra conformada por areniscas, limolitas y lodolitas con niveles de nódulos calcáreos pedogénicos, y en menor proporción calizas y conglomerados que fueron depositados en ambientes fluviales, lacustres y marino marginales. La Formación Corral de Enmedio es la unidad relativamente más fosilífera del Grupo Cabullona y contiene diversos, aunque no abundantes restos de dinosaurios de los grupos Ceratopsidae, Hadrosauridae, Ornithomimidae y Tyrannosauridae, tortugas de las familias Adocidae y Trionychidae, eusúquidos, peces de Amiidae y Lepisosteidae, y moluscos de Unionidae, Physidae y Viviparidae. En general, los restos de vertebrados corresponden a elementos desarticulados e incompletos con diversos grados de preservación tafonómica. En las limolitas y lodolitas que fueron acumuladas en ambientes de planicies de inundación de los sistemas fluviales se tienen huesos de vertebrados terrestres que incluyen a cuatro grupos de dinosaurios, vertebrados semiacuáticos como tortugas y cocodrilos y vertebrados acuáticos que incluyen a peces. Estos presentan características tafonómicas que indican que permanecieron en la superficie expuestos al ambiente, fueron fracturados y resedimentados antes de ser enterrados. En las capas de areniscas que indican depósitos de canales de ríos se presentan los mismos tipos de vertebrados que en las planicies, con características tafonómicas similares, además de haber sufrido alteraciones por reelaboración. Las capas de calizas que indican depósitos de lagos presentan la menor diversidad de organismos, con restos mejor preservados, propio de ambientes de baja energía y con la presencia de gasterópodos y bivalvos. El registro muestra una breve transgresión marina hacia la cuenca indicada principalmente por la unidad 10, que contiene foraminíferos planctónicos y restos de carofitas en algunas de las calizas micríticas que intercalan las limolitas de dicha unidad. En la parte inferior de la unidad 11 se tiene también un conglomerado polimíctico que resultó ser el nivel más fosilífero de la formación ya que de él colectaron más de la mitad de los fósiles estudiados con representantes de dinosaurios hadrosáuridos, tiranosáuridos, tortugas adócidas y trioníquidas y peces ámidos y lepisostéidos. Este conglomerado es considerado como una “bone bed” producto de un derrumbe fluvial catastrófica que durante su transporte incorporó restos de organismos de la planicie fluvial y del ambiente marino somero donde se depositó. Para mantener este ecosistema diverso, el paleoclima prevaleciente durante la depositación de la Formación Corral de Enmedio debió haber sido tropical con períodos menores y ocasionales de sequía cuando se formaron los niveles de nódulos calcáreos pedogénicos.

DEDICATORIA

A mi madre. Por todo el amor, apoyo y paciencia que me ha dado. No solo durante mi carrera profesional, sino durante toda mi vida. Muchas gracias por todo. ¡Te Amo!

A mi papá. Por todo lo su amor, todo lo que me enseñó, me apoyó y como me inspira a seguir adelante. Te extraño mucho. ¡Te Amo!

A mis hermanos, Eira, Beto y Liz. Por su amistad, apoyo y por aguantarme tanto. ¡Muchas gracias por todo!

A mis sobrinos, Ayrin y Eduardo. Por todo el cariño que me dan y siempre estar dispuestos a jugar y distraerme en cualquier momento. ¡Los quiero mucho!

A mis abuelos. Rubén y Blanca, Bethina, Carolina y Humberto y a toda mi familia. Por siempre recibirme con los brazos abiertos y hacerme sentir como en mi casa, cuando estoy con ustedes, ya sea en Sonora, Ciudad de México o Veracruz. Los Amo.

A mis amigos, compañeros y maestros. De quienes he aprendido de ellos todos los días.

AGRADECIMIENTOS

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACYT) por su apoyo económico durante la realización de mis estudios de posgrado mediante el programa de becas, así como al proyecto CONACYT 220368, titulado “Palinoestratigrafía del Cretácico en las cuencas sedimentarias de Sonora” (otorgado a la Dra. Uxue Villanueva Amadoz), con el que se financio parcialmente este trabajo.

Al *Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica* (PAPIIT) por el proyecto IN101811-3 (otorgado al Dr. Carlos M. González León), con el que se financio parcialmente este trabajo.

Al *Posgrado de Ciencias de la Tierra* de la *Universidad Nacional Autónoma de México* y a la *Estación Regional del Noroeste* (ERNO) del *Instituto de Geología de la UNAM* por haberme dado esta oportunidad de formarme académicamente.

A mi asesor, el Dr. Carlos M. González León y al resto de mi comité tutor: Dra. Uxue Villanueva Amadoz y Dr. Madhavaraju Jayagopal, por todo el apoyo y enseñanzas durante este largo camino.

Al jurado evaluador: Dra. Claudia serrano Brañas, Dra. Elena Previtera y Dra. Penélope Cruzado Caballero, por sus valiosos comentarios y aportes invaluable a este escrito.

Al Dr. Robert W. Scott de *Precision Stratigraphy Associates* y *University of Tulsa*, por su identificación de los microfósiles de foraminíferos y dinofíceas reportadas en este trabajo.

Al Dr. Robert McCord del *Arizona Museum of Natural History*, por su apoyo en la identificación de restos de tortugas reportadas en este trabajo.

A la Dra. Alba Vicente Rodríguez por identificación de las carofitas reportadas en este trabajo.

A Aimeé Orcí Romero de la ERNO, por su trabajo en la laminación de mis fósiles y muestras de roca.

A los paleontólogos de la ERNO, Uxue, Pilar, Hannes, Alba, Fran, Maricruz, Sama y Aaron, por su amistad y todo aporte positivo que me dieron en la elaboración de este trabajo.

A todos mis compañeros y amigos dentro y fuera del posgrado, Cynthia, Laura, Hinojo, Rubo, Canda, Max, Melissa, Nicole, Jaz, Liz, Itzel, Palomino, Sharon y a todos por su amistad y todo su apoyo.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. OBJETIVOS	8
III.1. Objetivo General	8
III.2. Objetivos Específicos	8
IV. HIPÓTESIS	9
V. METODOLOGÍA.....	10
VI. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN CORRAL DE ENMEDIO	15
VI.1. Ambiente de depósito de la Formación Corral de Enmedio	22
VI.2. Edad de la Formación Corral de Enmedio	23
VII. PALEONTOLOGÍA.....	25
VII.1. Invertebrados.....	26
VII.1.1. Moluscos.....	26
VII.2. Vertebrados	33
VII.2.1. Peces.....	33
VII.2.2. Tortugas.....	36
VII.2.3. Cocodrilos	39
VII.2.4. Dinosaurios.....	40
VII.3. Microfósiles.....	46
VIII. TAFONOMÍA	47
VIII.1. Ejemplares por unidad.....	49
VIII.1.1. Unidad 2	52
VIII.1.2. Unidad 4	54
VIII.1.3. Unidad 9	55
VIII.1.4. Unidad 11	57
VIII.1.5. Unidad 12	59
VIII.1.6. Unidad 13	64
VIII.1.7. Unidad 14	65
VIII.1.8. Unidad 15	67

VIII.1.9. Unidad 16	71
VIII.1.10. Unidad 17	74
VIII.1.11. Ejemplares sin unidad	79
VIII.1. Permineralización	81
IX. DISCUSIÓN	86
IX.1. Estratigrafía	86
IX.2. Tafonomía y paleoambientes	87
IX.3. Paleoclima	93
X. CONCLUSIONES	95
XI. LITERATURA CITADA	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Grupos de Voorhies (de acuerdo a Voorhies, 1969 y Behrensmeier, 1975) para elementos esqueléticos, divididos de acuerdo a su facilidad de transporte en corrientes hidráulicas. Los elementos del Grupo I son arrastrados fácilmente por corrientes de baja energía y los del Grupo III son requieren flujos más energéticos para ser transportados.	11
Tabla 2	Etapas de intemperismo basadas en Fiorillo (1988).	12
Tabla 3	Tipos de fracturas, modificado de Myers et al. (1980).	12
Tabla 4	Lista de fósiles estudiados. Se indica la unidad estratigráfica de donde fueron colectados, su número de colección, número de piezas y su identificación taxonómica. *Ejemplares tomados de la CPERNO. N/C: Bivalvos dentro de las calizas que por su fragilidad no fueron colectados.	50
Tabla 5	Fósiles de la Formación Corral de Enmedio identificados taxonómicamente, sin información precisa de su posición estratigráfica. *Ejemplares tomados de la CPERNO.	51

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Mapas paleogeográficos base de Norteamérica durante el Cretácico Tardío (Campaniano). (A) Hace 85 Ma y B) Hace 75 Ma (©2014 Colorado Plateau Geosystems Inc.). Se indican localidades importantes con formaciones que contienen vertebrados del Cretácico Tardío y mencionadas en éste trabajo, 1. Dinosaur Park, 2. Judith River, 3. Two Medicine, 4. Kaiparowits, 5. Fruitland y Kirtland, 6. Aguja, 7. Cerro del Pueblo. Se muestra ubicación aproximada del estado de Sonora y de la Cuenca de Cabullona (CC) en el noroeste de México, así como de las cuencas Fort Crittenden (Fcr) y Ringbone (CR) del sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México, respectivamente. 1
- Figura 2 Correlación regional de algunas formaciones del Cretácico Tardío (Campaniano-Maastrichtiano) de Norteamérica, mencionadas en este trabajo. Tabla tomada de Fowler (2017) donde los límites de las edades de vertebrados terrestres (Land Vertebrate Ages) de Sullivan y Lucas (2006) fueron ligeramente refinadas, o modificadas. El rango de edad del Grupo Cabullona y de la Formación Corral de Enmedio ha sido agregado, de acuerdo a González-León et al. (2017). 2
- Figura 3 (A) Mapa geológico del noreste de Sonora, mostrando afloramientos del Grupo Cabullona en la cuenca del mismo nombre, las rocas del basamento sobre las que descansa el grupo y las rocas plutónicas y Cenozoicas que son de edades más jóvenes que dicho grupo; el rectángulo de color amarillo indica el área de afloramiento de la Formación Corral de Enmedio. (B) Columna estratigráfica del Grupo Cabullona en la sección de Naco. (C) Correlación de las secciones medidas del Grupo Cabullona en la Cuenca Cabullona, incluyendo a la sección de Naco. Figuras tomadas de González-León et al. (2017). 7
- Figura 4 Ejemplos de un hueso sin fracturas y las diferentes fracturas identificadas en los restos fósiles, mostrando la dirección de las fibras del hueso (flechas) y la línea de fractura (línea punteada). (A) Hueso sin fracturas, (B) fractura espiral, (C) transversal, (D) longitudinal y (E) diagenética en varias vistas (e) y (e'). Representación de los cuatro grados de deformación de las conchas de moluscos: (F) grado 1, valva sin deformación, (G) grado 2, ejemplar con deformación ligera marcada por la línea punteada, (H) grado 3, deformación más marcada, visible en casi toda la valva e (I) grado 4, ejemplar tan deformado que perdió su forma original, (i) ejemplar del mismo género sin deformaciones, no a escala. Barra de escala mide 2 cm. 13

- Figura 5 (A) Mapa de localización del afloramiento de la Formación Corral de Enmedio en el noreste de Sonora. (B) Detalle de localización del afloramiento de las capas de la Formación Corral de Enmedio que tienen inclinación hacia el oriente. La línea de color amarillo muestra la ubicación de la columna estratigráfica medida y la línea blanca muestra el contacto con la Formación Arenisca Camas cuyas capas están también inclinadas hacia el oriente. La raya negra en B indica una falla que desplaza el contacto entre ambas formaciones; también se indica el rumbo e inclinación de las capas y la dirección del Norte geográfico. Imágenes tomadas de GoogleEarth noviembre 7, 2017. 15
- Figura 6 Columna estratigráfica de la Formación Corral de Enmedio dividida en 18 unidades litológicas. 16
- Figura 7 Fémur de hadrosáurido completo, fracturado que se encontró dentro de limolitas de la unidad 9. 18
- Figura 8 (A) Afloramiento de la capa de conglomerado de la parte inferior de la unidad 11 mostrando clastos de caliza de hasta 15 cm de largo. (B) Microfotografía con luz natural de la matriz del mismo conglomerado mostrando granos de rocas volcánicas, cuarzo e intraclastos de calizas que están cementados por calcita; el grano de roca volcánica en el centro de la foto tiene un diámetro de 2 mm. 19
- Figura 9 (A) Limolitas/lodolitas de la unidad 14 con capas delgadas de tobas de ceniza volcánica intercaladas. (B) Areniscas de grano grueso de la parte inferior de la unidad 17, que sobreyacen a limolitas rojizas y una capa de caliza de la parte superior de la unidad 16. 20
- Figura 10 Microfósiles de las calizas de la unidad 11. (A) Alga calcárea Characeae Agard, 1824. (B) ?*Pithonella* sp. (C) ostrácodo. (D) foraminífero planctónico no identificado, con cámaras rotas. (E) ostrácodos y conchas delgadas indeterminadas. (F e I), foraminífero planctónico *Globigerinelloides bollii* Pessagno, 1967. (G), *Pithonella sphaerica* Kaufmann, 1865. (H) alga calcárea Porocharacea Grambast, 1962. La longitud total de cada microfotografía está indicada en milímetros dentro de las mismas. 24
- Figura 11 Abundancia relativa de los 165 restos fósiles que se identificaron para este trabajo, incluyéndose aquí los colectados durante este trabajo y los ejemplares de la CPERNO. 25
- Figura 12 Ejemplares de *Viviparus australis* Kues, 1995. (A) Acercamiento a las líneas de crecimiento y parte de la apertura de ERNO-8638; (B y C) ejemplar ERNO-8693 con *V. australis* dentro de bivalvo en vista dorsal y abapertural; (D, G y J) ERNO-8658 en vistas dorsal, apertural y abapertural; (E, H y K) ERNO-8659 en vistas dorsal, apertural y abapertural; (F, I y L) ERNO-8638 en vistas dorsal, apertural y abapertural. Barra negra de escala mide 2 cm y barra gris mide 1 cm. 27

- Figura 13 Ejemplares de ?*Viviparus* sp. de la unidad litológica 4. Presentan desgaste, disolución de conchas y/o molde interno expuesto. Ejemplares(A) ERNO-8597, (B) ERNO-8598, (C) ERNO-8599, (D) ERNO-8600, (E) ERNO-8601, (F) ERNO-8602, (G) ERNO-8603, (H) ERNO-8604. Barra de escala mide 2 cm. 28
- Figura 14 Ejemplar ERNO-8641 de *Mesolanistes reesidei* Stanton, 1917, en (A) vista apertural, (B) abapertural y C) dorsal, (D) con pequeños indicios de ornamentación cerca al ápice. Barra negra de escala mide 2 cm, barra gris mide 1 cm. 29
- Figura 15 Gasterópodo indet. incompleto con último giro visible y posible apertura en el extremo derecho de la imagen. Adherido a la arenisca fina que cubre parcialmente al ejemplar de ERNO-8577. Barra de escala mide 1000 μ m. 30
- Figura 16 Ejemplares de *Plesielliptio sonoraensis* Kues, 1995. En los fósiles asignados a esta especie se pueden observar la característica quilla posterior bien marcada y la forma subtriangular en lugar de ovalada. Ejemplares (A) ERNO-8639 y B) ERNO-8670. Barra de escala mide 3 cm. 31
- Figura 17 Algunos ejemplares de *Plesielliptio* sp. Russell, 1934. Estos ejemplares mostraban desgaste y redondeo, pero se distinguen las características generales del género, como la forma subovalada y alargada lateralmente. La quilla posterior es poco visible debido a la erosión en muchos de ellos. Ejemplares (A) ERNO-8661, (B) ERNO-8664, (C) ERNO-8609, (D) ERNO-8662, (E) ERNO-8611 y F) ERNO-8612. Barra de escala mide 3 cm. 32
- Figura 18 Varios ejemplares de centros de vértebras de *Melvius* sp. Ejemplares (A) ERNOV-1021, (B) ERNOV-1023, (C) ERNOV-1020, (D) ERNO-8663, (E) ERNO-8606, (F) ERNOV-1022, (G) ERNO-8607, (H) ERNO-8610, (I) ERNO-8618 en matriz de conglomerado con color modificado para definir y resaltar el fósil; (J) ERNO-8573 mostrando patrón de ornamentación (arriba) en comparación con ilustración del ejemplar UCMP 131707 (abajo) de ?*Melvius thomasi* Bryant, 1987. Barra de escala mide 2 cm. 34
- Figura 19 Escamas ganoideas en matriz de conglomerado. Ejemplares (A) ERNO-8624, (B) ERNO-8628, (C) ERNO-8621 y (D) ERNO-8623. Barra de escala mide 1 cm 35
- Figura 20 Fragmentos de placas pleurales en vista dorsal, con el patrón de fosas y crestas típico de la familia Trionychidae, en diferentes estados de preservación. Ejemplares (A) ERNO-8631, (B) ERNO-8619, (C) ERNO-8591, (D) ERNO-8592, (E) ERNO-8593, (F) ERNO-8594 y (G) ERNO-8595. Barra de escala mide 5 cm. 37
- Figura 21 Fragmentos de huesos periféricos y neural de tortuga ?*Adocus* Cope, 1868, algunos como presentan el patrón bien definido, mientras que en otros el patrón está parcialmente erosionado. Ejemplares (A) ERNO-8646, (B) ERNO-8630, (C) ERNO-8566, (D) ERNO-8685, (E) ERNO-8652 y (F) ERNO-8614. Acercamiento del patrón de fosas en rejilla de (G) ERNO-8630, (H) ERNO-8652 y (I) ERNO-8649. Barra de escala mide negra 5 cm, barras blancas 1 cm. 38

- Figura 22 Ejemplares de *Eusuchia*, vértebras cervicales (A) ERNO-8642, (B) ERNO-8643 y (C) ERNO-8577 en vistas craneal y dorsal, (D) maxilar derecho ERNO-8569, (E) osteodermo ERNO-8565 y (F) alveolos vacíos del maxilar. Barra de escala mide 2 cm. 39
- Figura 23 Vértebras de dinosaurios de la familia Ceratopsidae. Ejemplares mostrando cara articular y lateral; (A) ERNO-8686, (B) ERNO-8687, (C) ERNO-8688, (D) ERNO-8689, (E) ERNO-8578 y (F) ERNO-8682. Barra de escala mide 5 cm. 40
- Figura 24 Varios ejemplares asignados a la familia Hadrosauridae; (A) fémur izquierdo ERNO-360 en vista medial (arriba) y caudal (abajo), (B) metatarsiano II ERNO-8645, (C) metatarsiano III ERNO-8644, (D) vértebra caudal ERNO-8690, (E) vértebra caudal ERNO-8655, (F) falange I posiblemente del dígito III ERNOV-1026, (G) vértebra caudal ERNO-8684, (H) falange II del dígito III ERNO-8691, (I) metatarsiano III ERNO-8580, (J) vértebra caudal ERNO-8679 y (K) corona incompleta de un diente ERNO-8615 en vistas antero-posterior (izquierda) y laterales (centro y derecha). Barra negra de escala mide 5 cm, barra gris mide 2 cm. 43
- Figura 25 Ejemplares de la familia Ornithomimidae. Extremo proximal de una fíbula, posiblemente de ornitómimido (A) ERNO-8683, (B) vértebras caudales ERNO-8004 y (C) ERNO-8661. Barra de escala mide 5cm. 44
- Figura 26 Ejemplares de la familia Tyrannosauridae (A) ERNO-8027, (B) ERNO-8581, (C) ERNO-8625 y (D) ERNO-8564; acercamiento de los denticulos de (E) ERNO-8027, (F) ERNO-8581 y (G) ERNO-8564. Barra de escala mide 5 cm, barra de escala blanca mide 2 mm. 45
- Figura 27 Restos de plantas. (A-C) Carofitas (ERNO-8591) adheridas a la arenisca y (D y E) fragmento tapetes algales (ERNO-8647). Barra blanca de escala mide 500 μ m, barra negra mide 5 cm. 46
- Figura 28 Posición estratigráfica de los fósiles colectados, identificando la familia a la que pertenecen los ejemplares. 49
- Figura 29 Huesos pleurales de tortuga de la familia Trionychidae de la unidad 2: (A) ERNO-8591, con (B) *Ancorichnus* Heinberg, 1974, en su lado ventral; (C) ERNO-8593 con diferencias de desgaste (D) vista de la superficie dorsal y ventral; (E) ERNO-8594 con (F) superficie del hueso agrietada y fracturada exhumación en el centro de la imagen y superficie no fue afectada (óvalos blancos). Barra de escala mide negra 2 cm 53
- Figura 30 Ejemplares asignados a ?*Viviparus* sp. de la unidad 4: (A) ERNO-8604 con molde interno casi completo, (B) ERNO-8601 gasterópodo con restos de concha en su apertura, (C) ERNO-8602 y (E) ERNO-8599 con concha rota y molde interno parcialmente disuelto, (D) ERNO-8597 fragmento de molde interno. Barra de escala mide 2 cm 54

- Figura 31 (A) Fémur izquierdo de hadrosáurido (ERNO-360) de la unidad 9. Presenta un color amarillento en el lado proximal y grisáceo en el lado distal; (B) grietas de intemperismo en el cuerpo del fémur; (C) fractura diagenética en la cabeza del fémur; (D) posibles marcas de mordidas (flechas); (E) hueso redondeado en superficie de los cóndilos; (F) fractura diagenética en el cuerpo del fémur; (G) marca de roedura cerca del extremo distal. Barra de escala mide 10 cm, barra gris 4 cm. 56
- Figura 32 Ejemplares colectados en la parte superior de la Unidad 9. Vértices de *Melivius* sp. (A) ERNO-8606, (B) ERNO-8610 y (C) ERNO-8608 con superficie del hueso bien conservada (óvalos azules) en márgenes de sedimento duro, rodeadas de superficie desgastada (óvalo verde). Barra de escala mide 1 cm. 56
- Figura 33 Algunos ejemplares colectados del conglomerado polimíctico de la unidad 11. Fragmentos de tortugas (A) ERNO-8620, (B) ERNO-8627, (C) ERNO-8616 y (D) ERNO-8622 mostrando diversos grados de abrasión (A y C con desgaste menor comparado con B y D que tienen un mayor grado). Comparación de tamaños y conservación: (E) ejemplar menor ERNO-8623 escama de pez y (F) mayor ERNO-8631 extremo de fémur de dinosaurio, (G) diente de dinosaurio carnívoro ERNO-8622, (H) corona casi completa de tiranosáurido ERNO-8581, (I) desgaste y abrasión en la superficie del ejemplar ERNO-8613 y (J) varios ejemplares no identificados, fragmentados, muy afectados por abrasión. Barra de escala mide 5 cm. 58
- Figura 34 (A) Ejemplar de *Plesielliptio sonoraensis* Kues, 1995, ERNO-8639 con detalle de la preservación de la charnela y (B) pequeño parche de superficie en mejor estado que el resto de la valva. (C) Líneas de crecimiento del gasterópodo *Viviparus australis* Kues, 1956, que está contenido dentro del bivalvo ERNO-8639. (D) Ejemplar de *Plesielliptio* sp. Russell, 1934, (ERNO-8637) con compresión de las valvas y (E) líneas de crecimiento. (F) *Viviparus australis* (ERNO-8638) con líneas de crecimiento en cerca al ombligo. (G) *Mesolanistes resiidei* Stanton, 1917 (ERNO-8641), con adelgazamiento de la concha en la región abapertural. (H) Vertebra de *Melivius* sp. (ERNO-8640) con superficie bien preservada e (I) intemperizada. Ejemplares de *Plesielliptio* sp. (J) ERNO-8612 con valvas bien conservadas y con líneas de crecimiento en bivalvo externo e interno, (K) ERNO-8609 bivalvos anidados y (L) ERNO-8611 con ligera deformación en valva superior. Barra de escala mide negra 2 cm y barra gris 1 cm. 60

- Figura 35 (A) Cuerpo vertebral de *Melvius* sp., ERNOV-1023, con parches de superficie conservada y parches de superficie esponjosa expuesta. Acercamiento de las vértebras de eusúquido, (B) ERNO-8567 y (C) ERNO-8643 con agrietamiento y aclaramiento de la superficie del hueso y lado derecho mejor conservado sin agrietamiento y coloración oscura de la superficie. (D) Cuerpo vertebral de *Melvius* sp., ERNOV-1020, con región central de la cara articular mejor conservada que los márgenes. (E) Falange de hadrosáurido, ERNOV-1026, con extremo proximal (izquierda) desgastado y hueso esponjoso expuesto y superficie distal (derecha) mejor conservada. (F) Epífisis de fósil no identificado, ERNOV-1027, con hueso esponjoso expuesto (arriba) y superficie del hueso restante muy desgastada. Barra de escala mide 2 cm 62
- Figura 36 (A) Cuerpo vertebral ERNO-8646 de hadrosáurido con superficie del hueso desgastada y márgenes redondeados. (B) Hueso periférico ERNO-8649 de ?*Adocus* sp. con patrón de ornamentación y cicatriz de escamas (flecha). (C) Cuerpo vertebral de *Melvius* sp. ERNO-8650 con superficie desgastada y márgenes redondeados. (D) metatarsiano ERNO-8644 de hadrosáurido con fractura en espiral por posible mordida (centro) y fracturas diagenéticas (extremos); (E) fragmento de tapete algal ERNO-8647. Barra de escala mide negra 5 cm, barra gris 2.5 cm. 63
- Figura 37 (A) Acercamiento de ERNO-8652 mostrando un patrón de fosas en rejilla en un pequeño parche, rodeado de superficie desgastada y (B) agrietamiento de superficie subyacente a la capa con ornamentada. (C) Acercamiento de ERNO-8653 con agrietamiento en la superficie y (D) sedimento de arenisca cubriendo el margen roto del hueso, dividido por una fractura diagenética rellena de calcita (flecha). Barra de escala mide 3 cm. 64
- Figura 38 (A) Cuerpo vertebral ERNO-8654 de hadrosáurido en vista dorsal, (B) caudal y (C) craneal con fracturas rellenas de caliza y (D) acercamiento a la superficie de ERNO-8654 cubierta por un parche de caliza color café el cual es recubierto por otro de color rojizo. Barra de escala mide 2 cm. 65
- Figura 39 (A) Superficie del diente de tiranosáurido ERNO-8027 con descamación y grietas rellenas de sedimento y (B) superficie hinchada. (C) Vértebra de ceratópsido (ERNO-8578) en vista ventral con márgenes desgastados y (D) cara articular con región ventral mejor preservada con coloración más oscura. (E) Diente ERNO-8564 con ligera descamación de su superficie. (F) Vértebras caudales de hadrosáurido ERNO-8655 y (G) ERNO-8656 en vista lateral con articulación de cheurones fracturada (extremo derecho). Barra de escala mide 5 cm. 66

- Figura 40 Moluscos de la unidad 15. (A) Bivalvos entrelazados ERNO-8661, acercamiento de líneas de crecimiento en valva del bivalvo (B). Bivalvos ERNO-8660 (C) y ERNO-8662 (E) con valva parcialmente disuelta, fragmentada y con exposición del molde interno formado por arenisca calcárea y valva opuesta mejor preservada, con líneas de crecimiento y fracturas (D y F). Gasterópodos ERNO-8657 (G) y ERNO-8658 (H) mostrando disolución de la concha en región abapertural y ERNO-8659 (I) con molde interno expuesto Barra de escala mide 2 cm. 68
- Figura 41 (A) Vértebra de Melvius sp. ERNO-8663, con capa de caliche y crecimiento asimétrico visible en el lado derecho de la imagen; bivalvos con la valva expuesta rota y/o desgastada, valva enterrada mejor preservada con líneas de crecimiento, algunas con charnela y quilla bien preservada y otras con valvas deformadas por compresión. Ejemplares (B) ERNO-8665, (C) ERNO-8668, (D) ERNO-8670, (E) ERNO-8664, (F) ERNO-8669 y (G) ERNO-8667. Barra de escala mide 5 cm 69
- Figura 42 (A) Valva ERNO-8675 con líneas de crecimiento y parches de caliche y (B) umbo muy bien preservado. (C) ERNO-8678 con líneas de crecimiento cubiertas por una delgada capa de caliche en el margen de la valva y disolución hacia el umbo. (D) ERNO-8676 con galería de carbonato en la cara interior de la valva. (E) ERNO-8677 líneas de crecimiento bien conservadas. (F) ERNO-8673 con líneas de crecimiento, capa delgada de caliche y fractura diagenética hacia el umbo. (G) ERNO-8674 con charnela parcial, dientes de la charnela y cicatriz del musculo abductor. Barra de escala mide 2 cm. 70
- Figura 43 (A) Centro vertebral ERNO-8679 de hadrosáurido con compresión en el lateral izquierdo y (B) desfaseamiento de la superficie en lado opuesto. (C) acercamiento de la superficie de ERNO-8680 mostrando tanto desgaste en los márgenes como superficie mejor conservada en el centro. (D) Acercamiento del centro vertebral ERNO-8004 de ornitomímido mostrando superficie con agrietamiento en mosaico. (E) Acercamiento de ERNO-8681 de la capa superficial de 2 mm de grosor. (F) Grieta rellena de sedimento y diferencia en el desgaste de la superficie ventral. Barra de escala mide 3 cm. 72
- Figura 44 Bivalvos de las calizas impuras de las unidades litológicas 16, 17 y 18. Barra de escala mide 5 cm, moneda 2.5 cm de diámetro. 75
- Figura 45 (A) Superficie del metatarsiano ERNO-8580 bien conservada debajo de parche de arenisca en cara caudal y (B) hueso esponjoso expuesto en su cara craneal. Vértebra ERNOV-1014 en (C) vista craneal, (D) caudal, (E) acercamiento de la superficie desgastada con líquenes actuales creciendo en ella, (F) y (G) impresiones de raíces en laterales de la vértebra con pequeñas raíces fosilizadas (flechas) y (H e I) en la cara caudal. Barra de escala mide negra 2 cm, barra gris 5 cm. 75

- Figura 46 (A) Acercamiento de la superficie del hueso neural ERNO-8566. (B) Acercamiento de la superficie del hueso neural ERNO-8574 con superficie mejor conservada debajo y alrededor de sedimento duro adherido (flecha). (C) Centro vertebral de ceratópsido ERNO-8686 con superficie de otro hueso adherida (flecha superior) y hueso expuesto debajo del sedimento que la recubre (flecha inferior). (D y E) Centro vertebral ERNO-8682 con fractura diagenética (flechas). Centro vertebral ERNOV-8006 en (F) vista dorsal y (G) ventral. Centro vertebral ERNO-8688 en (H) vista caudal y (I) lateral izquierdo. (J) Vista distal de la falange ERNO-8691 de hadrosáurido con superficie mejor conservada debajo del sedimento de arenisca (flecha). Hueso pleural ERNO-8685 con desgaste en su superficie (K) ventral y (L) dorsal. (M) Extremo proximal de fíbula ERNO-8583 con fractura diagenética en extremo proximal. (N) cuerpo vertebral ERNO-8684 con compresión craneocaudal (flecha). Barra de escala mide 3 cm. 78
- Figura 47 Ejemplares de la Formación Corral de Enmedio que se encuentran en la CPERNO sin información sobre su posición estratigráfica. (A) Hueso pleural ERNO-8570 en cara ventral (arriba) y lateral (abajo) con molde del patrón (flecha). (B) Fragmento de hueso ERNO-8573 con ornamentación de la superficie del hueso (arriba) y capa de caliche (abajo). (C) Vértebra con hueso neural ERNO-8576 cubierta casi por completo por sedimento duro. Barra de escala mide 3 cm 80
- Figura 48 Lámina delgada del fémur ERNO-8632 de hadrosáurido en corte transversal. (A) Lámina en luz reflejada que muestra los diferentes tejidos presentes en el hueso: hueso esponjoso (he), hueso compacto (hc), tejido haversiano (th), tejido fibrolamelar plexiforme (tfp). (B) Detalle microscópico de la lámina en luz polarizada, mostrando las cavidades del hueso esponjoso rellenas de calcita fibrosa (Ca1), con hidroxapatito (Hp) y depositación de óxidos de hierro (Fe). Barra negra de escala mide 1 cm y barra gris 2 mm. 82
- Figura 49 (A) Lámina delgada del cuerpo vertebral ERNO-8626 de hadrosáurido, en luz reflejada mostrando la estructura de hueso esponjoso (he). (B) Detalle microscópico de la lámina en luz polarizada mostrando el relleno de calcita fibrosa radial (Ca2) y calcita en bloques (Ca3) en las cavidades del hueso e hidroxapatito (Hp) formando parte del hueso. (C) Detalle microscópico de la lámina en luz transmitida mostrando el depósito de calcita fibrosa (Ca1) en las cavidades del hueso e hidroxapatito (Hp). Barra negra de escala mide 1 cm, barra gris 2 mm. 83
- Figura 50 Lámina delgada del hueso pleural de tortuga ERNO-8685. (A) Sección de la lámina en luz reflejada donde se observa la típica estructura diploe con dos capas de hueso compacto (hc) y entre ellas una capa de hueso esponjoso (he). (B) Ampliación de la lámina en luz polarizada donde se observa un canal haversiano (th), la deposición de calcita fibrosa radial (Ca2), calcita en bloques (Ca3) relleno de las cavidades óseas del hueso esponjoso e hidroxapatito (Hp) y óxidos de hierro formando parte del hueso. Barra negra de escala mide 1 cm, barra gris 2 mm. 84
- Figura 51 Diagrama de difracción de rayos-X del cuerpo vertebral ERNO-8626, mostrando su composición predominante de calcita e hidroxapatita. 85

- Figura 52 Abundancia de familias identificadas en los diferentes ambientes sedimentarios identificados en la Formación Corral de Enmedio: canales fluviales, planicies de inundación, lagos y la “bone bed” de la Unidad 11. 88
- Figura 53 Comparación porcentual de modificaciones tafonómicas de los organismos en relación a los Grupos de Voorhies, Abrasión, Intemperismo y relación Espacio-Temporal en los diferentes ambientes identificados en la Formación Corral de Enmedio. Los Grupos de Voorhies y la meteorización indicada para los fósiles encontrados en los ambientes lacustres solo se refieren a los de vertebrados. 90
- Figura 54 Comparación porcentual de la Abrasión y Deformación en los bivalvos y gasterópodos encontrados en los diferentes depósitos de lago. 91
- Figura 55 (A) Interpretación paleogeográfica de los ambientes de la Formación Corral de Enmedio durante el depósito de la unidad 11. 1) Planicie de inundación. 2) ríos, 3) lagos someros; 4) ambiente marino marginal; 5) avenida catastrófica que incorporó clastos de la planicie de inundación, fragmentos de huesos y clastos de caliza marina dentro del conglomerado; 6) flujo de detritos que formó al conglomerado polimíctico de la unidad 11; 7) peces; 8) vertebrados anfibios como cocodrilos y tortugas; 9) poblaciones de los diversos grupos de dinosaurios como ceratópsidos, hadrosáuridos, tiranosáuridos y ornitómidos; 10) restos de organismos expuestos y/o desarticulados. (B) Sección esquemática del paleocanal entrando al ambiente marino somero y depositando el conglomerado polimíctico con extraclastos de roca volcánica derivada de las montañas (fuera de la cuenca), intraclastos de lodolita, nódulos pedogénicos y fragmentos de huesos derivados de la misma cuenca y clastos de caliza del ambiente marino somero. 92
- Figura 56 Estimación de la longitud estándar (punta del hocico hasta la base de la aleta caudal) de *Melvius* sp. de acuerdo con mediciones del pez actual *Amia calva* Linnaeus, 1766, y de las vértebras UCMP 129600 y AMNH 6385 de *Melvius thomasi* Bryant, 1879, de la Formación Hell Creek, del Cretácico Tardío de Montana y Wyoming, según Bryant (1987). Se indica el tamaño de las vértebras ERNOV-1023 y ERNO-8618 y el tamaño aproximado de *Melvius* sp. de la Formación Corral de Enmedio. Diagrama modificado de Bryant (1987). 94

I. INTRODUCCIÓN

Durante el Cretácico Tardío, la región de Sonora formaba parte del subcontinente Laramidia el cual se extendía por el margen occidental de Norteamérica y estaba limitado hacia el oriente por el Mar Continental Interior (Cretaceous Western Interior Seaway) que cruzaba desde el Golfo de México en el sur, hasta Canadá y Alaska en el norte (Figura 1). El límite entre estos dos elementos paleogeográficos lo ocupaban amplias planicies aluviales y costeras (Lehman, 2001) que eran cruzadas por ríos que drenaban desde las tierras elevadas de Laramidia y donde habitaban faunas de vertebrados continentales, entre ellas, las de dinosaurios. De esas regiones aluviales y costeras se han documentado varias formaciones y sitios con diversas asociaciones de organismos del Campaniano y Maastrichtiano, entre los que destacan: la formación Dinosaur Provincial Park en el sur de Alberta, Canadá, las formaciones Judith River y Two Medicine en Montana, la formación Kaiparowits en Utah, las formaciones Fruitland y Kirtland en Nuevo México, la formación Aguja en el suroeste de Texas, y la Formación Cerro del Pueblo en Coahuila (Figura 2), entre otras. En estas localidades se han recuperado diversos grupos de dinosaurios y otros vertebrados que forman asociaciones faunísticas regionales y que se han agrupado en edades de vertebrados (Land Vertebrate Ages). La edad de estas faunas continentales ha sido precisada en numerosos estudios que correlacionan los estratos que las contienen

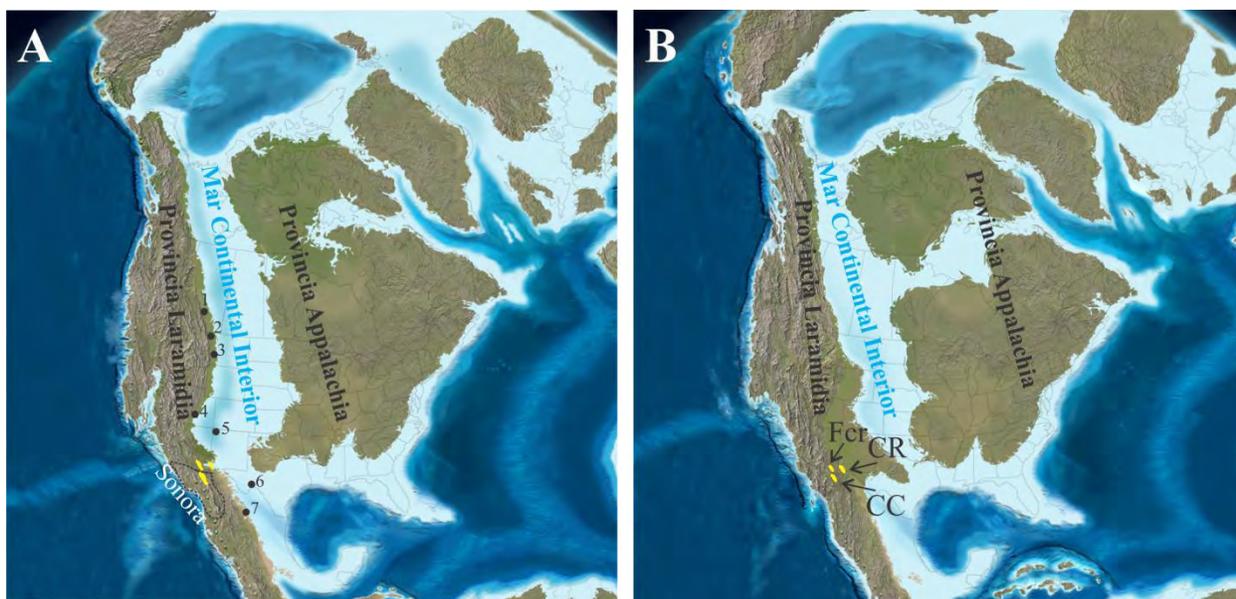


Figura 1. Mapas paleogeográficos base de Norteamérica durante el Cretácico Tardío (Campaniano). (A) Hace 85 Ma y B) Hace 75 Ma (©2014 Colorado Plateau Geosystems Inc.). Se indican localidades importantes con formaciones que contienen vertebrados del Cretácico Tardío y mencionadas en éste trabajo, 1. Dinosaur Park, 2. Judith River, 3. Two Medicine, 4. Kaiparowits, 5. Fruitland y Kirtland, 6. Aguja, 7. Cerro del Pueblo. Se muestra ubicación aproximada del estado de Sonora y de la Cuenca de Cabullona (CC) en el noroeste de México, así como de las cuencas Fort Crittenden (Fcr) y Ringbone (CR) del sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México, respectivamente.

con rocas marinas adyacentes de donde se han identificado biozonas de fósiles marinos, por ejemplo, amonites (Cobban y Reeside, 1952), o por el fechamiento isotópico de rocas volcánicas interestratificadas (Fowler, 2017). Para el Campaniano y Maastrichtiano, Russell (1975) y Sullivan y Lucas (2006) reconocieron las edades de vertebrados Judithiana (80 - 75 Ma), Kirtlandiana (75 - 72.8 Ma), Edmontoniana (72.8 - 66.8 Ma) y Lanciana (de 66.8 Ma al límite Cretácico-Paleógeno). Una correlación regional de las diversas formaciones con vertebrados que representan a estas edades se muestra en la Figura 2 (tomada de Fowler, 2017).

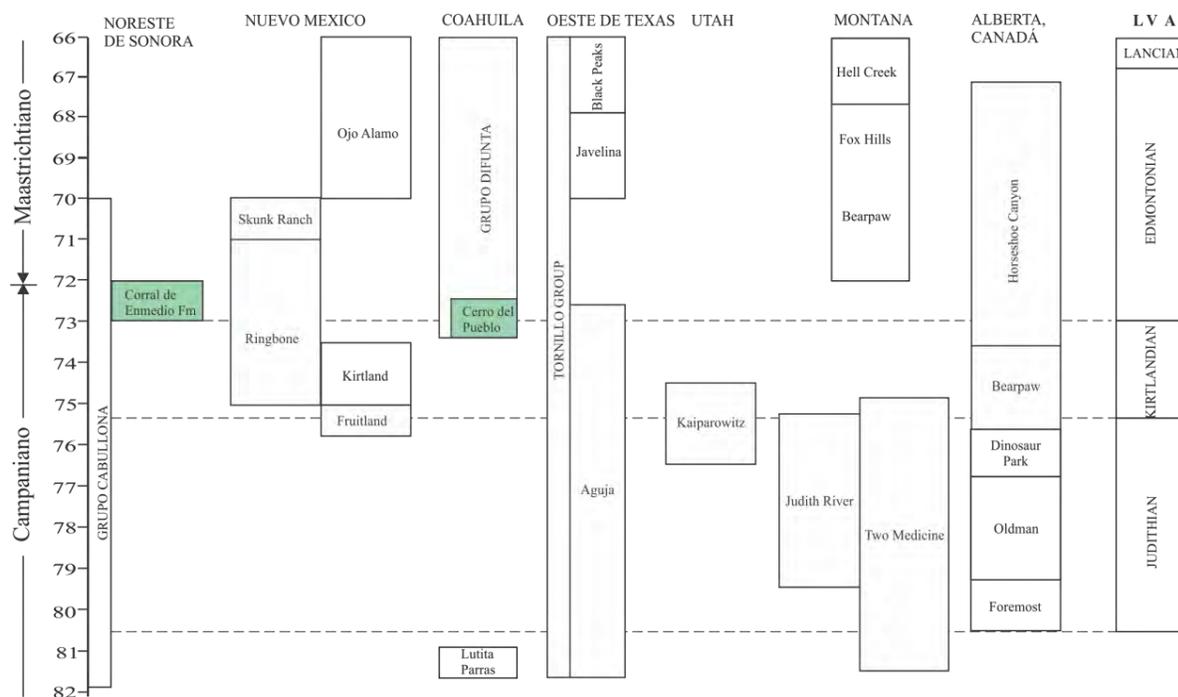


Figura 2. Correlación regional de algunas formaciones del Cretácico Tardío (Campaniano-Maastrichtiano) de Norteamérica, mencionadas en este trabajo. Tabla tomada de Fowler (2017) donde los límites de las edades de vertebrados terrestres (Land Vertebrate Ages) de Sullivan y Lucas (2006) fueron ligeramente refinadas, o modificadas. El rango de edad del Grupo Cabullona y de la Formación Corral de Enmedio ha sido agregado, de acuerdo a González-León et al. (2017).

El registro paleontológico de estas faunas continentales, tanto terrestres como acuáticas, abarca diferentes grupos, incluyendo a los dinosaurios, mamíferos, reptiles escamosos, tortugas, cocodrilos, y peces (según Gates et al., 2010) y la distribución paleobiogeográfica de muchas de ellas ha sido ampliamente estudiada (Lucas et al., 2000; Lehman, 2001; Gates et al., 2010; Lucas et al., 2016). Del mismo modo, otro aspecto de las asociaciones faunísticas de las rocas del Cretácico Tardío de los Estados Unidos y Canadá que ha recibido suficiente atención, ha sido su estudio tafonómico.

Uno de los primeros estudios tafonómicos, fue el realizado por Dodson (1971) en la Formación Oldman (Figura 2) (Campaniano), de la provincia de Alberta, Canadá. En esa formación, Dodson describió restos de dinosaurios que incluyen desde huesos aislados hasta esqueletos completos, preservados

principalmente en canales fluviales y más raramente en ambientes de planicies aluviales. Sin embargo, la mayor parte de los estudios tafonómicos de las formaciones del Cretácico Tardío (Figura 2) se han enfocado principalmente en los procesos de acumulación de fósiles en capas específicas, o “bone beds” y en micrositios, con el fin de determinar la taxonomía de los organismos que los componen, inferir las condiciones paleoambientales y paleoecológicas e investigar las causas que condujeron a la formación de dichos depósitos (Behrensmeyer, 2007; Rogers y Kidwell, 2007).

Dentro del mismo contexto paleogeográfico de Laramidia, durante el Campaniano y el Maastrichtiano temprano, entre ca. 82 y 70 Ma, en el noreste de Sonora, México se desarrolló la cuenca continental Cabullona (González-León et al., 2017), mientras que en las regiones vecinas del sureste de Arizona y el suroeste de Nuevo México se formaron de manera casi contemporánea las cuencas Fort Crittenden y Ringbone, respectivamente (Basabivazo, 2000) (Figura 1B). Los rellenos sedimentarios de estas cuencas se conocen como el Grupo Cabullona (Taliaferro, 1933), la Formación Fort Crittenden (Hayes, 1986) y la Formación Ringbone (Basabivazo, 2000), respectivamente. De acuerdo a la paleogeografía inferida por Lehman (2001) y Blakey (2011) (Figura 1), para el Cretácico Tardío, la línea de costa del Mar Continental Interior se encontraba cercana y hacia el este de Sonora por lo que se infiere que las Cuencas Cabullona, Fort Crittenden y Ringbone se encontraban dentro de la planicie aluvial que lo bordeaba hacia el poniente. De las unidades estratigráficas que forman los rellenos sedimentarios de estas cuencas se han reportado diversos fósiles de vertebrados continentales, los cuales caracterizan a las faunas del Cretácico Tardío en Laramidia (Taliaferro, 1933; Hayes, 1986; Lucas y González-León, 1990; Lucas et al., 1995; González-León y Lawton, 1995; McCord y Tegowski, 1996; Basabivazo, 2000; McCord et al., 2001; Salgado-Murrieta, 2003; González-León et al., 2017; entre otros), sin embargo, no se han estudiado sus aspectos tafonómicos.

El presente trabajo se enfoca en el estudio de la Formación Corral de Enmedio, la cual es la unidad más fosilífera hasta ahora reportada del Grupo Cabullona (Figura 3). Este grupo, que tiene una edad de Campaniano-Maastrichtiano temprano constituye el relleno sedimentario continental de la cuenca Cabullona y sus afloramientos se restringen al noreste del estado de Sonora.

II. ANTECEDENTES

El Grupo Cabullona fue descrito por Taliaferro (1933) como una secuencia sedimentaria de aproximadamente 2.5 Km de espesor que aflora en el noreste de Sonora y que fue depositada en la Cuenca Cabullona durante el Cretácico Tardío (Figura 3A). El Grupo Cabullona definido por Taliaferro (1933) tiene un área de afloramiento de aproximadamente 400 km² en la localidad ubicada al sur del poblado de Naco (Sonora) y al oeste de la Sierra Anibacachi, y allí dicho autor reconoció las formaciones Snake Ridge, Arenisca Camas, Lutita Packard y Upper Red Beds. Posteriormente González-León y Lawton (1995) modificaron la estratigrafía, reconocieron afloramientos no reportados y propusieron las formaciones Corral de Enmedio, Arenisca Camas, Lutita Packard, Lomas Coloradas (Figura 3B) y su equivalente lateral, el Conglomerado El Cemento, como unidades de origen aluvial, fluvial, lacustre y deltáico. Recientemente, González-León et al. (2017) incluyeron dentro del Grupo Cabullona nuevos afloramientos del Cretácico Superior y extendieron los límites de la Cuenca Cabullona hacia el sur y hacia el oeste de la región de Naco (Figura 3A). Basados en edades U-Pb obtenidas de rocas volcánicas intercaladas en el Grupo Cabullona, estos autores fecharon las rocas de este grupo entre ca. 82 y 70 Ma, mientras que la secuencia sedimentaria originalmente estudiada por Taliaferro (1933) en la sección de Naco, la reportaron con edad entre 73 y 72 Ma (sección de Naco en Figuras 3C). De esta manera, la secuencia del Grupo Cabullona en la sección de Naco y de la cual forma parte la Formación Corral de Enmedio, representa solo la parte superior del Grupo Cabullona en el noreste de Sonora. En toda esta región, el Grupo Cabullona descansa discordantemente sobre rocas que van en edad del Proterozoico al Cretácico Temprano.

La secuencia sedimentaria del Grupo Cabullona que aflora en la región de Naco (Sonora) ha sido bastante estudiada por diversos autores y se considera que fue depositada en ambientes fluviales, lacustres, deltaicos y de abanicos aluviales. Su contenido faunístico estudiado incluye principalmente restos de peces, tortugas, lagartijas, cocodrilos y dinosaurios, algunos de los cuales fueron descritos por Lucas et al. (1995). Estos autores reportaron además la presencia de bivalvos y gasterópodos de agua dulce, dentro de los que identificaron algunas especies nuevas. Sin embargo, fue Taliaferro (1933) el primero en reportar la presencia de restos de dinosaurios en este grupo, los cuales asignó a *Trachodon mirabilis* Leidy, 1856. Otros autores han reportado también la presencia de polen de la sección de Naco (Almeida y Martínez, 1982; López-Higuera et al., 2008; Villanueva-Amadoz et al., 2013), mientras que Salgado-Murrieta (2003) reportó sobre la estratigrafía e ilustró algunos huesos desarticulados y aislados de dinosaurios de la Formación Corral de Enmedio. Recientemente, Serrano-Brañas et al. (2014, 2016 y

2017) ilustraron y determinaron dientes de tiranosáuridos de la Formación Lomas Coloradas, huesos de un nuevo género y especie de ornitomímido de la Formación Lutita Packard y dientes de tiranosáuridos de la Formación Corral de Enmedio, respectivamente.

Otros afloramientos del Grupo Cabullona, en la Cuenca Cabullona, se localizan hacia el oeste y hacia el sur de la sección de Naco y representan columnas sedimentarias que fueron depositadas en ambientes fluviales y lacustres con tobas y derrames riolíticos intercalados. Los sedimentos más antiguos afloran en la parte sur de la cuenca e incluyen a las columnas de Los Atolillos que tiene una edad cercana a los 82 Ma y las de El Malacate y Fronteras que tienen edades entre 77 y 76 Ma (Figura 3C). La columna del Ejido Ruíz Cortines es principalmente volcánica y tiene una edad de 74 Ma, similar a la del Ejido Cuauhtémoc que es principalmente de origen fluvial. Las columnas de edad más joven son las de San Joaquín y Esqueda, en la parte sur de la cuenca y tienen edades entre 70 y 69 Ma (Figura 3C).

El Grupo Cabullona se correlaciona en edad con la Formación Fort Crittenden que aflora en la región sureste del vecino estado de Arizona y con las formaciones Ringbone y Skunk Ranch del suroeste del estado de Nuevo México. Estas formaciones se depositaron en cuencas continentales durante el Campaniano-Maastrichtiano (Drewes, 1971; Basablvazo, 1991), y al igual que el Grupo Cabullona sus rellenos sedimentarios representan ambientes fluviales y lacustres. La Formación Fort Crittenden aflora en las montañas Santa Rita, Canelo Hills y Huachuca, en los condados de Pima y Santa Cruz del sureste de Arizona (E.U.A.) y consiste de areniscas, lodolitas y en menor proporción conglomerados que alcanzan un espesor de 1670 m (Hayes, 1987). De esta formación se ha reportado material fragmentario de peces amiiformes como *Melvius sp.* Bryant, 1879, tortugas del género *Basilemys* Hay, 1902, y de la familia Trionychidae Fitzinger, 1826, y dinosaurios tiranosáuridos, dromeosáuridos, titanosáuridos, hadrosáuridos y ceratópsidos (Miller, 1964; Miller y Schwab 1966; McCord y Tegowski, 1996; Ratkevicij y Duffek, 1996; McCord, 1997; Heckert et al., 2003; Lucas y Heckert, 2005). Hayes (1986, 1987) reportó una edad de alrededor de 75 Ma para rocas volcánicas que sobreyacen a la Formación Fort Crittenden, colocándola de esa manera como de edad Campaniana.

Las formaciones Ringbone y Skunk Ranch que afloran en las montañas Little Hatchet del condado Hidalgo, en la parte suroeste del estado de Nuevo México, E.U.A., alcanzan un espesor de aproximadamente 2.4 km (Zeller, 1970; Basablvazo, 2000; Clinkscales y Lawton, 2014). La Formación Skunk Ranch sobreyace a la Formación Ringbone y ambas presentan un miembro inferior conglomerático de origen aluvial, un miembro intermedio de origen lacustre compuesto por lodolita, caliza, arenisca y tobas volcánicas intercaladas y un miembro superior formado por areniscas y conglomerados de origen fluvial. La Formación Ringbone tienen un espesor mínimo de 1600 m mientras la Formación Skunk Ranch

alcanza un espesor máximo de 850 m. Ambas unidades tienen un rango de edad que va de *ca.* 75 a 70 Ma (Clinkscates y Lawton, 2014).

De la Formación Ringbone se han reportado fósiles, como improntas de vegetales, gasterópodos y huesos de dinosaurios. Los restos de dinosaurios sirvieron para restringir la edad de este miembro a Campaniano, con base a un diente identificado como *Albertosaurus* Osborn, 1905, y a un centro vertebral similar a las vértebras caudales de *Albertosaurus* o *Daspletosaurus* Russell, 1970 (Lucas et al., 1990). También se han reportado impresiones de piel muy bien conservadas (Anderson et al., 1998). En la Formación Skunk Ranch, Lawton et al. (1993) reportaron gasterópodos *Gonbiobasis* sp. Lea, 1862 y *Lioplacodes* sp. Meek y Hayden, 1864. Mediante datación por el método Ar^{40}/Ar^{39} , se determinó que la edad de rocas volcánicas de la Formación Hidalgo que sobreyacente a la Formación Ringbone, es de entre 70.5 y 71.4 Ma (Lawton et al., 1993), mientras que la Formación Skunk Ranch presenta una edad de 70.4 a 71.4 Ma por datación U-Pb de circones obtenidos de una toba de un estrato lacustre (Jennings et al., 2013). Estas edades soportan una edad del Campaniano al Maastrichtiano temprano para las formaciones Fort Crittenden y Skunk Ranch, lo cual las hace correlativas con el Grupo Cabullona y con la Formación Corral de Enmedio en el noreste de Sonora.

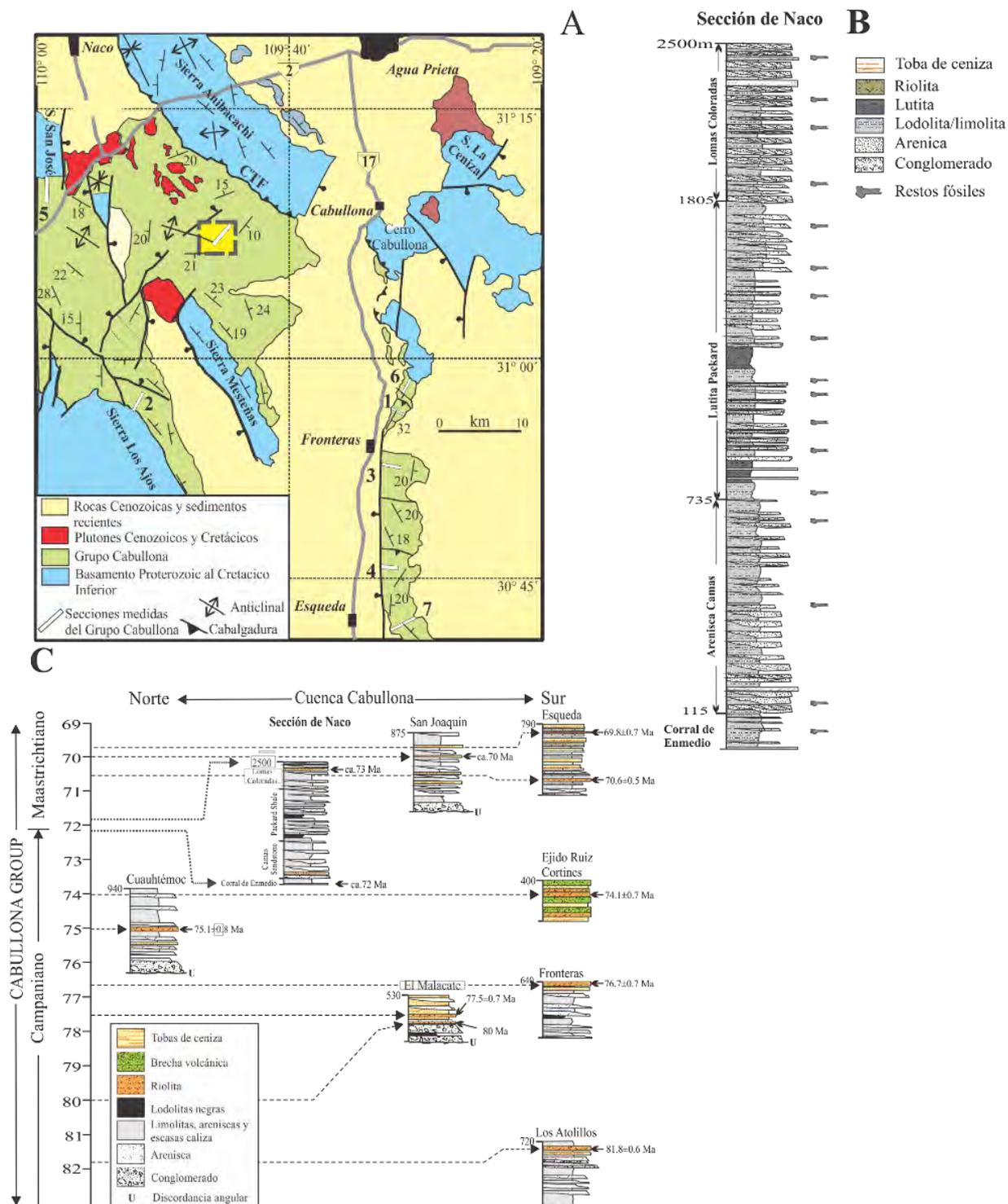


Figura 3. (A) Mapa geológico del noreste de Sonora, mostrando afloramientos del Grupo Cabullona en la cuenca del mismo nombre, las rocas del basamento sobre las que descansa el grupo y las rocas plutónicas y Cenozoicas que son de edades más jóvenes que dicho grupo; el rectángulo de color amarillo indica el área de afloramiento de la Formación Corral de Enmedio. (B) Columna estratigráfica del Grupo Cabullona en la sección de Naco. (C) Correlación de las secciones medidas del Grupo Cabullona en la Cuenca Cabullona, incluyendo a la sección de Naco. Figuras tomadas de González-León et al. (2017).

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo General

Determinar la historia tafonómica de los fósiles de la Formación Corral de Enmedio a través de la descripción metódica del material colectado y la aplicación de diferentes metodologías que ayuden al reconocimiento de las firmas y modos tafonómicos de los ejemplares (Voorhies, 1969; Behrensmeyer, 1975 y 1978; Fiorillo, 1988; Alcalá-Martínez, 1994; Eberth y Currie, 2005). Lo anterior tiene como finalidad generar un precedente que pueda utilizarse en estudios del mismo tipo, a futuro, en el resto de las formaciones conocidas del Grupo Cabullona en Sonora.

III.2. Objetivos Específicos

- Consultar la información bibliográfica más relevante disponible sobre tafonomía.
- Realizar una investigación bibliográfica acerca del Grupo Cabullona y formaciones contemporáneas aledañas.
- Medir una columna estratigráfica detallada de la Formación Corral de Enmedio y al mismo tiempo realizar una colecta del su material fosilífero, estableciendo su posición estratigráfica.
- Realizar un estudio paleontológico general del contenido faunístico.
- Observar, registrar y clasificar las características del material fósil colectado para determinar cada una de las firmas tafonómicas y así establecer los modos tafonómicos presentes en la Formación Corral de Enmedio.
- Relacionar la información estratigráfica, paleontológica y tafonómica con la finalidad de establecer los paleoambientes donde vivieron, y las formas en que interactuaron las comunidades de organismos encontrados.

IV. HIPÓTESIS

De acuerdo a las interpretaciones paleogeográficas para el Cretácico Tardío de Norteamérica, durante el Campaniano la línea de costa del mar Cretácico se encontraba cercana al noreste de Sonora, ya que cruzaba de norte a sur por la parte occidental del estado de Chihuahua (Lehman, 2001; Blakey, 2011) (Figura 1). En ese contexto paleogeográfico se desarrolló la cuenca de Cabullona y en ella se formó la Formación Corral de Enmedio como un depósito sedimentario que fue acumulado en ambientes fluviales y lacustres (González-León y Lawton, 1995; Lucas et al., 1995). Sin embargo y debido a la proximidad de la línea de costa del mar Cretácico, la Formación Corral de Enmedio puede contener elementos estratigráficos y paleontológicos que permitan revelar posibles incursiones marinas en la región noreste del estado de Sonora durante el tiempo de su depositación.

- Se considera que, a través de una colecta detallada, sus estratos proporcionarán información fosilífera adicional que ayudará a conocer la variedad y abundancia de las comunidades de vertebrados terrestres y acuáticos que formaron parte del paleoecosistema y quedaron preservados en distintos ambientes de depósito.
- La información estratigráfica y paleontológica obtenida permitirá el establecimiento de firmas y modos tafonómicos, los cuales, a su vez, contribuirán al entendimiento de las diferentes paleocomunidades y sus relaciones paleoecológicas dentro del ecosistema ancestral, el cual pudo haber estado enmarcado dentro de un ambiente transicional continental-costero.

V. METODOLOGÍA

Para el presente estudio se realizaron tres visitas de trabajo de campo a la Formación Corral de Enmedio, que aflora en el municipio de Naco, Sonora. Durante este trabajo se midió la columna estratigráfica que se reporta más adelante, lo cual se hizo con un báculo de Jacob de 1.5 m de alto. También se realizó una colecta exhaustiva de material fosilífero, encontrándose un total de 246 ejemplares de los cuales se registró su posición estratigráfica. Para la colecta del material y dado que los ejemplares encontrados corresponden principalmente a material fragmentario y desarticulado que se encontró *in situ* y *ex situ*, los estratos que los contenían fueron prospectados lateralmente y hasta donde el afloramiento lo permitía.

El material colectado fue trasladado al laboratorio de la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología, UNAM en Hermosillo (ERNO) donde se llevó a cabo la limpieza del mismo para fotografiarlo utilizando una escala. Posteriormente, se observó en los ejemplares fósiles aquellos atributos tafonómicos que pudieran indicar modificaciones tafonómicas. Para proceder a la clasificación taxonómica general del material fósil, fue necesario remover parte del sedimento de algunos de los ejemplares. La mayor parte del material colectado resultó ser relativamente fragmentario incluyendo huesos desarticulados y algunos ejemplares asociados que fueron pegados para integrar sus partes correspondientes.

Durante la colecta de campo a los ejemplares se les dio un número de identificación provisional y una vez estudiados, se les asignaron números de la Colección Paleontológica de la ERNO (referida como CPERNO de aquí en adelante), que en este trabajo aparecen con el acrónimo ERNO, algunos ejemplares se agruparon en un solo número de registro debido a su mal estado de conservación. Al material colectado y estudiado, se añadieron otros 21 fósiles de posición estratigráfica conocida y 3 ejemplares más sin ésta información, los cuales habían sido colectados previamente de la Formación Corral de Enmedio y que se encontraban depositados en la CPERNO.

Para determinar la relación espacio-temporal entre los fósiles y los estratos donde fueron encontrados, se utilizó la clasificación de Fernández-López (1984) y Alcalá-Martínez (1994) que distinguen las siguientes categorías. *Acumulación*: proceso de integración de la biósfera a la litósfera de los organismos muertos, pero que no implica sedimentación. *Resedimentación*: procesos de desplazamiento sobre la superficie terrestre de los restos de organismos previamente acumulados y el cual sucede antes de su enterramiento. *Reelaboración*: proceso de desenterramiento, desplazamiento y alteración de los restos biológicos que cambian las características tafonómicas previas de las entidades removidas. Particularmente, los parámetros tafonómicos considerados para los fósiles de vertebrados, incluyen la

clasificación de los Grupos de Voorhies (Voorhies, 1969; modificados por Behrensmeyer, 1975), la medición del grado de abrasión, etapa de intemperismo y tipo de fractura.

Con respecto a los ~~grupos~~ Grupos Voorhies (1969), G I agrupa a todos los elementos esqueléticos que son más fácilmente arrastrados por las corrientes de baja energía, como vértebras, falanges y costillas: en el GV II están los metapodiales, tibias, fémures, radios, humeros y pelvis, y en el GV III están los restos que requieren corrientes de energías más altas para ser arrastrados, como dientes, cráneos y ramas mandibulares (Tabla 1).

	Grupos de Voorhies
Grupo I	vértebras, costillas, falanges
Grupo II	metapodiales, tibias, fémures, radios, humeros, pelvis
Grupo III	dientes, cráneos, ramas mandibulares

Tabla 1. Grupos de Voorhies (de acuerdo a Voorhies, 1969 y Behrensmeyer, 1975) para elementos esqueléticos, divididos de acuerdo a su facilidad de transporte en corrientes hidráulicas. Los elementos del Grupo I son arrastrados fácilmente por corrientes de baja energía y los del Grupo III son requieren flujos más energéticos para ser transportados.

La interpretación del grado de abrasión se basó en el trabajo de Alcalá-Martínez (1994) donde diferenció tres grados en orden creciente. En ese trabajo se entiende que la abrasión es causada por el rozamiento entre los huesos y por el impacto de partículas sedimentarias contra sus superficies que tienden a suavizar sus aristas y vértices, finalizando con la pérdida de irregularidades superficiales y/o la adquisición de una forma esférica. Donde el grado 1 es el hueso intacto, grado 2 es un hueso redondeado y grado 3 es un hueso pulido.

Se consideraron las etapas de intemperismo ~~fuera~~ definidas por Behrensmeyer (1978) quien las estudió en huesos actuales. Este parámetro nos permite estimar el tiempo que estuvo expuesto un hueso al medio, antes de ser enterrado. Ésta categoría fue modificada por Fiorillo (1988) para adaptarla a restos fósiles, basándose en las definiciones e ilustraciones de Behrensmeyer (1978). Fiorillo dividió el intemperismo en 4 etapas. En la Etapa 0 los huesos no presentan agrietamiento ni descamación, en la Etapa 1 los huesos presentan agrietamiento fino en las capas más superficiales, en la Etapa 2 la superficie del hueso presenta descamación al igual que agrietamiento que comienza a penetrar en las cavidades del mismo y por último en la Etapa 3 las capas superficiales se perdieron y se expone la textura fibrosa, donde las grietas han penetrado en las cavidades del hueso (Tabla 2).

Etapas de Intemperismo	
Etapa 0	El hueso no presenta agrietamiento ni descamación en la superficie.
Etapa 1	El hueso presenta agrietamiento fino en las capas más superficiales.
Etapa 2	Superficie del hueso presenta descamación al igual que agrietamiento que comienza a penetrar en las cavidades de estos.
Etapa 3	Las capas superficiales se perdieron y puede presentar textura fibrosa. Las grietas han penetrado en las cavidades del hueso.

Tabla 2. Etapas de intemperismo basadas en Fiorillo (1988).

El análisis de las fracturas se basa en las descritas por Myers et al. (1980): espiral, transversal y longitudinal y se agregó una cuarta, diagenética (Tabla 3). Las fracturas en espiral son aquellas que ocurren en un ángulo distinto de 90° a la dirección del eje mayor del hueso, y ocurren antes de que el hueso sea disecado (Shipman, 1981). Las fracturas transversales tienen una dirección que es perpendicular al eje mayor del hueso y afectan principalmente a los huesos mineralizados. Las fracturas longitudinales son paralelas al eje e indican disecación previa a la fosilización, mientras que las fracturas diagenéticas son aquellas que ocurrieron durante o después de la fosilización y se consideran para hacer una distinción entre fracturas del hueso original y fracturas donde el fósil se comportó más como roca, que como hueso. Las fracturas diagenéticas pueden o no estar rellenas de algún sedimento o mineral, generalmente distinto a la matriz del fósil y ejemplo de ellas son las fracturas en un plano recto, o aquellas que implican un desplazamiento de partes aún unidas del fósil (Figura 3).

Tipo de Fractura	
Espiral	diferente a 90° del eje mayor del hueso
Transversal	Perpendicular al eje mayor del hueso
Longitudinal	paralela al eje mayor del hueso
Diagenética	fractura en plano recto o desplazamiento de una parte del fósil

Tabla 3. Tipos de fracturas, modificado de Myers et al. (1980).

Por otro lado, los parámetros tafonómicos utilizados en los fósiles de los moluscos incluyeron la examinación del grado de abrasión, disolución y deformación. La abrasión tiene los mismos parámetros ya mencionados. En el caso de la disolución, éste se dividió en 4 etapas: En la etapa 0 las conchas no presentan disolución, en la Etapa 1 sólo la superficie de la concha está afectada por disolución, en la Etapa

2, la disolución afectan más que las capas superficiales y en la Etapa 3 se expone el molde interno. De igual manera, el grado de deformación se dividió en cuatro categorías donde: el grado 1, corresponde a aquellos ejemplares que no presentan signos de haber sido deformados; en el grado 2, la deformación de los ejemplares es ligera y la concha fue alterada sólo lo suficiente para ser visible; en el grado 3, la deformación es media y en este caso las alteraciones son más notorias, pero no lo suficiente como para cambiar su forma general y finalmente, en el grado 4, la deformación es severa y aquí la concha del ejemplar ha perdido en gran medida su forma original (Figura 4).

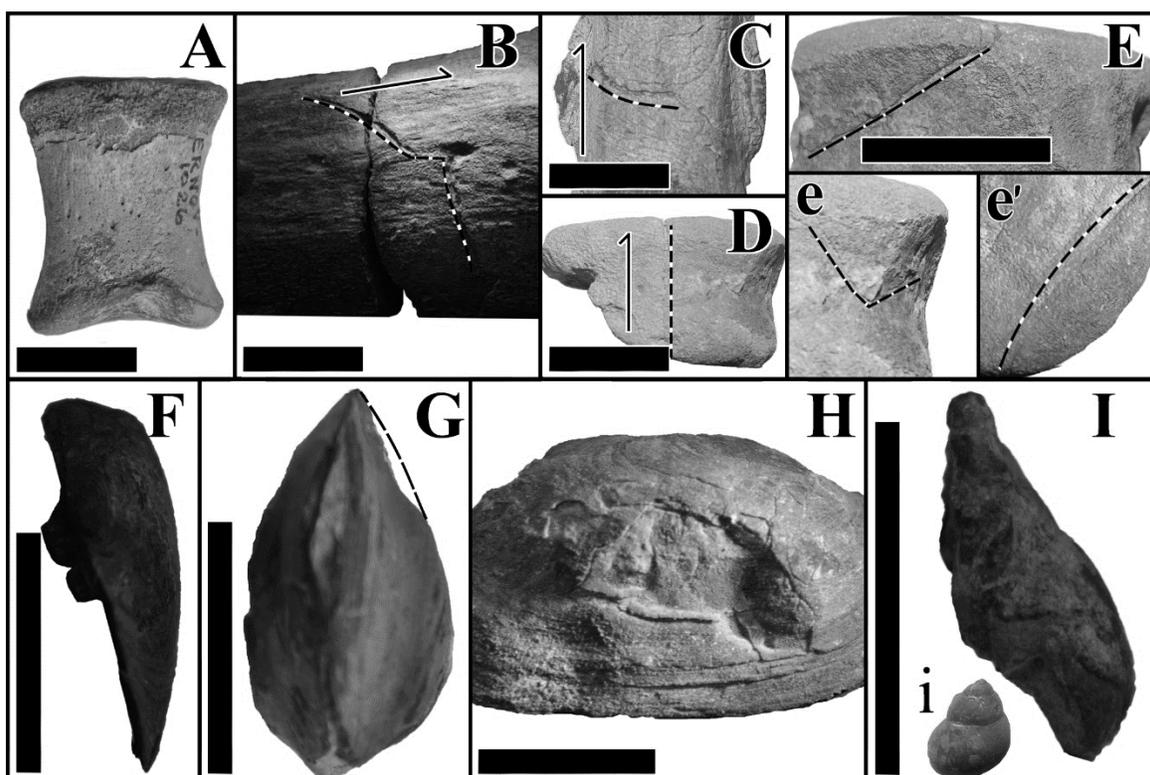


Figura 4. Ejemplos de un hueso sin fracturas y las diferentes fracturas identificadas en los restos fósiles, mostrando la dirección de las fibras del hueso (flechas) y la línea de fractura (línea punteada). (A) Hueso sin fracturas, (B) fractura espiral, (C) transversal, (D) longitudinal y (E) diagenética en varias vistas (e) y (e'). Representación de los cuatro grados de deformación de las conchas de moluscos: (F) grado 1, valva sin deformación, (G) grado 2, ejemplar con deformación ligera marcada por la línea punteada, (H) grado 3, deformación más marcada, visible en casi toda la valva e (I) grado 4, ejemplar tan deformado que perdió su forma original, (i) ejemplar del mismo género sin deformaciones, no a escala. Barra de escala mide 2 cm.

Adicionalmente, se efectuó un análisis de difracción de rayos X en una vértebra caudal de hadrosáurido colectado en el conglomerado polimíctico de la base de la unidad 11 (Capítulo VIII, pág. 54). Dicho análisis fue realizado en el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora utilizando un difractómetro para polvos marca Bruker, modelo D8Advance, con radiación $K\alpha Cu$ y longitud de onda de

1.5406 Å. Finalmente, para referirnos a la terminología del tiempo geológico, en este trabajo se utilizó la escala de la Sociedad Geológica de América cuyos compiladores son Walker et al. (2013).

VI. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN CORRAL DE ENMEDIO

La Formación Corral de Enmedio aflora en el centro de un anticlinal que se encuentra en la parte norte de la Cuenca Cabullona (Figura 5), donde subyace a la Formación Arenisca Camas. Es la formación más antigua de la columna estratigráfica del Grupo Cabullona que aflora en la sección de Naco (Figura 3C), de la cual se desconoce su base, por lo que el espesor que aquí se reporta para esta formación es incompleto. Esta unidad fue nombrada por González-León y Lawton (1995) quienes reportaron un espesor de 115 m. Posteriormente, Salgado-Murrieta (2003) reportó un espesor de 192 m, el cual es muy similar al reportado en este trabajo. La columna de la Formación Corral de Enmedio aquí estudiada fue medida entre las coordenadas UTM 12R 614439 m E; 3444005 m N y 615173 m E; 3444394 m N que corresponden a su base y cima, respectivamente (Figuras 5 y 6).

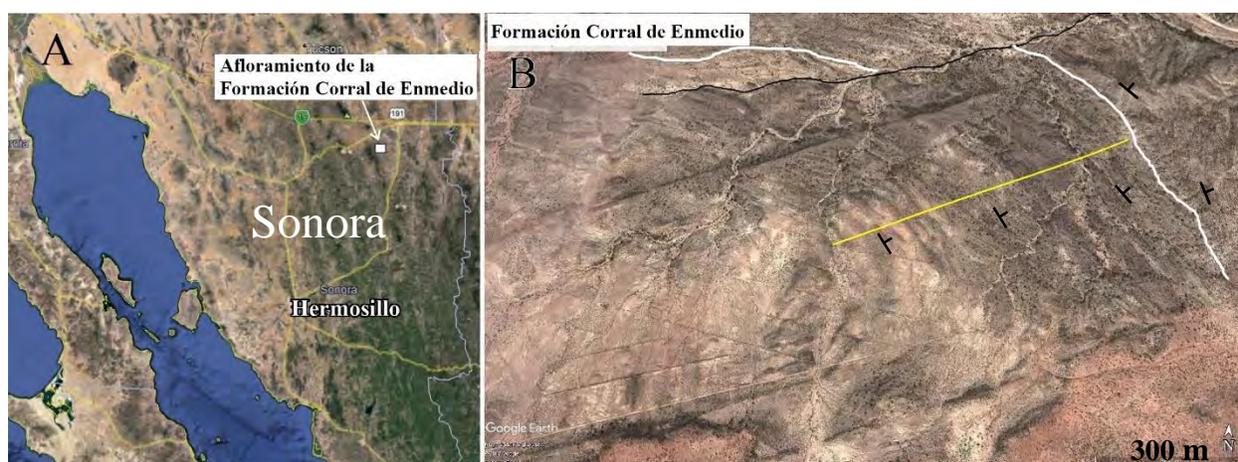


Figura 5. (A) Mapa de localización del afloramiento de la Formación Corral de Enmedio en el noreste de Sonora. (B) Detalle de localización del afloramiento de las capas de la Formación Corral de Enmedio que tienen inclinación hacia el oriente. La línea de color amarillo muestra la ubicación de la columna estratigráfica medida y la línea blanca muestra el contacto con la Formación Arenisca Camas cuyas capas están también inclinadas hacia el oriente. La raya negra en B indica una falla que desplaza el contacto entre ambas formaciones; también se indica el rumbo e inclinación de las capas y la dirección del Norte geográfico. Imágenes tomadas de GoogleEarth noviembre 7, 2017.

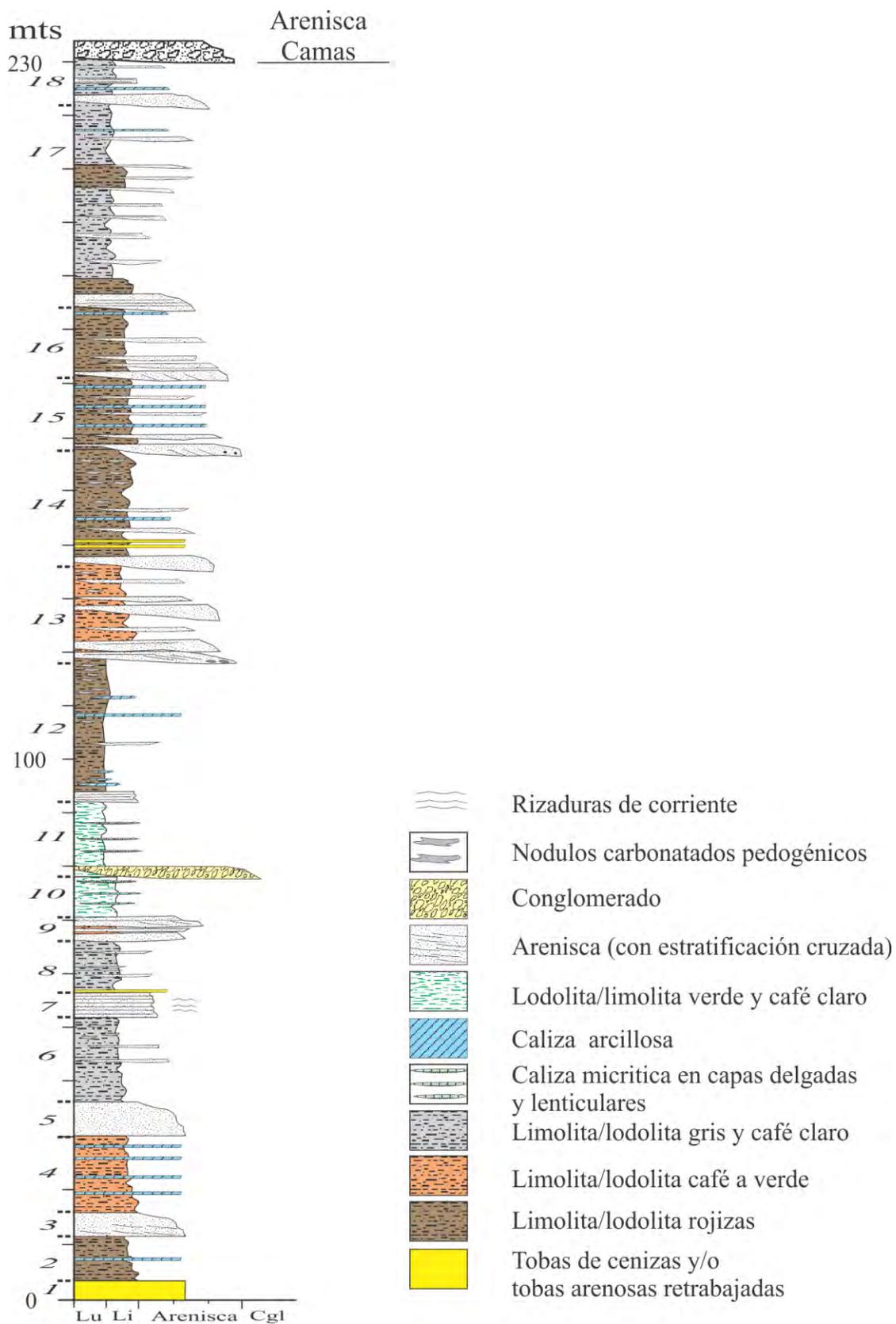


Figura 6. Columna estratigráfica de la Formación Corral de Enmedio dividida en 18 unidades litológicas.

La Formación Corral de Enmedio está conformada principalmente por lodolitas y limolitas, dentro de las cuales se presentan intercalaciones de capas de areniscas, calizas y escasos conglomerados (Figura 5). A continuación, se describe la estratigrafía de la columna medida, la cual se ha dividido en unidades numeradas de forma estratigráficamente ascendente (Figura 5):

Unidad.	Espesor.	Litología
1.	3 m.	Tobas de ceniza arenosa de color blanco a gris claro, masivas.
2.	9 m.	Limolitas masivas de color café rojizo que tienen escasas intercalaciones de capas de arenisca lenticular de hasta 30 cm de grueso y escasas capas delgadas de caliza arcillosa de color café rojizo.
3.	4 m.	Nivel de capas de arenisca de hasta 1 m de grueso que varían de grano grueso en la parte inferior a grano fino en su parte superior. Tienen base erosiva, son lenticulares y presentan estratificación cruzada planar.
4.	14 m.	Paquete de limolitas y lodolitas de color café amarillento a verdoso claro, con intercalaciones de capas de calizas arcillosas de hasta 20 cm de grueso y de color gris claro en superficie fresca.
5.	6 m.	Nivel de capas de areniscas de color café rojizo que alcanzan hasta 1 m de espesor y gradúan de grano medio en sus partes inferiores a grano fino hacia sus cimas.
6.	16 m.	Limolitas masivas de color gris claro a café claro, con niveles laminados de color gris oscuro dentro de los cuales se presentan abundantes detritos de plantas. En algunos niveles de limolitas de color gris claro se presentan nódulos carbonatados de origen pedogénico. Se intercalan escasas areniscas de grano fino en capas menores de 30 cm que se acuñan lateralmente en distancias de pocos metros y tienen rizaduras de oleaje.
7.	4.6 m.	Nivel de areniscas de grano fino a limolitas que ocurren en capas de 5 a 15 cm y algunas de ellas tienen rizaduras de corriente. En su cima se tiene una capa de toba de ceniza de 35 cm de grueso.
8.	8.4 m.	Lodolitas masivas a localmente laminadas de color verde y café claro, con escasas intercalaciones de limolitas y arenisca de grano fino en capas de hasta 30 cm de espesor. Las lodolitas tienen detritos de plantas.
9.	4.3 m.	Unidad formada por tres ciclos superpuestos formados por arenisca rojizas de grano grueso granodecrecientes, las cuales a su vez gradúan a limolitas/lodolitas de color café verdoso en capas de hasta 30 cm de grueso. Estos ciclos van de uno a dos metros de espesor. Las capas de arenisca alcanzan hasta 1 m de grueso y tienen estratificación cruzada de cuenca. Dentro de las limolitas se encontró un fémur de hadrosáurido (Figura 7).



Figura 7. Fémur de hadrosáurido completo, fracturado que se encontró dentro de limolitas de la unidad 9.

10. 6.7 m. Unidad de lodolitas masivas de color verde claro dentro de las cuales se intercalan nódulos y capas lenticulares de calizas arcillosas y micritas, así como niveles delgados de lodolita gris con detritos de plantas y ocasionales gasterópodos de concha muy delgada de hasta 2 cm de largo. Las capas de calizas intemperizan a color azul claro, y tienen espesor de 10 a 20 cm.
11. 14 m. Esta unidad tiene en su base una capa de arenisca lenticular de grano grueso, masiva y hacia arriba le siguen lodolitas de color verde amarillento claro que son tobáceas en algunos niveles. Dentro de las lodolitas se tienen escasas intercalaciones de capas lenticulares de calizas micríticas (“wackestone”) de color gris oscuro en superficie fresca, que tienen espesores entre 10 y 30 cm. Algunas de estas calizas son clásticas mostrando granos de cuarzo del tamaño de limo. Lateralmente y en una distancia de unos 150 m hacia el sureste, la capa de arenisca basal está erosionada por un conglomerado de 3.5 m de espesor y de 50 m de ancho, el cual sobreyace de manera erosional a lodolitas de la unidad inferior. Este es un conglomerado polimíctico que está compuesto por intraclastos mal clasificados de lodolitas, calizas, de nódulos calcáreos pedogénicos y fragmentos de huesos. Los intraclastos alcanzan hasta 15 cm de diámetro y muchos contienen restos de huesos de vertebrados (Figura 8). Su matriz la forman granos de cuarzo, rocas volcánicas y feldespatos potásico de hasta 3 cm de largo que están cementados por calcita. Las capas de caliza micrítica de la parte

superior de ésta unidad, contienen microfósiles planctónicos y carofitas. Estos mismos fósiles también están presentes dentro de los clastos de caliza del conglomerado.



Figura 8. (A) Afloramiento de la capa de conglomerado de la parte inferior de la unidad 11 mostrando clastos de caliza de hasta 15 cm de largo. (B) Microfotografía con luz natural de la matriz del mismo conglomerado mostrando granos de rocas volcánicas, cuarzo e intraclastos de calizas que están cementados por calcita; el grano de roca volcánica en el centro de la foto tiene un diámetro de 2 mm.

12. 26 m. La parte inferior de esta unidad que sobreyace de manera abrupta a las lodolitas de la unidad 11 la forma un nivel de 2 m de espesor de capas de arenisca de 10 a 30 cm de grueso, que son de grano fino y que gradúan hacia su cima a limolitas. En contacto abrupto hacia arriba siguen limolitas/lodolitas masivas, de color rojizo que componen el resto de esta unidad. En la parte inferior del paquete de limolitas/lodolitas se intercalan escasas capas lenticulares de caliza arcillosa, en su media se tienen dos capas de 30 cm de espesor de calizas arcillosas nodulares de color café rojizo, así como una capa lenticular de arenisca de grano fino, masiva, de 35 cm de grueso, mientras que en la parte superior de la unidad se tienen niveles de hasta 50 cm de grueso formados por nódulos carbonatados pedogénicos que se hacen más abundantes hacia los 4 m más superiores.
13. 18 m. Unidad donde se presentan 2 ciclos sedimentarios que empiezan con arenisca en su parte inferior y gradúan a limolitas y lodolitas hacia su parte superior. El espesor de cada uno de ellos es de 9 m. Las capas de areniscas de la base del ciclo son lenticulares y se acuñan lateralmente en una distancia de 100 m; tienen espesores de hasta 2 m de grueso y forman niveles de hasta 4 m. Son de grano grueso, tienen base erosiva sobre limolitas subyacentes y en su base desarrollan un nivel

lenticular delgado de conglomerado fino dentro del cual también se tienen clastos de lodolita que fueron retrabajados de las rocas infrayacentes. Tienen además estratificación cruzada planar, laminaciones paralelas y hacia su cima también desarrollan ocasionalmente estratificación cruzada de pequeña escala producida por rizaduras de corriente. El contacto entre estas areniscas y las capas de limolita que la sobreyacen es generalmente erosivo. Las limolitas y lodolitas que forman la parte superior de cada ciclo son masivas y de color verdoso. Las del ciclo inferior tienen algunos niveles donde se encuentran escasos gasterópodos pequeños y completos. Las limolitas del ciclo superior tienen nódulos calcáreos de origen pedogénico en capas de 20 a 30 cm de grueso. A los niveles de limolitas se les intercalan escasas capas de arenisca de hasta 50 cm de grueso que son de grano fino y tienen laminaciones paralelas.

- 14.** 21 m. Unidad que representa un ciclo sedimentario de afinamiento de grano hacia su cima. En su base se tiene una capa de 2 m de arenisca masiva con base erosiva, de grano grueso que gradúa a grano fino hacia su cima (Figura 9A). Siguen hacia arriba limolitas/lodolitas rojizas y verdosas, masivas, que tienen intercalaciones menores de arenisca de grano fino que forman capas lenticulares de 30 a 50 cm de espesor. También se intercalan capas de toba de ceniza amarillenta, de 20 cm de grueso y una capa de caliza arcillosa rojiza. Las limolitas de la parte superior de esta unidad tienen abundantes nódulos calcáreos pedogénicos.

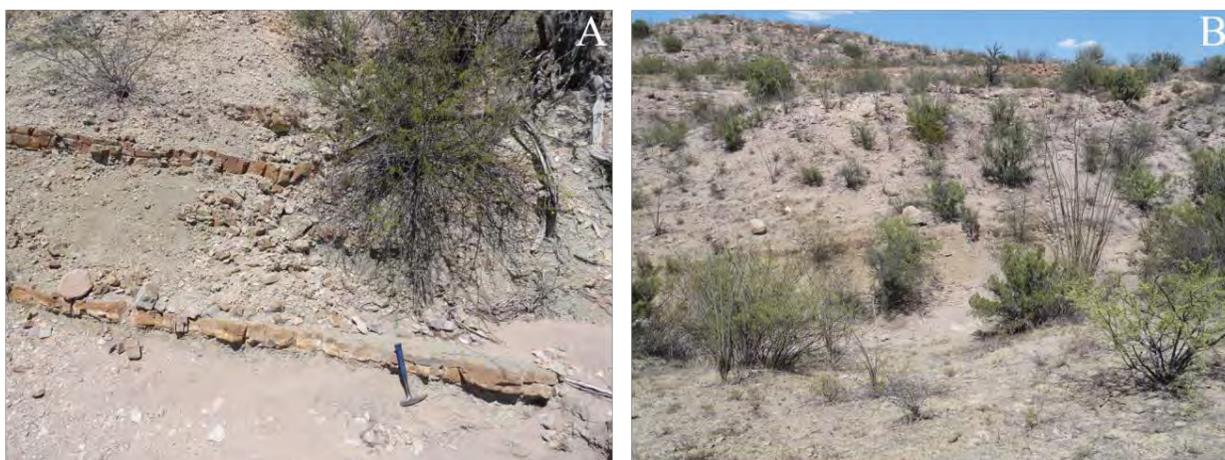


Figura 9. (A) Limolitas/lodolitas de la unidad 14 con capas delgadas de tobas de ceniza volcánica intercaladas. (B) Areniscas de grano grueso de la parte inferior de la unidad 17, que sobreyacen a limolitas rojizas y una capa de caliza de la parte superior de la unidad 16.

- 15.** 14 m. Esta unidad forma una secuencia de afinamiento de grano hacia arriba. En su base tiene una arenisca de grano grueso con lentes de conglomerados finos en su parte inferior y de 3 m de grueso. Es lenticular, su base es erosiva sobre las limolitas subyacentes y gradúa a grano fino hacia su cima. Presenta estratificación cruzada planar y laminaciones paralelas. La sobreyacen de forma abrupta

limolitas masivas de color rojizo dentro de las cuales se intercalan algunas capas de arenisca de grano fino a medio que tienen laminaciones paralelas, estratificación cruzada de rizaduras de corriente y alcanzan hasta 50 cm de espesor. También se intercalan algunas capas de caliza arcillosa y nodular de color rojizo.

- 16.** 13 m. En la base se tiene una capa de arenisca de 2 m de espesor, es de grano grueso, presenta estratificación cruzada planar y gradúa a grano fino hacia su cima. Su base es erosiva sobre las limolitas subyacentes. La sobreyacen limolitas rojizas que pasan a gris claro hacia la parte superior de la unidad y dentro de las cuales se intercalan algunas capas de arenisca de grano medio a fino, de hasta 40 cm de grueso.
- 17.** 38 m. Unidad que presenta afinamiento de grano hacia su cima. En su base se tiene un nivel de 3 m de capas de areniscas amalgamadas y de base erosiva. Ocurren en capas que varían de 40 a 60 cm de espesor, son de grano grueso a fino, masivas y muestran estratificación cruzada planar y laminaciones paralelas. La sobreyacen lodolitas masivas de color verde claro a amarillento y limolitas de color rojizo en capas masivas de hasta 4 m de grueso. Las lodolitas tienen algunas intercalaciones de capas de limolitas de 15 a 40 cm de grueso con laminaciones paralelas y estratificación cruzada de pequeña escala producida por rizaduras de corriente. Algunos niveles dentro de las lodolitas son tobáceos y de hasta 2 m. Dentro de ellas se observó también una capa de 20 cm de caliza arcillosa. Los niveles de limolita tienen intercalaciones de capas de arenisca de grano fino con estratificación cruzada y de hasta 40 cm de grueso (Figura 9B).
- 18.** 8 m. Unidad de espesor incompleto debido a que está sobreyacida en contacto erosional por capas conglomeráticas gruesas de la Formación Arenisca Camas. En su parte inferior se tiene un nivel de 3 m de capas superpuestas de areniscas que gradúan de grano grueso en su parte inferior a fino hacia su cima. Su base es erosiva sobre las lodolitas subyacentes y escasamente se les observa estratificación cruzada planar. Hacia arriba y en contacto abrupto con las areniscas siguen lodolitas de color verde claro con algunos niveles tobáceos; tienen escasas capas de hasta 50 cm de grueso de limolitas laminadas, así como una capa delgada de caliza arcillosa con bivalvos y gasterópodos de conchas completas y bien preservadas.

VI.1. Ambiente de depósito de la Formación Corral de Enmedio

De acuerdo con el contenido de vertebrados fósiles y a su litología, la Formación Corral de Enmedio ha sido interpretada como un depósito sedimentario que fue acumulado en ambientes lacustres y fluviales (González-León, 1994). Su fauna fósil está representada por restos de organismos continentales tales como dinosaurios, tortugas, cocodrilos, peces, gasterópodos y bivalvos de agua dulce que ocurren en varios niveles estratigráficos de la unidad (Lucas et al., 1995).

La Formación Corral de Enmedio está formada principalmente por secuencias cíclicas superpuestas que en su parte inferior tienen areniscas de grano grueso con estratificación cruzada, las cuales gradúan hacia la cima a areniscas de grano medio y fino, y estas a su vez pasan hacia la parte superior de la secuencia a paquetes de limolitas y lodolitas. Las areniscas inferiores tienen por lo general bases erosivas sobre las rocas subyacentes, lentes delgadas de conglomerados finos, intraclastos de lodo, nódulos calcáreos y fragmentos de huesos reabajados. Los paquetes de limolitas/lodolitas son por lo general de colores rojizos, café rojizos y morados y es común que contengan capas con nódulos de carbonato de calcio que se interpretan fueron formados como paleosuelos, así como capas lenticulares de menos de un metro de espesor de arenisca de grano fino y capas delgadas de calizas arcillosas de colores café a rojizo claro. Cada uno de estos ciclos se interpreta que fue formado por un sistema fluvial donde las areniscas y conglomerados de su parte inferior representan rellenos de los canales de ríos y las lodolitas/limolitas de la parte superior representan sedimentos que fueron acumulados en las planicies de inundación de los ríos donde también se desarrollaron lagos someros.

Por otro lado, las unidades 10 y 11 que están formadas por lodolitas masivas de colores claros con intercalaciones de capas de calizas micriticas se interpretan que fueron acumuladas en un ambiente marino marginal. La unidad 10 tiene intercalaciones de lodolitas grises con detritos de plantas finamente reabajados y escasos gasterópodos pequeños de concha muy delgada. Esta unidad se interpreta como un depósito formado en un ambiente lacustre transicional que precedió a la franca incursión marina representada por la unidad 11. La unidad 11 tiene calizas con foraminíferos planctónicos de origen marino, así como carofitas que indican un origen continental a transicional. Una capa lenticular de conglomerado que está presente en la base de la unidad 11 se interpreta como el relleno de un canal fluvial que ingreso al ambiente marginal marino donde se acumulaban sedimentos finos de dicha unidad. Dado el carácter polimíctico y mal clasificado de este conglomerado, es probable que su acumulación se haya producido por un evento fluvial repentino y de gran energía. Los intraclastos de lodolita y caliza de este conglomerado contienen microfósiles como los encontrados en las calizas de la unidad 11, indicando que

fueron arrancados por la corriente de los márgenes del canal para ser transportados y depositados en el canal. Los fragmentos de vertebrados, los nódulos pedogénicos y los clastos de rocas volcánicas que también contiene el conglomerado, indican que la corriente atravesó antes la planicie fluvial para luego desembocar en el ambiente costero marino.

Dada la fauna continental variada de la Formación Corral de Enmedio, dentro de la cual también se hallaron detritos de plantas, así como su litología que representa ambientes fluviales distales, lacustres y marinos marginales, se interpreta que esta unidad fue depositada bajo un régimen de clima tropical, marcado por fenómenos de aridez en una región de planicie costera.

VI.2. Edad de la Formación Corral de Enmedio

La edad de la Formación Corral de Enmedio se puede aproximar con base en la datación de circones detríticos obtenidos de la capa de toba arenosa que se encuentra en la parte inferior de esta unidad y que según González-Léon et al. (2017) dio una edad U-Pb de 72 Ma. Estos mismos autores, y en base a otra toba volcánica que fecharon de la Formación Lomas Coloradas, propusieron que la sección Naco tiene una edad aproximada de entre 73 y 72 Ma. Aparte de estos datos de geocronología, en el presente trabajo hemos encontrado foraminíferos planctónicos y algas calcáreas en algunas capas de caliza de la Unidad 11 (Figura 19). Los foraminíferos fueron identificados como *Hedbergella* sp., *Globigerinelloides bollii* Pessagno, 1967 y *Pithonella sphaerica* Kaufmann, 1865, por el Dr. Robert W. Scott (Tulsa University, comunicación personal del 30 de octubre del 2017) y las algas corresponden a caráceas y porocaráceas de acuerdo a identificaciones de la Dra. Alba Vicente-Rodríguez (ERNO, UNAM, comunicación personal del 5 de marzo del 2018). De estos, *G. bollii* es un fósil que tiene un rango del Coniaciano al Maastrichtiano. Con todos estos datos se puede precisar que la edad de la Formación Corral de Enmedio está restringida al Campaniano tardío y al límite con el Maastrichtiano (ca. 72 Ma).

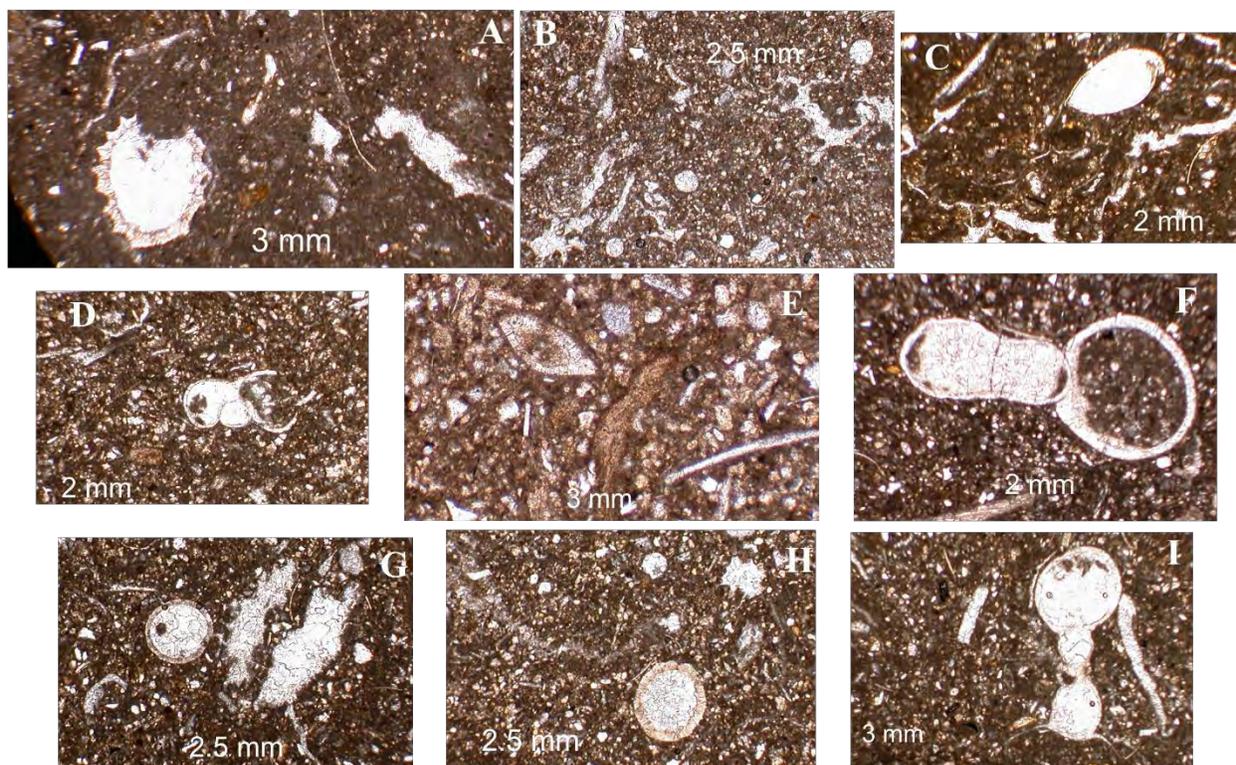


Figura 10. Microfósiles de las calizas de la unidad 11. (A) Alga calcárea Characeae Agard, 1824. (B) ?*Pithonella* sp. (C) ostrácodo. (D) foraminífero planctónico no identificado, con cámaras rotas. (E) ostrácodos y conchas delgadas indeterminadas. (F e I), foraminífero planctónico *Globigerinelloides bollii* Pessagno, 1967. (G), *Pithonella sphaerica* Kaufmann, 1865. (H) alga calcárea Porocharacea Grambast, 1962. La longitud total de cada microfotografía está indicada en milímetros dentro de las mismas.

VII. PALEONTOLOGÍA

De la Formación Corral de Enmedio se han reportado y descrito diversos fósiles de vertebrados e invertebrados, terrestres y acuáticos. Lucas et al. (1995) reportaron partes completas y fragmentos de huesos de hadrosáuridos y ceratópsidos, vértebras de peces y cocodrilos, fragmentos de tortugas, así como gasterópodos y bivalvos incluyendo una nueva especie de cada uno de ellos. Del mismo modo Serrano-Brañas et al. (2017) describieron tres dientes de terópodos asignados a la Familia Tyrannosauridae.

Como se mencionó antes, para el presente trabajo se estudiaron 246 fósiles de vertebrados e invertebrados que fueron colectados durante el trabajo de campo en la Formación Corral de Enmedio y aparte se agregaron 24 ejemplares que se encontraron depositados en la CPERNO. De estos 270 fósiles estudiados, en este trabajo se identificaron 165 de ellos, los cuales se asignaron a cinco grupos diferentes: Mollusca, Gastropoda, Eusuchia, Testudines y Dinosauria, que corresponden a 12 familias (Figura 11). A continuación, se describe este material.

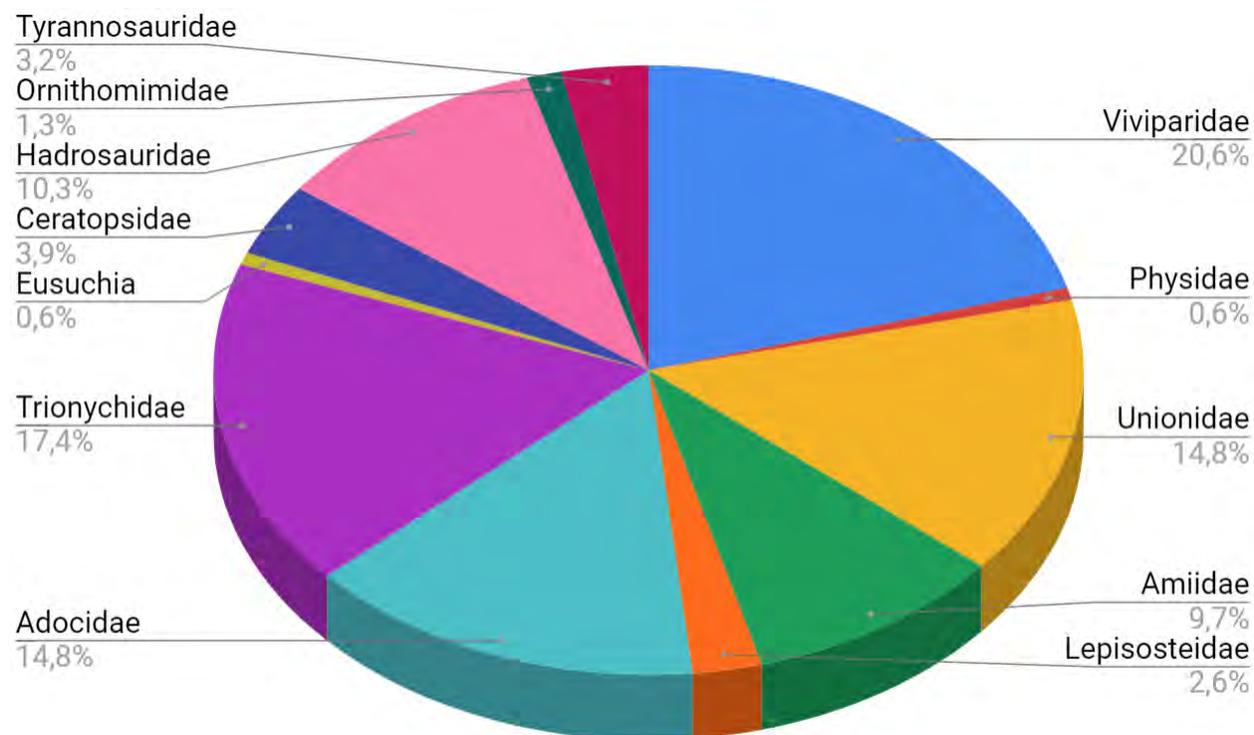


Figura 11. Abundancia relativa de los 165 restos fósiles que se identificaron para este trabajo, incluyéndose aquí los colectados durante este trabajo y los ejemplares de la CPERNO.

VII.1. Invertebrados

VII.1.1. Moluscos

Moluscos como gasterópodos y bivalvos son abundantes en algunos niveles de la Formación Corral de Enmedio. La mayoría de las conchas colectadas presentan una buena preservación, y en algunas se pueden observar claramente las líneas de crecimiento. Los gasterópodos se identificaron como *Mesolanistes reesidei*, *Viviparus australis*, varios se identificaron como ?*Viviparus* sp. por su estado de preservación y se encontró una tercera forma de gasterópodo correspondiente al ejemplar ERNO-8577 no identificada. En el caso de los bivalvos se identificó *Plesielliptio sonoraensis* y *Plesielliptio* sp. Estos moluscos ya habían sido reportados por Lucas et al. (1995) de esta formación.

Filo MOLLUSCA Linnaeus, 1758
Clase GASTROPODA Cuvier, 1795
Subclase PROSOBRANCHIA Haeckel, 1904
Orden MESOGASTROPODA Thiele, 1921
Familia VIVIPARIDAE Gray, 1847
Género *Viviparus* Montfort, 1810
***Viviparus australis* Kues, 1995**

Figura 12.

De esta especie se colectaron cuatro ejemplares, ERNO-8638, 8639, 8657 a 8659. Se colectaron de dos capas de caliza que representan ambientes de lago en las unidades 12 y 15. Tienen las siguientes características mencionadas por Lucas et al. (1995) por lo que se asignan a *Viviparus australis*: concha dextrógira, de tamaño mediano a pequeño, moderadamente alta espiral, espirales amplias y sin ornamentaciones, y mostrando una reducción significativa en tasa de expansión espiral después de la tercera espiral, lo que resulta en una relativamente baja espiral en ejemplares pequeños que aumenta en los mayores. Estos gasterópodos se encontraron en varios niveles de la Formación Corral de Enmedio, sin ser muy abundantes. En los especímenes mejor preservados se puede observar el detalle de las líneas de crecimiento y una concha sin ornamentaciones.

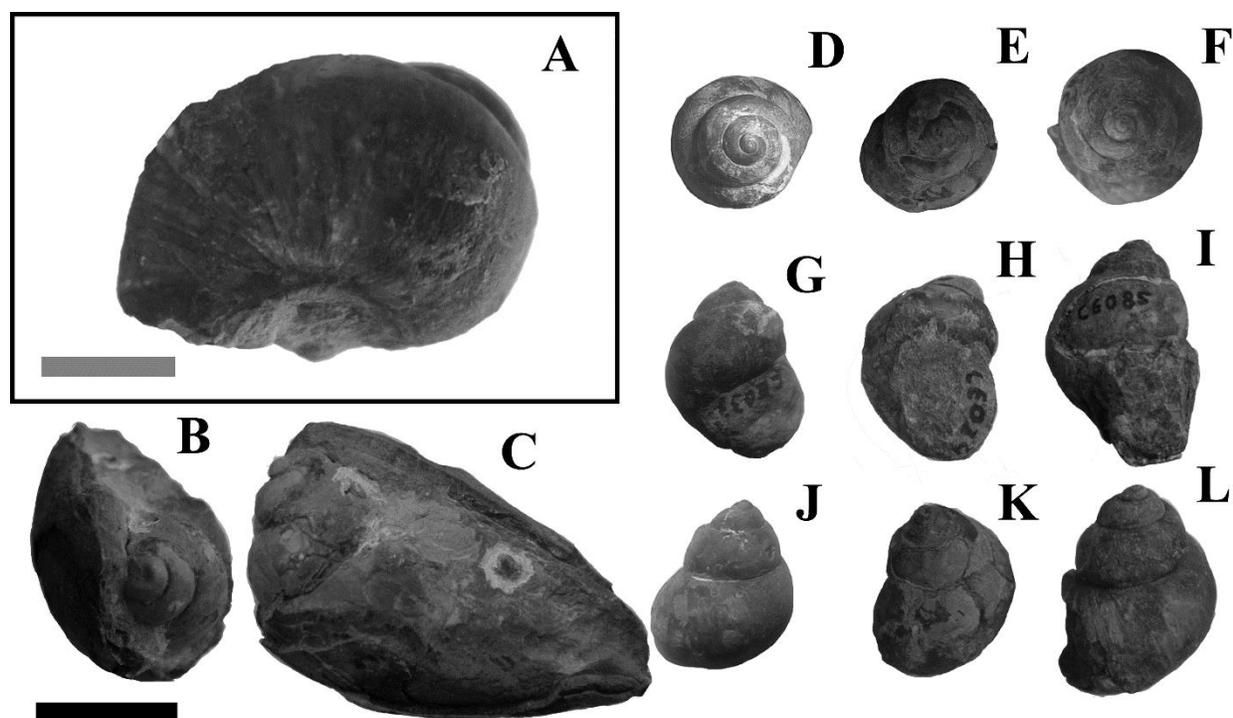


Figura 12. Ejemplares de *Viviparus australis* Kues, 1995. (A) Acercamiento a las líneas de crecimiento y parte de la apertura de ERNO-8638; (B y C) ejemplar ERNO-8693 con *V. australis* dentro de bivalvo en vista dorsal y abapertural; (D, G y J) ERNO-8658 en vistas dorsal, apertural y abapertural; (E, H y K) ERNO-8659 en vistas dorsal, apertural y abapertural; (F, I y L) ERNO-8638 en vistas dorsal, apertural y abapertural. Barra negra de escala mide 2 cm y barra gris mide 1 cm.

Familia VIVIPARIDAE Gray, 1847

Género *Viviparus* Monfort, 1810

Viviparus sp.

Figura 13.

De este género se colectaron 28 especímenes, ERNO-8597 a 8605, colectados de cuatro estratos de caliza que representan ambientes de lagos en la unidad 4. Poseen las siguientes características mencionadas por Lucas et al. (1995) por lo que asignan al género *Viviparus*: concha dextrógira, de tamaño mediano a pequeño, moderadamente alta espiral, espirales amplias y sin ornamentaciones. Estos ejemplares presentan un mayor desgaste e intemperismo, con conchas desgastadas o parcialmente disueltas y con molde interno expuesto en varias partes de los ejemplares. Presentan características similares a *Viviparus*, pero debido a la mala conservación que presentan no es posible hacer una identificación taxonómica definitiva.

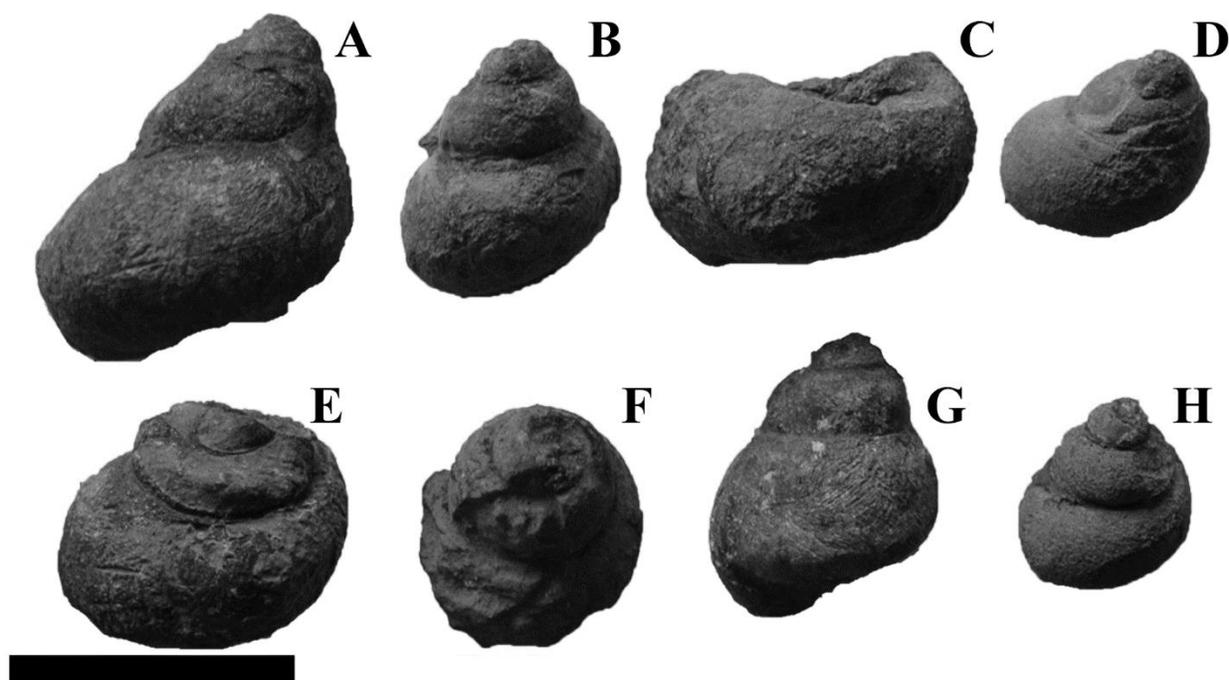


Figura 13. Ejemplares de *Viviparus* sp. de la unidad litológica 4. Presentan desgaste, disolución de conchas y/o molde interno expuesto. Ejemplares (A) ERNO-8597, (B) ERNO-8598, (C) ERNO-8599, (D) ERNO-8600, (E) ERNO-8601, (F) ERNO-8602, (G) ERNO-8603, (H) ERNO-8604. Barra de escala mide 2 cm.

Familia **PHYSIDAE** Fitzinger, 1833
 Género **Mesolanistes** Yen, 1945
Mesolanistes reesei Stanton, 1917

Figura 14.

De esta especie se colectó solo un ejemplar (ERNO-8641) de un estrato de caliza de la unidad 12, el cual muestra las características descritas por Lucas et al. (1995) para especímenes de *Mesolanistes reesei* Stanton, 1917 que estos autores colectaron de la Lutita Packard en la cuenca de Cabullona. Estas características son: concha levógira, de tamaño medio con una expansión considerable en cada giro, una sutura muy alta en la espiral, dejando una espira corta y baja y una apertura amplia. Presenta rastros de ornamentación cerca del ápice en el último giro, apenas visibles por el desgaste. La preservación de este ejemplar es moderadamente buena, aunque carece del extremo del sifón.

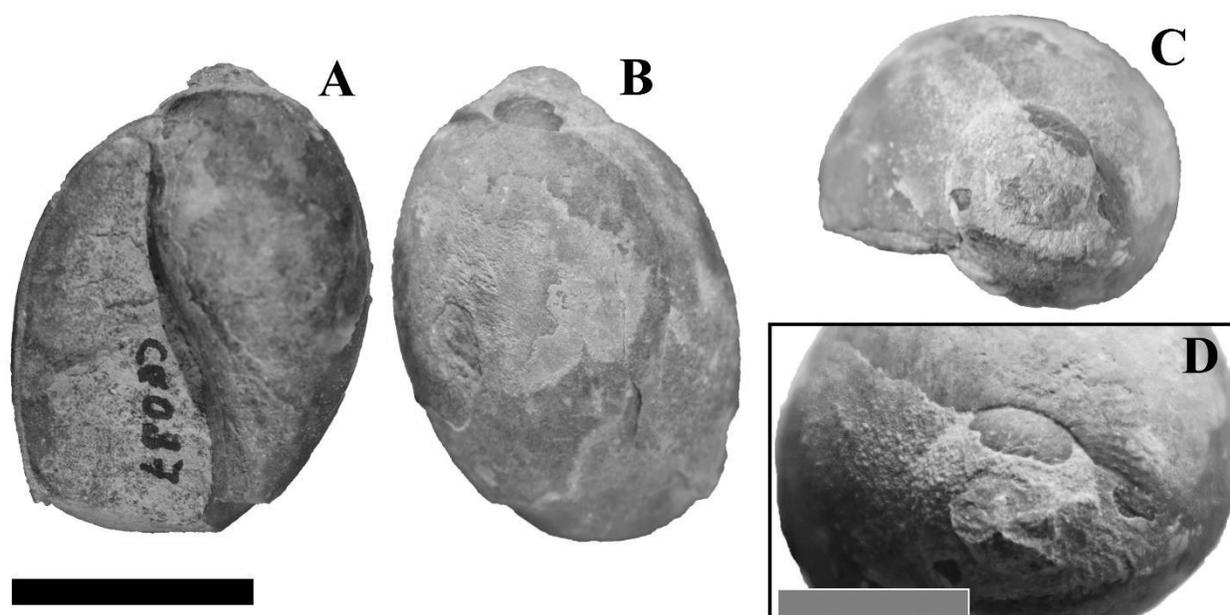


Figura 14. Ejemplar ERNO-8641 de *Mesolanistes reesei* Stanton, 1917, en (A) vista apertural, (B) abapertural y (C) dorsal, (D) con pequeños indicios de ornamentación cerca al ápice. Barra negra de escala mide 2 cm, barra gris mide 1 cm.

Clase GASTROPODA Cuvier, 1795

Figura 15.

Se encontró un tercer tipo de gasterópodo adherido al sedimento de arenisca fina que cubre parcialmente la vértebra cervical de eusúquido ERNO-8577, diferente a *Viviparus* y *Mesolanistes*. Difiere de éstos en que presenta una espiral más alta, un tamaño de entre 3 y 5 mm, y una concha levógira y sin ornamentación aparente. El ejemplar está parcialmente disuelto y cubierto de arenisca fina hacia su apertura, debido a esto no fue posible asignar una identificación precisa a este espécimen.

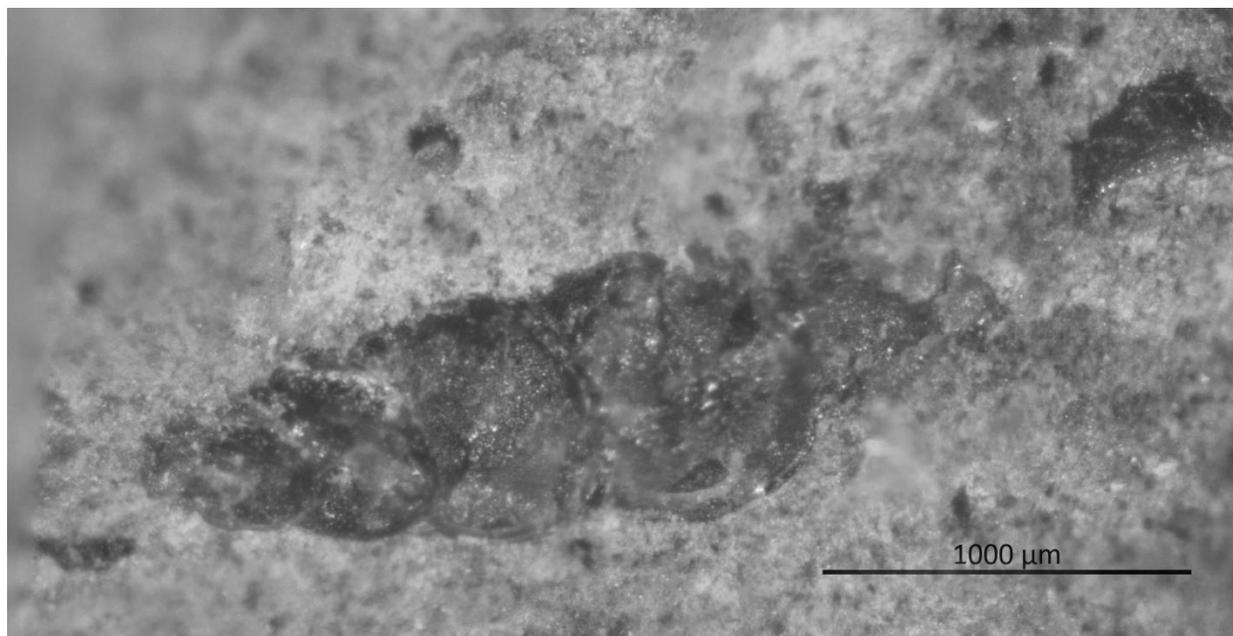


Figura 15. Gasterópodo indet. incompleto con último giro visible y posible apertura en el extremo derecho de la imagen. Adherido a la arenisca fina que cubre parcialmente al ejemplar de ERNO-8577. Barra de escala mide 1000 μm .

Filo MOLLUSCA Linnaeus, 1758
 Clase BIVALVIA Linnaeus, 1758
 Orden UNIONOIDA Stoliczka, 1871
 Familia UNIONIDAE Fleming, 1828
 Género *Plesielliptio* Russell, 1934
Plesielliptio sonoraensis Kues, 1995

Figura 16.

De esta especie se colectaron un total de siete ejemplares: ERNO-8639, 8661, 8668, 8669, 8670, 8675, 8677 y 8678. Estos fueron encontrados en una capa de caliza de la unidad 12 y en tres capas de caliza de la unidad 15 que representan ambientes lacustres. Estos ejemplares presentaban una mejor conservación que los bivalvos mencionados anteriormente, por lo que fue posible identificarlos hasta nivel de especie. Cabe destacar que en los niveles de calizas algunos de estos ejemplares están articulados y completos. En ellos se observan las siguientes características referidas por Lucas et al. (1995): tienen forma subtriangular alargada, comprimida lateralmente, quilla posterior bien marcada a lo largo de casi un tercio de la distancia al extremo anterior. Esta especie se distingue fácilmente de otras de la Cuenca de Cabullona por su forma subtriangular y las quillas posteriores altas, en contraste con la forma oval y quillas bajas de otras especies. El ejemplar más grande presenta una concha parcial de 5.5 cm de largo.

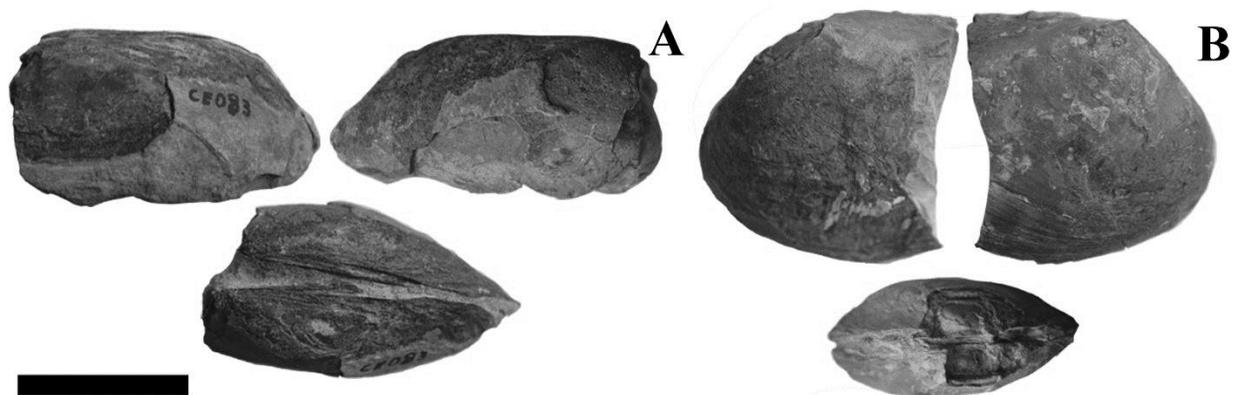


Figura 16. Ejemplares de *Plesielliptio sonoraensis* Kues, 1995. En los fósiles asignados a esta especie se pueden observar la característica quilla posterior bien marcada y la forma subtriangular en lugar de ovalada. Ejemplares (A) ERNO-8639 y B) ERNO-8670. Barra de escala mide 3 cm.

Familia UNIONIDAE Fleming, 1828

Género *Plesielliptio* Russell, 1934

Plesielliptio sp.

Figura 17.

De este género se colectaron 14 especímenes, ERNO-8609 a 8612, 8660, 8662, 8664 a 8667, 8670, 8672 a 8674, 8676 y 8678, provenientes de capas de caliza de las unidades 12 y 15 que representan ambientes lacustres. Presentan características similares a las descritas por Lucas et al. (1995) para el género *Plesielliptio* Russell, 1934: concha alargada subovalada, moderadamente comprimida lateralmente y no muy alta, de tamaño medio, con una quilla posterior ligeramente marcada y carece de ornamentaciones muy prominentes. Presentan ligeras variaciones entre los ejemplares. Estos presentan una visible erosión en las valvas, lo que dificultó la asignación de especie.

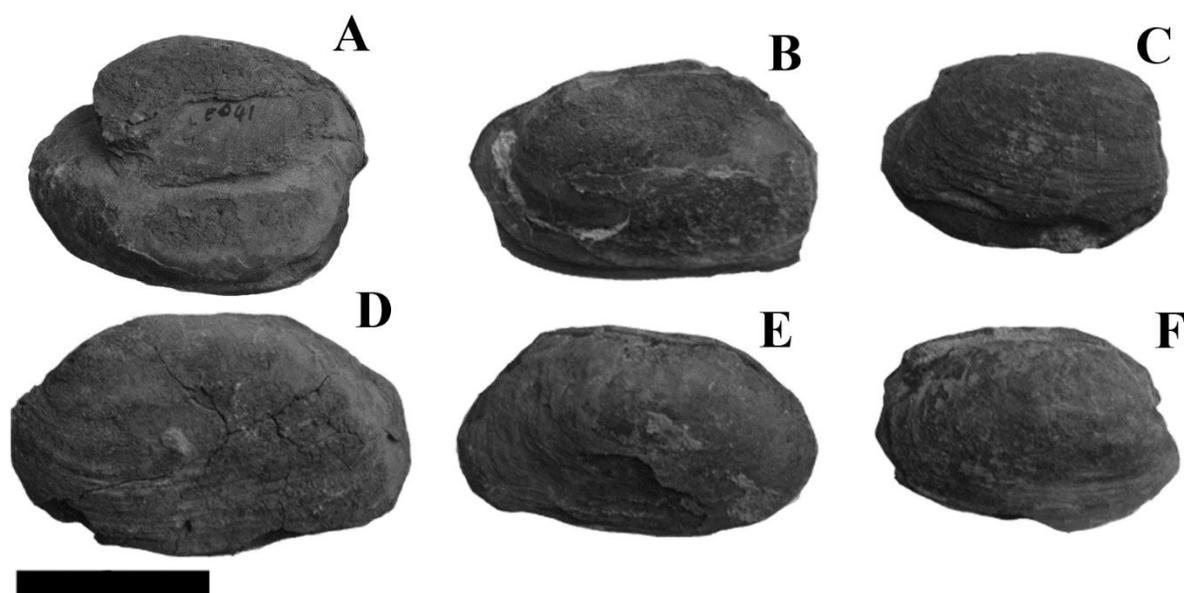


Figura 17. Algunos ejemplares de *Plesielliptio* sp. Russell, 1934. Estos ejemplares mostraban desgaste y redondeo, pero se distinguen las características generales del género, como la forma subovalada y alargada lateralmente. La quilla posterior es poco visible debido a la erosión en muchos de ellos. Ejemplares (A) ERNO-8661, (B) ERNO-8664, (C) ERNO-8609, (D) ERNO-8662, (E) ERNO-8611 y (F) ERNO-8612. Barra de escala mide 3 cm.

VII.2. Vertebrados

VII.2.1. Peces

La mayor parte de los restos de peces encontrados en la Formación Corral de Enmedio corresponden a centros de vértebras y fragmentos de huesos que se asignan al género *Melvius*, pero también se tienen escamas ganoideas que se asignan a Lepisosteidae. Lucas et al. (1995) reportaron Lepisosteidae de la Lutita Packard en el Grupo Cabullona de la sección de Naco. A continuación, se describen e ilustran los ejemplares encontrados.

Filo CHORDATA Bateson, 1885
Clase ACTINOPTERYGII Klein, 1885
Orden AMIIFORMES Hay, 1929
Familia AMIIDAE Bonaparte, 1838
Género *Melvius* Bryant, 1879
***Melvius* sp.**
Figura 18.

De este género se identificaron 15 centros vertebrales de pez y un fragmento de hueso, 10 ejemplares colectados para este trabajo, ERNO-8606 a 8610, 8618, 8633, 8640, 8648, 8650 y 8663, y 5 ejemplares pertenecientes a la CPERNO, ERNOV-1020 a 1023 y ERNO-8573. Este género se encontró en los 3 ambientes fluviales principales de esta formación: canal fluvial de las unidades 9; planicie de inundación de la unidad 12; lagos de las unidades 12 y 15; y en el conglomerado polimíctico de la unidad 11. Presentan las siguientes características por lo que se asignan al género *Melvius*: las vértebras son anficélicas, presentan ambas caras articulares cóncavas, cortas antero-posteriormente y con muescas ventrolaterales, las cuales son características diagnósticas del género *Melvius* (Bryant, 1987). El ejemplar ERNO-8573 presenta un patrón de ornamentación similar al del género *Melvius* ilustrado por Bryant (1987) del ejemplar 131707 de la "University of California Museum of Paleontology" (UCPM).

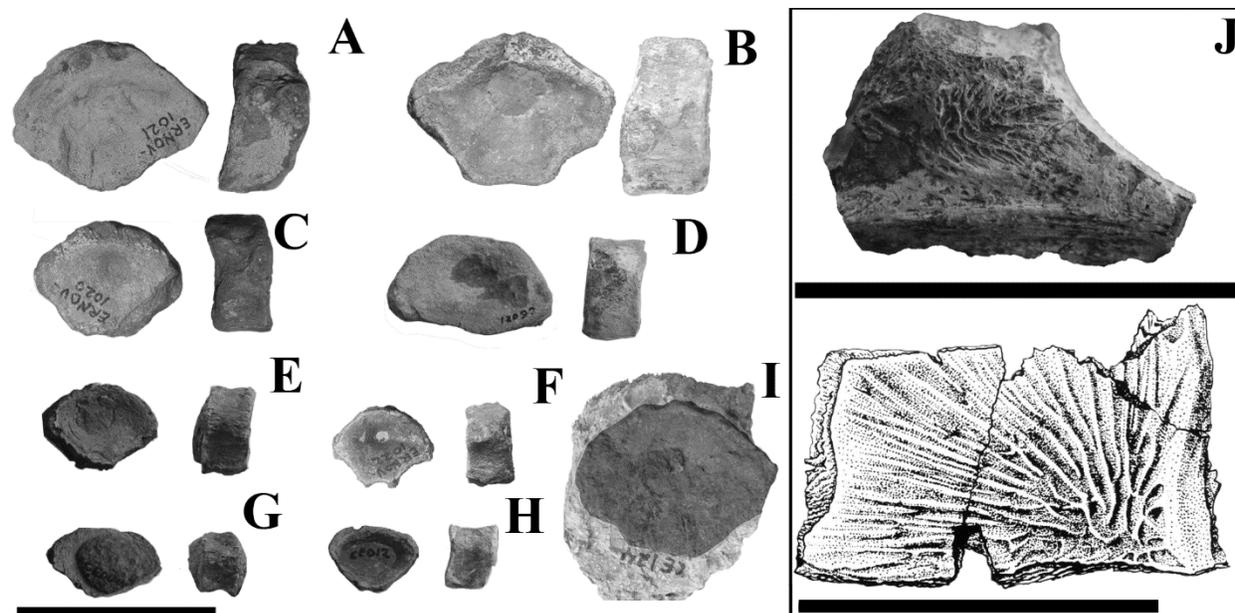


Figura 18. Varios ejemplares de centros de vértebras de *Melvius* sp. Ejemplares (A) ERNOV-1021, (B) ERNOV-1023, (C) ERNOV-1020, (D) ERNO-8663, (E) ERNO-8606, (F) ERNOV-1022, (G) ERNO-8607, (H) ERNO-8610, (I) ERNO-8618 en matriz de conglomerado con color modificado para definir y resaltar el fósil; (J) ERNO-8573 mostrando patrón de ornamentación (arriba) en comparación con ilustración del ejemplar UCMP 131707 (abajo) de *?Melvius thomasi* Bryant, 1987. Barra de escala mide 2 cm.

Filo CHORDATA Bateson, 1885
Clase ACTINOPTERYGII Klein, 1885
Orden LEPOSOSTEIFORMES Hay, 1929
Familia LEPOSOSTEIDAE Cuvier, 1825

Figura 19.

De esta familia se colectaron 4 escamas ganoideas aisladas, colectados del conglomerado polimíctico de la unidad 11. Por su forma de diamante pueden asignarse a la familia Lepisosteidae (Lucas et al., 1995): con la típica forma de diamante y mostrando una superficie lustrosa. Al ser sólo escamas aisladas no fue posible precisar más allá de familia.

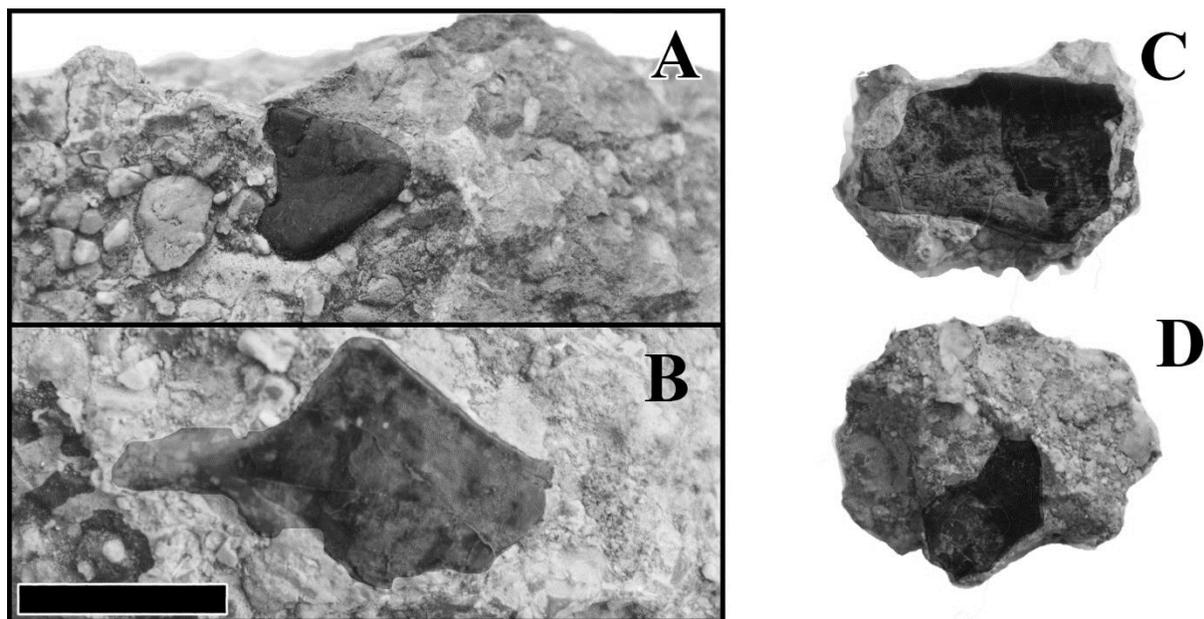


Figura 19. Escamas ganoideas en matriz de conglomerado. Ejemplares (A) ERNO-8624, (B) ERNO-8628, (C) ERNO-8621 y (D) ERNO-8623. Barra de escala mide 1 cm.

VII.2.2. Tortugas

Se colectaron huesos de tortugas pertenecientes a dos tipos distintivos, así como otros fragmentos de huesos que no se pudieron asignar a un grupo más allá de Testudines, ya que no aportan la información taxonómica suficiente. Este grupo es el más abundante en la formación, con 38 ejemplares de la familia Trionychidae, 23 ejemplares clasificados como *?Adocus* y 2 tortugas indeterminadas.

Filo CHORDATA Bateson, 1885
Clase REPTILIA Laurenti, 1768
Orden TESTUDINES Batsch, 1788
Familia TRIONYCHIDAE Fitzinger, 1826

Figura 20.

De esta familia se colectaron 26 fragmentos de caparazón de tortugas en el campo, ERNO-8591 a 8596, 8616, 8619, 8622, 8627, 8631 y 8635, y 3 se tomaron de la CPERNO, ERNO-8570, 8574 y 8576. Estos fósiles se encontraron en depósitos de planicie de inundación de la unidad 2 y 17, y en el conglomerado polimíctico de la unidad 11. Presentan ornamentación de la superficie dorsal de la placa, esta consiste en pozos de tamaño moderado, subcirculares, poco profundos y con fondo cóncavo. Esta ornamentación es característica de la familia Trionychidae, por lo que se asignan a esta familia. Al ser solo fragmentos no se puede llegar a precisar más allá de la familia. Los restos de tortugas trioníquidas son los más comunes en la Formación Corral de Enmedio.

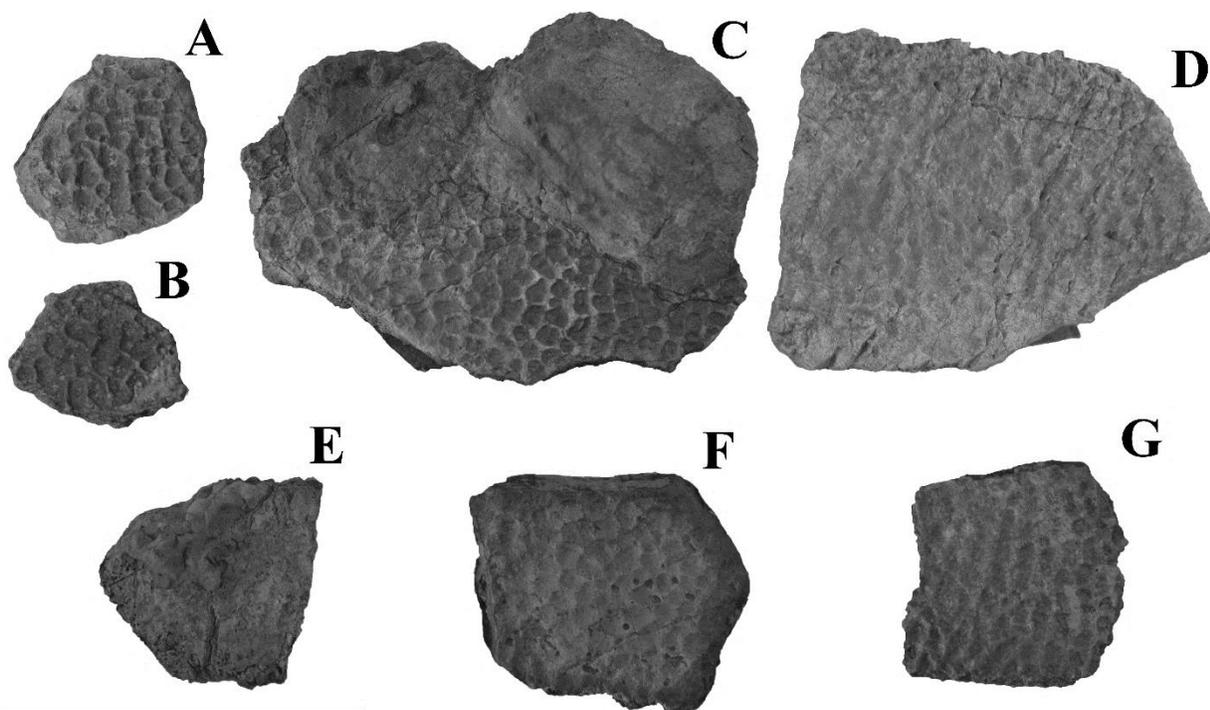


Figura 20. Fragmentos de placas pleurales en vista dorsal, con el patrón de fosas y crestas típico de la familia Trionychidae, en diferentes estados de preservación. Ejemplares (A) ERNO-8631, (B) ERNO-8619, (C) ERNO-8591, (D) ERNO-8592, (E) ERNO-8593, (F) ERNO-8594 y (G) ERNO-8595. Barra de escala mide 5 cm.

Orden TESTUDINES Batsch, 1788

Familia ADOCIDAE Cope, 1870

Género *Adocus* Cope, 1868

?*Adocus* sp.

Figura 21.

De esta familia colectaron 23 fragmentos, incluidos ERNO-8614, 8620, 8630, 8634, 8649, 8652, 8653, 8685. Estos se colectaron del conglomerado polimíctico de la unidad 11, de las unidades 12 y 13 que representan planicies de inundación, y de la arenisca de canal fluvial de la unidad 17. Un fragmento de placa pleural se tomó de la CPERNO proveniente de este mismo canal de la unidad 17 (ERNO-8566). La superficie de los fragmentos de caparazón presentan un patrón de ornamentación muy particular y delicado, de pequeñas fosas como en rejilla, de gran similitud a la ornamentación de la superficie del caparazón del género ?*Adocus*. Se encontraron fragmentos de huesos neurales, placas pleurales y marginales con este patrón característico.

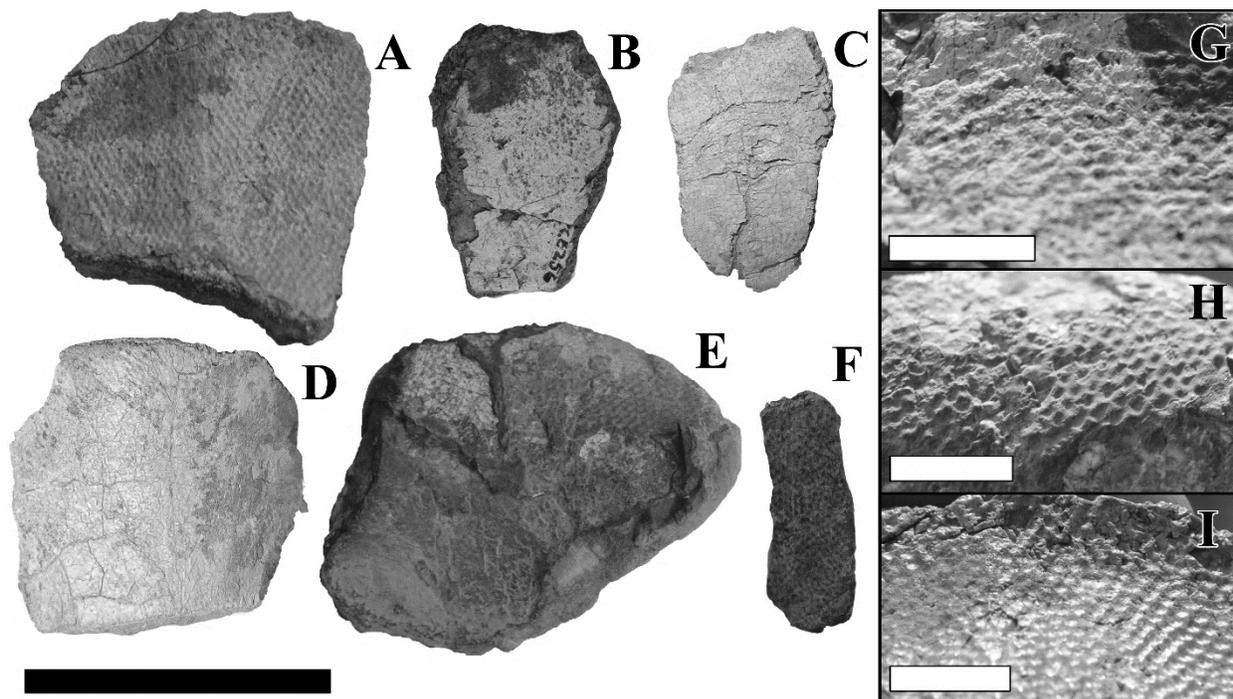


Figura 21. Fragmentos de huesos periféricos y neural de tortuga ?*Adocus* Cope, 1868, algunos como presentan el patrón bien definido, mientras que en otros el patrón está parcialmente erosionado. Ejemplares (A) ERNO-8646, (B) ERNO-8630, (C) ERNO-8566, (D) ERNO-8685, (E) ERNO-8652 y (F) ERNO-8614. Acercamiento del patrón de fosas en rejilla de (G) ERNO-8630, (H) ERNO-8652 y (I) ERNO-8649. Barra de escala mide negra 5 cm, barras blancas 1 cm.

VII.2.3. Cocodrilos

De este clado se colectaron siete restos fósiles, posiblemente de un solo organismo. Esto se asume debido a que se encontraron en proximidad entre ellos y presentan el mismo tipo de sedimento adherido, coloración y estado de preservación.

Clase REPTILIA Laurenti, 1768
Superorden CROCODYLOROMORPHA Hay, 1930
Clado EUSUCHIA Huxley, 1875

Figura 22.

De este grupo se encontraron siete restos fósiles que incluyen 5 vértebras cervicales, un fragmento de maxilar derecho y un osteodermo (ERNO-8567 a 8569, 8577, 8642, 8642 y 8665) que fueron colectados de capas que representan planicies de inundación de la unidad 12. Presenta centros procélicos y maxilar aplanado dorsoventralmente ambas características indicando que pertenecen al clado Eusuchia (Huxley, 1875). Los 7 huesos fósiles se colectaron en proximidad, por lo que es muy probable que pertenezcan al mismo organismo, posiblemente juvenil o subadulto, ya que los arcos neurales no se terminaron de fusionar con los centros de las vértebras. Al ser sólo fragmento de maxilar y vertebras aisladas no fue posible hacer una identificación más allá del clado de Eusuchia.

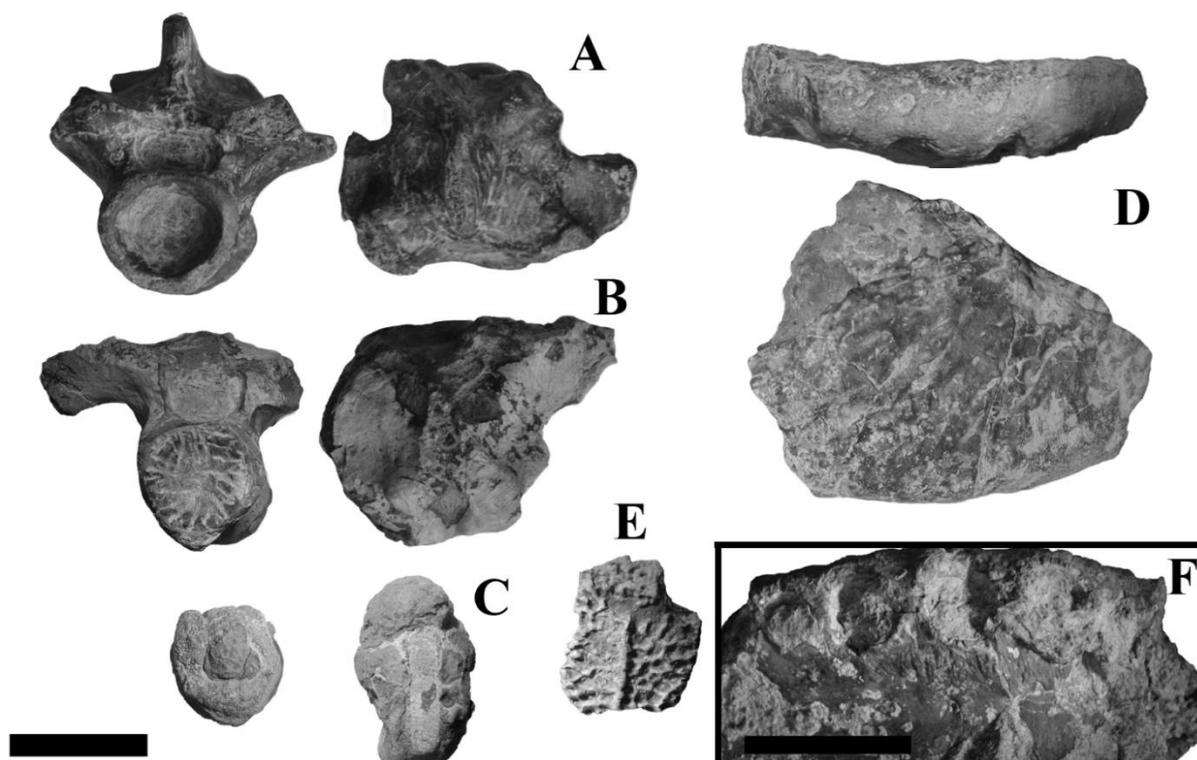


Figura 22. Ejemplares de Eusuchia, vértebras cervicales (A) ERNO-8642, (B) ERNO-8643 y (C) ERNO-8577 en vistas craneal y dorsal, (D) maxilar derecho ERNO-8569, (E) osteodermo ERNO-8565 y (F) alveolos vacíos del maxilar. Barra de escala mide 2 cm.

VII.2.4. Dinosaurios

Se identificaron cuatro familias de dinosaurios, siendo Hadrosauridae la más abundante con 19 ejemplares, seguida por Ceratopsidae con seis, Tyrannosauridae con cinco y Ornithomimidae con tres. Los restos de este grupo de organismos se encontraron en 10 estratos diferentes de la columna estratigráfica, siendo el segundo grupo mejor distribuido después de los moluscos.

Clado DINOSAURIA Owen, 1842
Orden ORNITHISCHIA Seeley, 1888
Familia CERATOPSIDAE Marsh, 1890

Figura 23.

De esta familia se colectaron 5 ejemplares en el campo, 8682, 8687 a 8689, y otro ejemplar fue tomado de la CPERNO, ERNO-8578. Este último se colectó de un depósito de planicie de la unidad 14, el resto pertenecen a un depósito de canal fluvial de la unidad 17. Los centros vertebrales colectados poseen forma circular con caras articulares planas, características de esta familia. La mitad de los ejemplares presenta un arco neural que no se fusionó, el resto presenta mucho sedimento sobre la región del canal neural que impide distinguir si se fusionaron estos huesos. Lucas et al. (1995) también reportaron una vértebra de ceratópsido de esta formación.

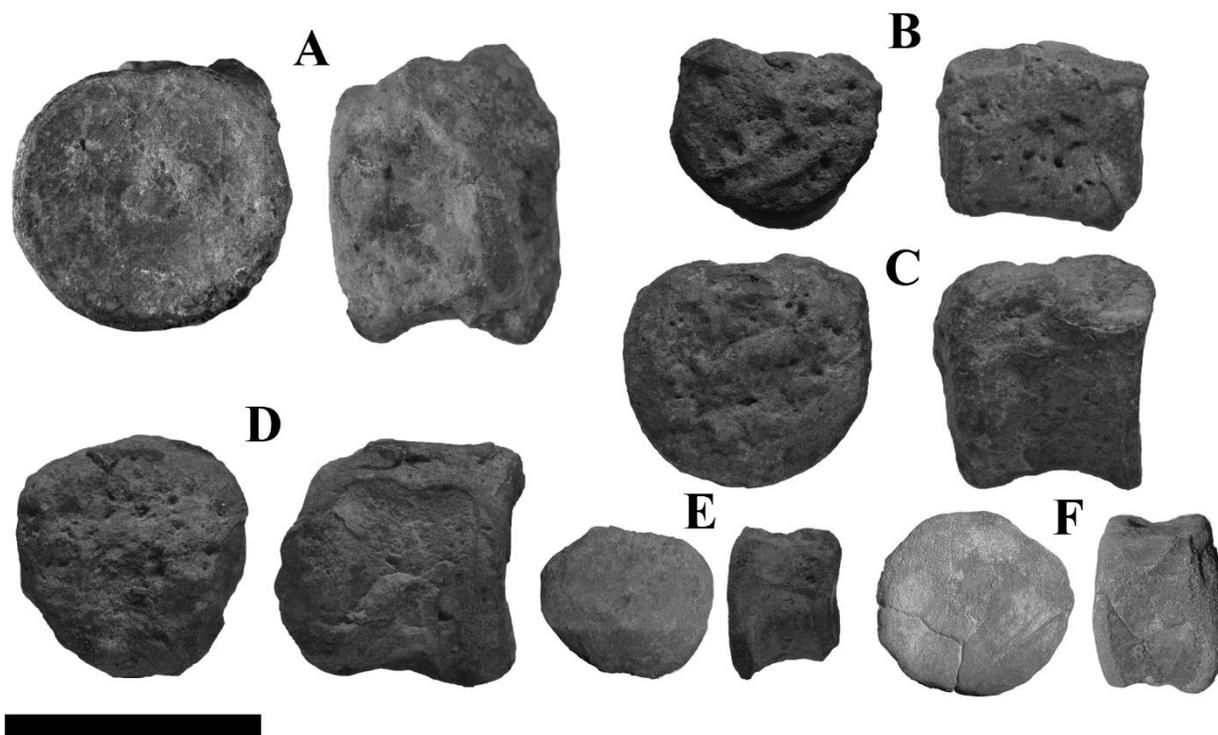


Figura 23. Vértebras de dinosaurios de la familia Ceratopsidae. Ejemplares mostrando cara articular y lateral; (A) ERNO-8686, (B) ERNO-8687, (C) ERNO-8688, (D) ERNO-8689, (E) ERNO-8578 y (F) ERNO-8682. Barra de escala mide 5 cm.

Orden ORNITHISCHIA Seeley, 1888
Familia HADROSAURIDAE Cope, 1869

Figura 24.

De esta familia se colectaron 14 ejemplares en el campo, ERNO-8615, 8626, 8632, 8644 a 8646, 8654 a 8656, 8679, 8680, 8684, 8690, 8691, y se tomaron 5 que pertenecen a la CPERNO, ERNOV-1026, 1014, ERNO-360, 8580, 8006. Estos fósiles se encontraron en depósitos de canal fluvial de las unidades 9, 16 y 17, depósitos de planicie de inundación de las unidades 12, 14, y en el conglomerado polimíctico de la unidad 11. Los restos de hadrosáuridos se encontraron en más estratos que cualquier otra familia en la Formación Corral de Enmedio. Sólo se encontró un elemento craneal de estos organismos, un diente fragmentado de 2 cm de alto (Figura 24K), con la carina medial apenas visible. Los restos más numerosos de estos organismos fueron cuerpos vertebrales (Figura 24-D, E, G y J), los cuales son acélicos, las articulares son planas, con lados laterales cóncavos, la mayoría presentan las hemapófisis desgastadas o rotas. En ERNOV-1014 estas hemapófisis, aunque desgastadas, son grandes y profundas. Los cuerpos vertebrales ERNOV-1017, ERNO-8684 y 8690 forman parte de las vértebras caudales proximales, ya que estas son notablemente más altas que largas, con las hemapófisis grandes y profundas y los lados laterales son muy cóncavos. ERNO-8626, 8679 y 8680 tienen características de vértebras caudales de la región media de la cola, estas muestran caras articulares con formas subhexagonal, son ligeramente más largas que altas y sus hemapófisis son más pequeñas en relación a las vértebras caudales proximales y sus lados laterales presentan una concavidad más suave. Las vértebras ERNO-8006, 8646 y 8654 a 8656 son vértebras caudales distales, estas son notablemente más largas que altas, sus caras articulares son hexagonales, hemapófisis apenas son visibles.

Se estudió una falange de la pata delantera, ERNOV-1026 (Figura 24F), posiblemente la primer falange de I del dígito III. Esta es plana y ligeramente más alta que ancha, con superficies articulares levemente más anchas, cóncavas y lisas.

De las extremidades traseras se tiene un fémur izquierdo casi completo de 91 cm de largo (Figura 23A) estudiado por Lucas y González-Léon (1996), la falange II del dígito III ERNO-8691 (Figura 24H) y dos metatarsianos asociados de los dígitos III y II derechos, ERNO-8644 y 8645 (Figura 24B y C). El fémur es largo y robusto, con el extremo proximal ancho con forma de silla de montar. La cabeza tiene forma subtriangular en vista craneal, con cuello corto que se proyecta en dirección dorso-medial. El trocánter mayor es más ancho que la cabeza en dirección cráneo-caudal, pero ambos tienen la misma altura. En el lateral del trocánter mayor esta una fractura que desplaza todo el extremo proximal en dirección caudo-medial. El cuerpo del fémur tiene una sección transversa en forma subrectangular con el eje mayor en

dirección medio-lateral, y las inserciones de los músculos parecen estar cubiertas de sedimento con superficie irregular. El cuarto trocánter está en la región media de la cara caudal del cuerpo, es delgado medio-lateralmente y largo próximo-distalmente, con forma subtriangular en vista lateral. La superficie articular de los cóndilos distales presenta surcos longitudinales superficiales. Estos están separados en su parte caudal por un surco profundo y en su lado craneal se unen para formar un “túnel” intercondilar. El cóndilo distal medial sobresale en dirección caudal considerablemente del resto de fémur. El cóndilo lateral se perdió cerca al cuerpo del fémur, cerca un surco profundo que recibía un tendón distal.

La falange está incompleta, pero se puede apreciar que esta era más ancha que alta con superficies articulares levemente más anchas, cóncavas, la superficie articular proximal es lisa mientras que la distal esta desgastada y presenta una superficie rugosa. El metatarsiano III, ERNO-8644, es más grande y robusto, muestra una forma triangular en sección transversal en su parte proximal, con una concavidad en su lado medial donde embona el metatarsiano II, en distal su sección transversa es subrectangular, con un surco intercondilar bien definido y con el cóndilo lateral roto en su extremo. El metatarsiano II es más corto, comprimido lateralmente y se expande en dirección plano-dorsal, presenta una forma ligeramente curva, donde el extremo distal se separa ligeramente en dirección lateral del metatarsiano III. A ambos metatarsianos les hace falta el extremo proximal.

De estos ejemplares, 10 presentan características de organismos juveniles o subadultos; como por ejemplo, vértebras caudales que presentan un arco neural no fusionado y el mismo hueso con tamaños diferentes, representando organismos de diferentes edades, como en el caso de ERNO-8580 que es un extremo distal de un pequeño metatarsiano derecho del dígito III; 3 cm de ancho mayor y 2.2 de ancho menor: comparándolo con el mismo hueso ERNO-8644; 5.8 y 4.3 cm respectivamente (Figuras 23C e I).

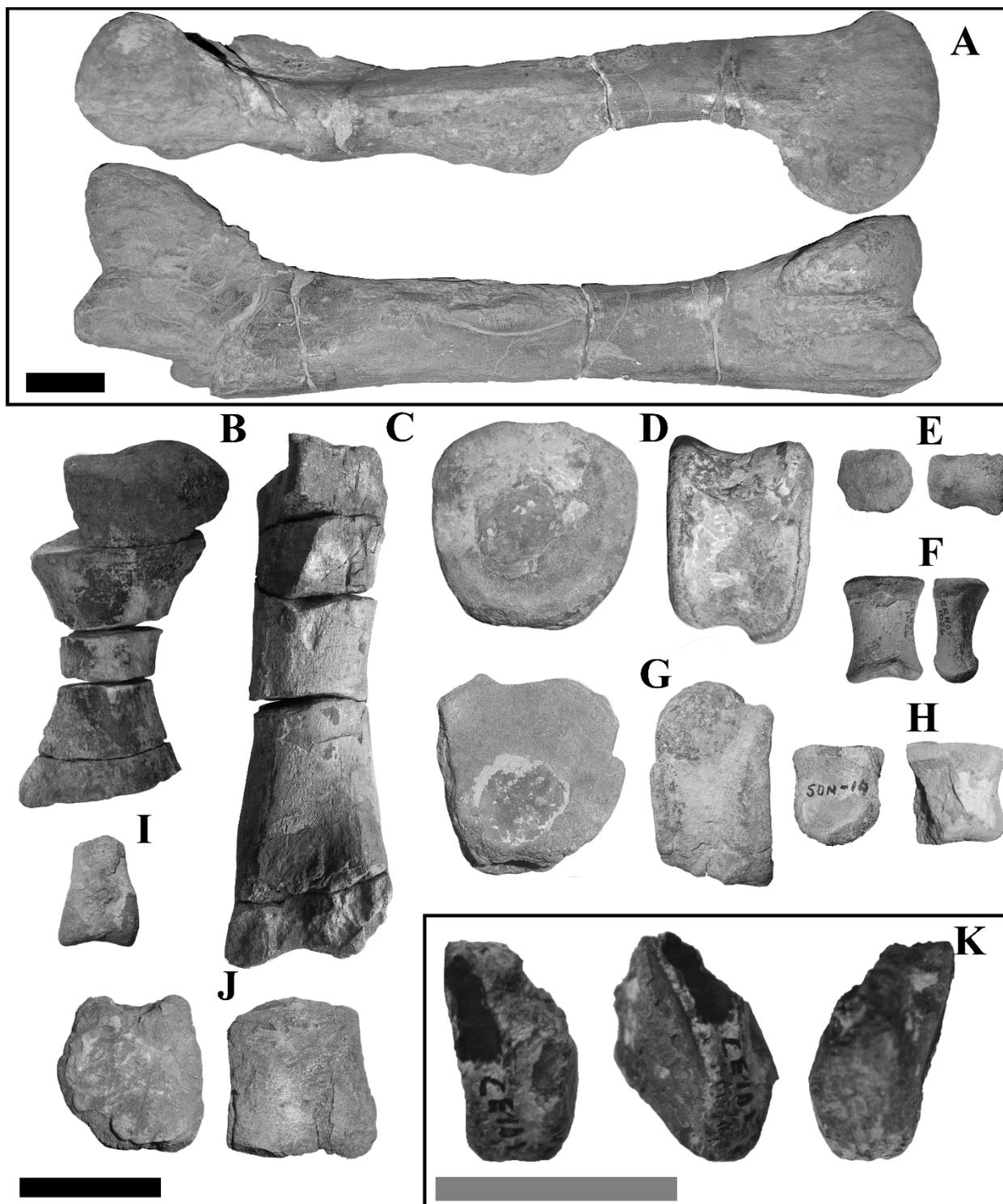


Figura 24. Varios ejemplares asignados a la familia Hadrosauridae; (A) fémur izquierdo ERNO-360 en vista medial (arriba) y caudal (abajo), (B) metatarsiano II ERNO-8645, (C) metatarsiano III ERNO-8644, (D) vértebra caudal ERNO-8690, (E) vértebra caudal ERNO-8655, (F) falange I posiblemente del dígito III ERNOV-1026, (G) vértebra caudal ERNO-8684, (H) falange II del dígito III ERNO-8691, (I) metatarsiano III ERNO-8580, (J) vértebra caudal ERNO-8679 y (K) corona incompleta de un diente ERNO-8615 en vistas antero-posterior (izquierda) y laterales (centro y derecha). Barra negra de escala mide 5 cm, barra gris mide 2 cm.

Clado DINOSAURIA Owen, 1842
Orden SAURISCHIA Seeley, 1888
Suborden THEROPODA Marsh, 1881
Familia ORNITHOMIMIDAE Marsh, 1890

Figura 25.

De esta familia se colectó un solo el ejemplar ERNO-8683, que se colectó de un depósito de canal fluvial de la unidad 17, en el campo y dos se tomaron de la CPERNO, ERNO-8004 y ERNO-8661, que se colectaron de un depósito de planicie de inundación de la unidad 16. ERNO-8683 corresponde a un extremo proximal de una fíbula derecha (Figura 25-A) y ERNO-8004 y ERNO-8661 son centros de vértebras caudales, (Figura 25B y C). Las vértebras están alargadas cráneocaudalmente y cuentan con las características proyecciones laterales de forma subtriangular de la familia. El extremo de la fíbula presenta una concavidad en su lado medial donde estaría unido a la tibia, su cara proximal es cóncava y con forma de D y se estrecha rápidamente hacia la parte distal. Éste ejemplar se clasifico tentativamente como Ornithomimidae ya que es un hueso incompleto.

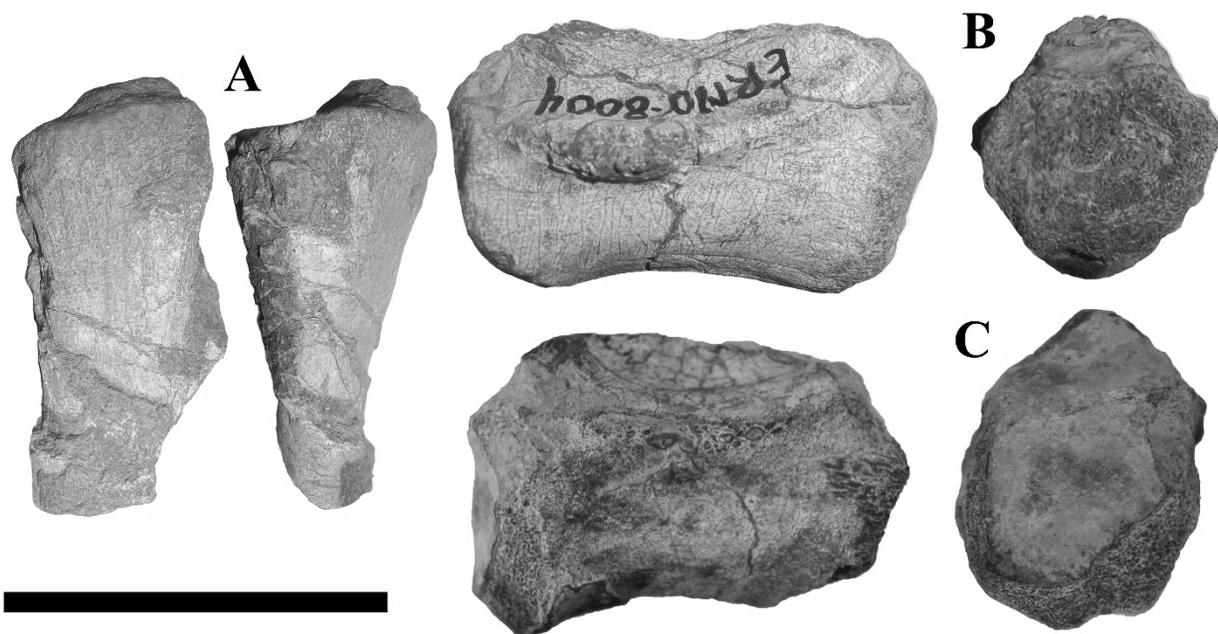


Figura 25. Ejemplares de la familia Ornithomimidae. Extremo proximal de una fíbula, posiblemente de ornitómido (A) ERNO-8683, (B) vértebras caudales ERNO-8004 y (C) ERNO-8661. Barra de escala mide 5cm.

Orden SAURISCHIA Seeley, 1888
Suborden THEROPODA Marsh, 1881
Familia TYRANNOSAURIDAE Osborn, 1906

Figura 26.

De esta familia se colectaron los dientes ERNO-8581 y ERNO-8625, del conglomerado polimíctico de la unidad 11, y otros dos ejemplares se tomaron de la CPERNO (ERNO-8027 y ERNO-8564), ambos colectados de un depósito de planicie de la unidad 14. Los ejemplares ERNO-8027 y ERNO-8581, están muy completos y fueron reportados por Serrano-Brañas et al. (2017). De acuerdo a la descripción de Serrano-Brañas et al. (2017), éstos poseen dentículos redondeados y cuentan con surcos interdenticulares, como es característico en los tiranosaurios. El perfil de la corona en vista rostral-caudal se flexiona muy poco como para ser de alosáurido o abelisáurido. La falta de una curvatura marcada en el borde rostral sugiere que no pertenece a los dromeosáuridos. ERNO-8027 presenta en su base caudal 15 dentículos por cada 5 mm y disminuye a 10 y 9 dentículos conforme llega al ápice. ERNO-8581 cuenta con 16 dentículos en su base y disminuye a 11 dentículos por cada 5 mm hasta el ápice. ERNO-8564 presenta 14 dentículos por cada 5 mm en su base y permanece constante a lo largo del borde incompleto del diente. ERNO-8625 no presenta estos dentículos ya que sólo se ha preservado la base de la corona.

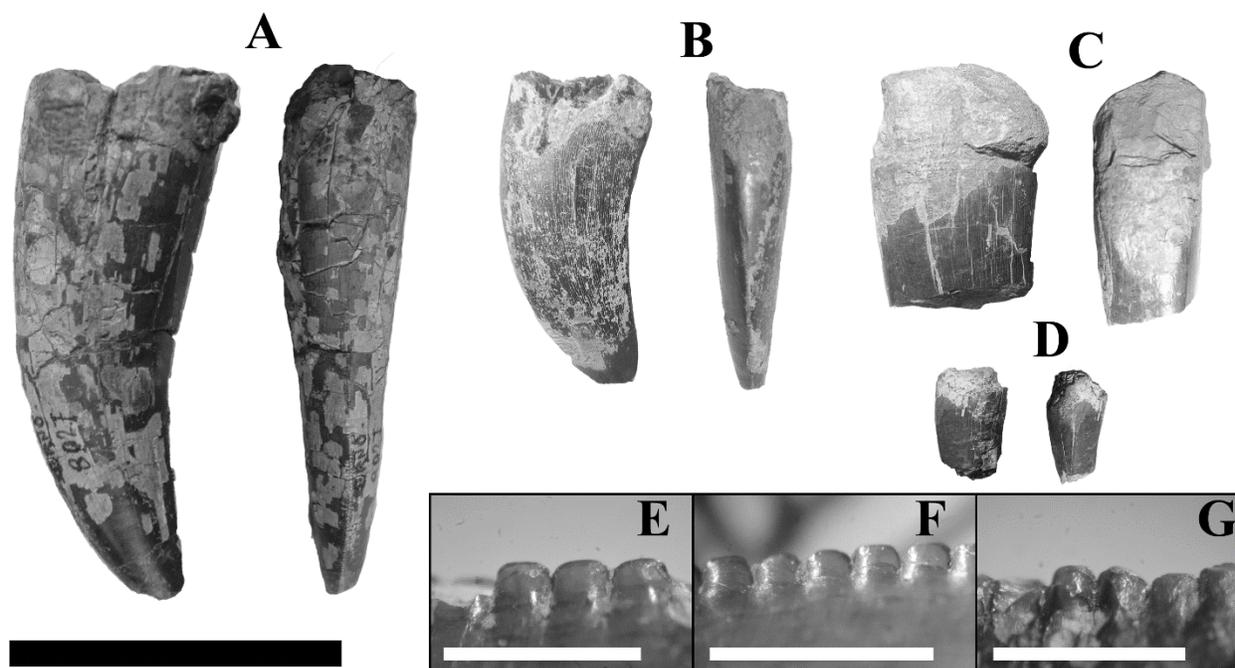


Figura 26. Ejemplares de la familia Tyrannosauridae (A) ERNO-8027, (B) ERNO-8581, (C) ERNO-8625 y (D) ERNO-8564; acercamiento de los dentículos de (E) ERNO-8027, (F) ERNO-8581 y (G) ERNO-8564. Barra de escala mide 5 cm, barra de escala blanca mide 2 mm.

VII.3. Microfósiles

Aparte de los microfósiles y las carofitas encontradas en secciones delgadas realizadas a las calizas de la unidad 11, y que están ilustradas en la Figura 9, también se observaron moldes de carofitas y carofitas parcialmente disueltas (Figura 27A-C) sobre una delgada capa de arenisca de grano fino adherida al hueso pleural ERNO-8591. Igualmente se colectó un fragmento de tapete algal (ERNO-8647) proveniente de un depósito de planicie de inundación de la unidad 12 (Figura 27D y E).

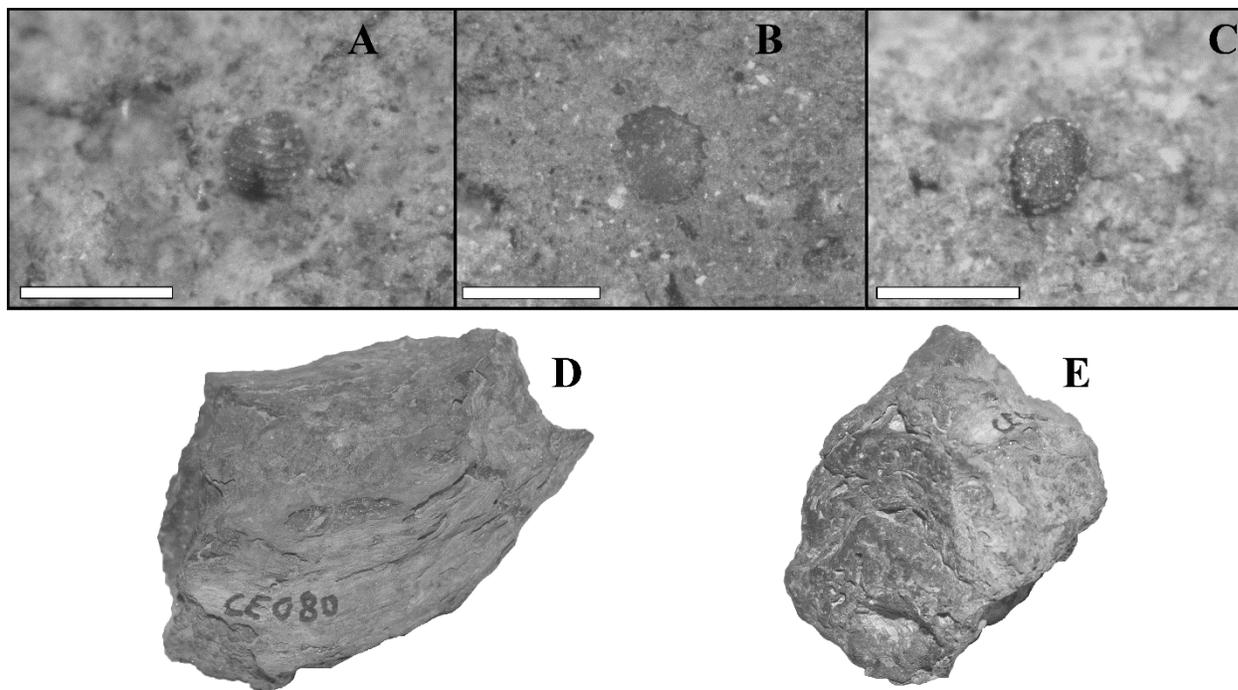


Figura 27. Restos de plantas. (A-C) Carofitas (ERNO-8591) adheridas a la arenisca y (D y E) fragmento tapetes algales (ERNO-8647). Barra blanca de escala mide 500 μ m, barra negra mide 5 cm.

VIII. TAFONOMÍA

La Tafonomía es una subdisciplina de la Paleontología, pero su objeto de estudio es mucho más amplio al tratar de entender las formas en que es afectada la conservación del registro fósil. Esta se ocupa del estudio de las modificaciones que sufren los restos de los organismos desde que mueren hasta cuando son acumulados, enterrados y fosilizados, así como los que ocurren durante su posterior desenterramiento y consecuente exposición a procesos geológicos en la superficie terrestre (Efremov, 1940). Esta rama de la paleontología se propone explicar cómo ha sido producido y qué modificaciones ha experimentado en sus diversas etapas el registro fósil. De esta forma se refiere a cómo los restos orgánicos se incorporan en el registro sedimentario y el destino que estos materiales tienen después de su enterramiento. Originalmente, el estudio tafonómico fue descrito por Efremov (1940) como "El estudio de la transición de los restos orgánicos de la biósfera a la litósfera" y se ha hecho énfasis en el reconocimiento de que los conjuntos fósiles son registros parciales de la vida antigua (Lawrence, 1968).

Una de las contribuciones de la tafonomía, a la paleontología, es el análisis comparativo aplicado de los diferentes grupos taxonómicos dentro de los conjuntos faunísticos y a través de los hábitats, ambientes tectónicos y regímenes climáticos. Su enfoque contribuye a una mejor comprensión de los registros fósiles al considerarlos como el resultado de un sistema dinámico, en evolución, integrado a procesos biológicos y sedimentológicos. Sin embargo, los resultados de la información tafonómica también presentan sesgos en la información, ya que, la concentración de restos de animales depende de varios factores, tales como el número de especies, la abundancia, la rapidez con que murieron, o el tiempo en el que los restos se acumularon en un lugar dado. Debido a esto, las poblaciones de especies más abundantes serán siempre las más representadas en el registro fósil, dejando a un lado, como ejemplares raros, a las especies menos abundantes (Olson, 1952; Johnson, 1957; Lawrence, 1968; Clark et al., 1967; Voorhies, 1969; Damuth, 1982; Retallack, 1988; entre otros). Debido a estos factores, la mayoría de los yacimientos fósiles reflejan una composición faunística muy limitada que no representa la lista completa de especie que vivieron en el ambiente preservado (Shotwell, 1955). Esta situación impide hacer una reconstrucción paleoecológica detallada de muchos paleoambientes preservados en el registro sedimentario (Johnson, 1960).

En el presente capítulo se propone interpretar tafonómicamente el material fosilífero colectado en la Formación Corral de Enmedio, del Grupo Cabullona. Esta unidad es la más fosilífera de dicho grupo, a pesar de tener un espesor pequeño comparado con el espesor de las demás formaciones. Como ya se ha mencionado antes, de esta unidad se han colectado y reportado restos de una fauna diversa, que al

parecer también fue abundante y la cual no han sido estudiada en su aspecto tafonómico (Lucas et al., 1995; Salgado-Murrieta, 2003). El material fósil aquí estudiado incluye el que fue colectado durante los trabajos de campo de esta investigación, el cual consiste en una colección importante de especímenes diversos, vertebrados e invertebrados, así como algunos restos fósiles que se encuentran depositados en la CPERNO que fueron colectados anteriormente por otros investigadores.

A continuación, se hace una descripción tafonómica de dicho material de acuerdo con su posición estratigráfica, de la base al techo de la columna estudiada. Dichos fósiles presentan varios niveles de conservación, desgaste e intemperismo, tanto previo como posterior al enterramiento.

VIII.1. Ejemplares por unidad

Los fósiles aquí reportados fueron colectados de 25 estratos pertenecientes a 10 de las 18 unidades litológicas en que se ha dividido a la Formación Corral de Enmedio (Figura 28). El listado de los fósiles, unidad litológica donde fue colectado, ambiente y taxonomía se encuentran en las Tablas 4 y 5.

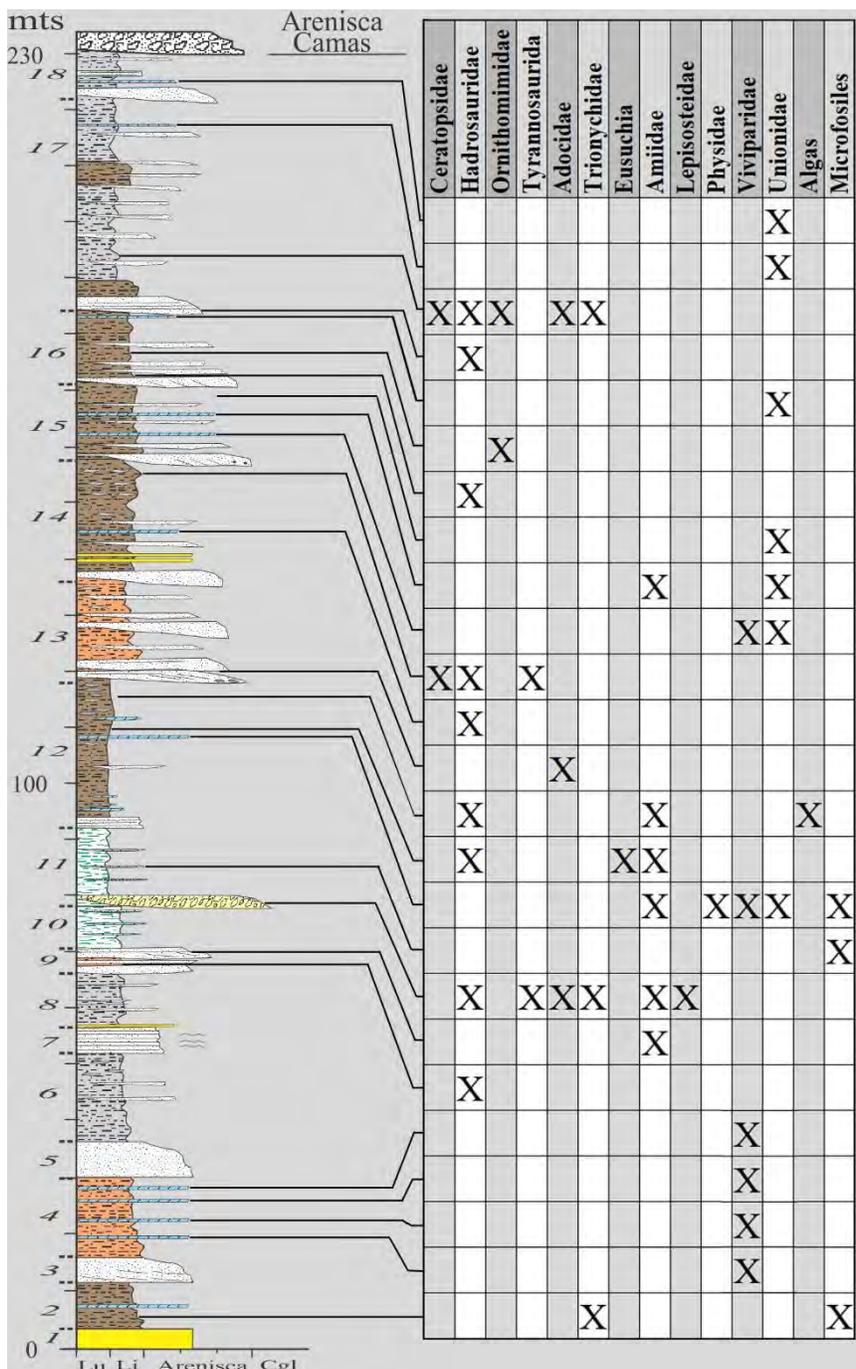


Figura 28. Posición estratigráfica de los fósiles colectados, identificando la familia a la que pertenecen los ejemplares.

CPERNO#	Unidad	Ambiente	Orden	Familia	Género y Especie
8591	2	Planicie	Testudines	Trionychidae	/
8592			Testudines	Trionychidae	/
8593			Testudines	Trionychidae	/
8594			Testudines	Trionychidae	/
8595			Testudines	Trionychidae	/
8596			Testudines	Trionychidae	/

8597	4	Lago	Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8598			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8599			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8600			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8601			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8602			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8603			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8604			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>
8605	Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus sp.</i>		

360*	9	Canal	Ornithischia	Hadrosauridae	/
8606			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>
8607			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>
8608			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>
8610			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>

8581	11	Canal	Saurischia	Tyrannosauridae	/
8613			Fragmento de hueso apendicular no identificado		
8614			Testudines	Adocidae	<i>?Adocus sp.</i>
8615			Ornithischia	Hadrosauridae	/
8616			Testudines	Trionychidae	/
8617			Saurischia	Tyrannosauridae	/
8618			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>
8619			Testudines	Trionychidae	/
8620			Testudines	Adocidae	<i>?Adocus sp.</i>
8621			Lepisosteiformes	Lepisosteidae	/
8622			Testudines	Trionychidae	/
8623			Lepisosteiformes	Lepisosteidae	/
8624			Lepisosteiformes	Lepisosteidae	/
8625			Saurischia	Tyrannosauridae	/
8626			Ornithischia	Hadrosauridae	/
8627			Testudines	Trionychidae	/

CPERNO#	Unidad	Ambiente	Orden	Familia	Género y Especie		
8628	11	Canal	Lepisosteiformes	Lepisosteidae	/		
8629			Testudines	/	/		
8630			Testudines	Adocidae	<i>?Adocus sp.</i>		
8631			Testudines	Trionychidae	/		
8632			Ornithischia	Hadrosauridae	/		
8633			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>		
8634			Testudines	Adocidae	<i>?Adocus sp.</i>		
8635			Testudines	Trionychidae	/		
8636						Vertebrados	

8609	12	Lago	Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>	
8611			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>	
8612			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>	
8637			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>	
8638			/	Unionidae /Viviparidae	<i>P. sonoraensis/ V. australis</i>	
8639			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus australis</i>	
8640			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>	
8641			/	Physidae	<i>Mesolanistes reesidei</i>	
V-1020*			Planicie	Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>
V-1021*				Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>
V-1022*		Amiiformes		Amiidae	<i>Melvius sp.</i>	
V-1023*		Amiiformes		Amiidae	<i>Melvius sp.</i>	
V-1026*		Ornithischia		Hadrosauridae	/	
V-1027*		Fragmento de hueso apendicular no identificado				
8642*		Eusuchia		Eusuchia	/	
8643*		Eusuchia		Eusuchia	/	
8565*		Eusuchia		Eusuchia	/	
8567*		Eusuchia		Eusuchia	/	
8568*		Eusuchia	Eusuchia	/		
8569*		Eusuchia	Eusuchia	/		
8577*	Eusuchia	Eusuchia	/			
8644	Ornithischia	Hadrosauridae	/			
8645	Ornithischia	Hadrosauridae	/			
8646	Ornithischia	Hadrosauridae	/			
8647	Tapete algal					
8648	Amiiformes	Amiidae	/			
8649	Testudines	Adocidae	<i>?Adocus sp.</i>			
8650	Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>			
8651	Testudines	/	/			

CPERNO#	Unidad	Ambiente	Orden	Familia	Género y Especie
8652	13	Planicie	Testudines	Adocidae	? <i>Adocus sp.</i>
8653			Testudines	Adocidae	? <i>Adocus sp.</i>

8654	14	Lago	Ornithischia	Hadrosauridae	/
8655		Planicie	Ornithischia	Hadrosauridae	/
8656			Ornithischia	Hadrosauridae	/
8027*			Saurischia	Tyrannosauridae	/
8564*			Saurischia	Tyrannosauridae	/
8578*			Ornithischia	Ceratopsidae	/

8657	15	Lago	Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus australis</i>
8658			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus australis</i>
8659			Mesogastropoda	Viviparidae	<i>Viviparus australis</i>
8660			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8661			Unionoida	Unionidae	<i>P. sonoraensis</i>
8662			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8663			Amiiformes	Amiidae	<i>Melvius sp.</i>
8664			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8665			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8666			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8667			Unionoida	Unionidae	<i>P. sonoraensis</i>
8668			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8669			Unionoida	Unionidae	<i>P. sonoraensis</i>
8670			Unionoida	Unionidae	<i>P. sonoraensis</i>
8671			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8672			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8673			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8674			Unionoida	Unionidae	<i>P. sonoraensis</i>
8675			Unionoida	Unionidae	<i>P. sonoraensis</i>

CPERNO#	Unidad	Ambiente	Orden	Familia	Género y Especie
8676	15	Lago	Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8677			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
8678			Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>

8679	16	Canal	Ornithischia	Hadrosauridae	/
8680			Ornithischia	Hadrosauridae	/
8681		Planicie	Saurischia	Ornithomimidae	/
8004*			Saurischia	Ornithomimidae	/
N/C		Lago	Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>

8684	17	Canal	Ornithischia	Hadrosauridae	/	
8685			Testudines	Adocidae	? <i>Adocus sp.</i>	
8686			Ornithischia	Ceratopsidae	/	
8687			Ornithischia	Ceratopsidae	/	
8688			Ornithischia	Ceratopsidae	/	
8689			Ornithischia	Ceratopsidae	/	
8690			Ornithischia	Hadrosauridae	/	
1014*			Ornithischia	Hadrosauridae	/	
8580*			Ornithischia	Hadrosauridae	/	
8682			Ornithischia	Ceratopsidae	/	
8683			Ornithischia	Ornithomimidae	/	
8691			Ornithischia	Hadrosauridae	/	
8006*			Ornithischia	Hadrosauridae	/	
8566*			Testudines	Adocidae	? <i>Adocus sp.</i>	
8574*			Testudines	Trionychidae	/	
N/C			Lago	Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>

N/C	18	Lago	Unionoida	Unionidae	<i>Plesielliptio sp.</i>
-----	----	------	-----------	-----------	--------------------------

Tabla 4. Lista de fósiles estudiados. Se indica la unidad estratigráfica de donde fueron colectados, su número de colección, número de piezas y su identificación taxonómica. *Ejemplares tomados de la CPERNO. N/C: Bivalvos dentro de las calizas que por su fragilidad no fueron colectados.

CPERNO#	Unidad	Ambiente	Orden	Familia	Género y Especie
8570*	Sin Unidad	/	Testudines	Trionychidae	/
8573*		/	/	? Amiidae	/
8576*		/	Testudines	Trionychidae	/

Tabla 5. Fósiles de la Formación Corral de Enmedio identificados taxonómicamente, sin información precisa de su posición estratigráfica. *Ejemplares tomados de la CPERNO.

VIII.1.1.Unidad 2

En las limolitas rojizas cercanas a la base de esta unidad se colectaron 6 fragmentos de placas pleurales de tortugas de la Familia Trionychidae (ERNO-8591 a 8596), ninguno asociado entre sí (Figura 29). El ambiente de depósito de este estrato se considera de planicie aluvial. Las placas se encontraron aisladas en superficie y se considera que provienen de ella debido a que el material que tienen adherido es del mismo color y composición que las limolitas. Representan material fragmentario pero asignable a la Familia Trionychidae (Figura 29A). Los ejemplares pertenecen al GV I, están entre los grados 1 y 2 de abrasión y entre las etapas de intemperismo 1 y 2, con excepción de ERNO-8594 que presenta indicios de grado 3 de abrasión e indicios de etapa 3 de intemperismo. Pequeños parches de sedimento rojizo cubren las caras ventrales y/o dorsales y a los márgenes fracturados. Dos de estos huesos presentan icnofósiles que se interpreta fueron producidos antes del enterramiento: ERNO-8591 presenta una madriguera en una capa de sedimento fino que cubre al hueso sobre el lado ventral, es de 9 mm de ancho, tiene superficie lisa y se asigna a *Ancorichnus* Heinburg, 1974 (Figura 29B). Este fósil también tiene especímenes de carofita adheridos en sedimentos de su cara dorsal (Figura 26, Capítulo VII, pág. 41). ERNO-8594 presenta en su cara ventral pequeñas marcas superficiales circulares a ovaladas, menores a 1mm de diámetro. Durante el postenterramiento, las superficies de estos huesos estuvieron expuestas a la intemperie sufrieron decoloración (Figura 29C, D) que contrasta con la coloración más oscura de las superficies no expuestas. Estos fósiles se clasificaron elementos resedimentados por su grado medio de abrasión e intemperismo, que sugiere que los huesos permanecieron en la superficie, donde fueron disgregados antes de ser enterrados.

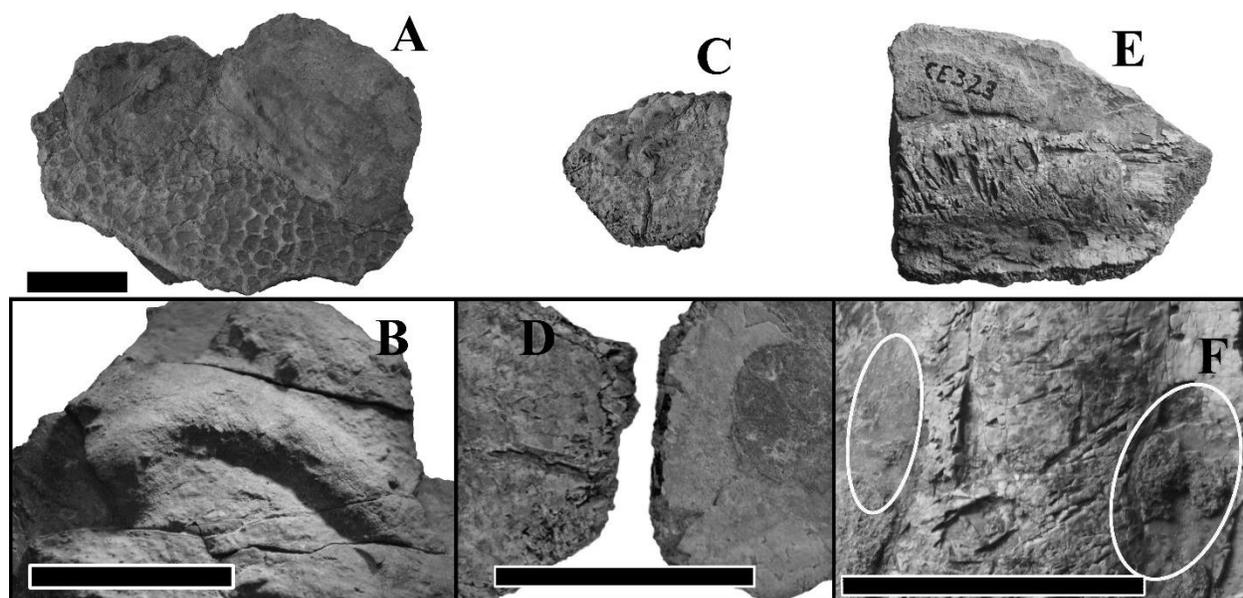


Figura 29. Huesos pleurales de tortuga de la familia Trionychidae de la unidad 2: (A) ERNO-8591, con (B) *Ancorichnus* Heinberg, 1974, en su lado ventral; (C) ERNO-8593 con diferencias de desgaste (D) vista de la superficie dorsal y ventral; (E) ERNO-8594 con (F) superficie del hueso agrietada y fracturada en el centro de la imagen y superficie no fue afectada (óvalos blancos). Barra de escala mide negra 2 cm.

VIII.1.2.Unidad 4

En las capas delgadas de calizas arcillosas que están intercaladas entre limolitas y lodolitas de la Unidad 4, se colectaron 28 ejemplares de gasterópodos, asignados preliminarmente a *?Viviparus* sp. Los ambientes de depósito de estos estratos se consideran de lagos. Todos los ejemplares se encontraban desprendidos del estrato, pero a menos de un metro de estas calizas. Estos fósiles presentan abrasión de grado 2 a 3, disolución en las etapas 2 a 3 y algunos presentan grados de deformación de 1 a 3 (Figura 30). Debido a estas condiciones de preservación fue que se asignaron preliminarmente al género *?Viviparus* sp. El material de relleno de estas conchas es carbonato de calcio proveniente de la matriz de las capas de caliza en las cuales se encuentran. Estos fósiles fueron clasificados como elementos resedimentados y no como acumulación, ya que algunos ejemplares tienen pequeños restos de otros gasterópodos en su interior, sugiriendo que fueron removidos por una corriente de poca energía que los depositó en el estrato de donde fueron colectados.

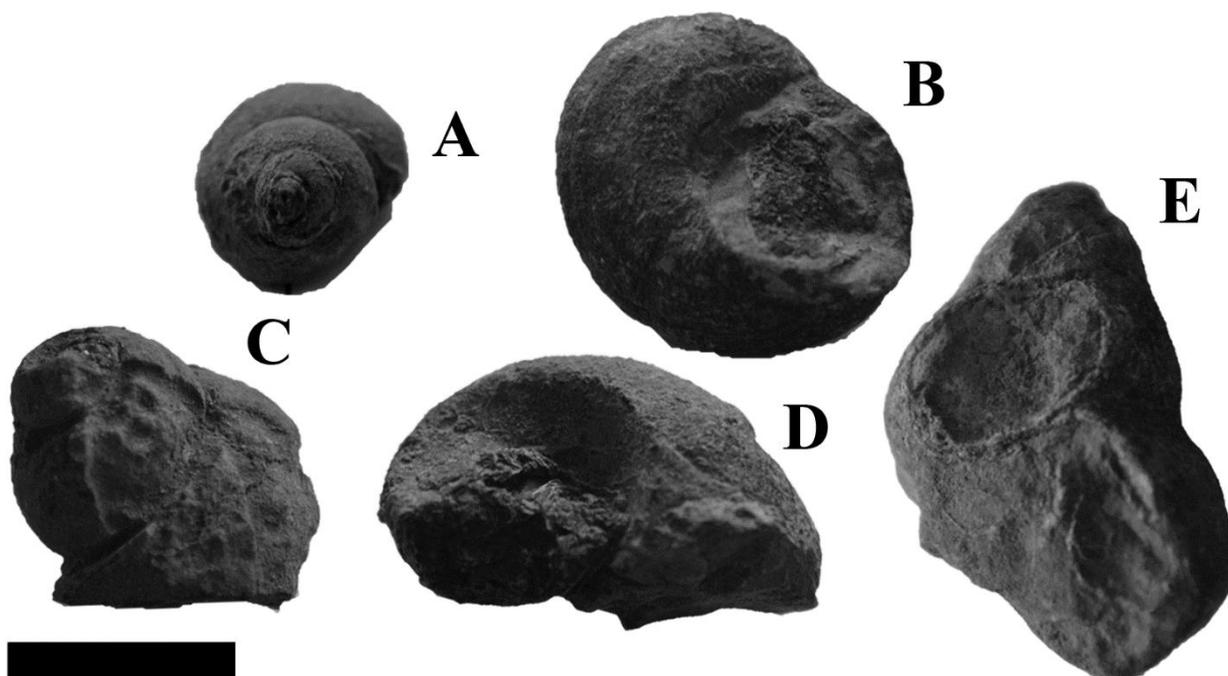


Figura 30. Ejemplares asignados a *?Viviparus* sp. de la unidad 4: (A) ERNO-8604 con molde interno casi completo, (B) ERNO-8601 gasterópodo con restos de concha en su apertura, (C) ERNO-8602 y (E) ERNO-8599 con concha rota y molde interno parcialmente disuelto, (D) ERNO-8597 fragmento de molde interno. Barra de escala mide 2 cm.

VIII.1.3.Unidad 9

La unidad 9 está compuesta por capas de arenisca de grano grueso con estratificación cruzada que gradúa hacia su cima a areniscas de grano fino y estas a su vez pasan a limolitas. Se interpretan como un depósito de relleno de canal fluvial, de poca profundidad. Dentro de las limolitas se encontró semicubierto un fémur de Hadrosauridae casi completo, ERNO-360 (Figura 23A). Este ejemplar se encontró con el lado craneal expuesto mostrando un color amarillento (Figura 31A) por su exposición al intemperismo, mientras que su cara caudal que permanecía enterrada es de color gris oscuro (Figura 31B). Al ejemplar sólo le faltan 3 mm de la capa superficial compacta del hueso en el cuarto trocánter (Figura 31G). Este pertenece al GV II, abrasión de grado 1, el lado craneal se encuentra en la etapa 2 de intemperismo mientras que el lado caudal presenta signos de la etapa 1 (Figura 31B y E); esto se expresa por un desgaste heterogéneo de sus capas más superficiales al igual que también ocurre en el área del cuarto trocánter. También presenta fracturas diagenéticas en la cabeza y el cuerpo del fémur (Figura 31C y F). En la cara caudal se encontraron dos pequeñas regiones que parece presentar marcas de dientes, cerca del cóndilo medial (Figura 31D y G). Este fémur al encontrarse en un canal fluvial, este debió ser arrastrado por las corrientes del mismo canal y se clasificó como resedimentado.

En el ciclo superior de areniscas rojizas granodecrecientes de esta unidad, también interpretado como canal fluvial, se colectaron 4 vértebras de *Melivius* sp., ERNO-8606, 8607, 8608 y 8610, que pertenecen al GV I. Las vértebras ERNO-8606, 8607 y 8610 presentan grado de abrasión 1 con indicios de grado 2, mientras que ERNO-8608 se encuentra en el grado 3. Las vértebras se encuentran entre las etapas de intemperismo 2 con indicios de etapa 3. Cuentan con la superficie fibrosa en las regiones expuestas. También presentan parches de caliza o arenisca en las caras articulares del cuerpo vertebral, lindante a los márgenes de estos parches se observa que el hueso aún tiene una delgada capa exterior que cubre la superficie fibrosa (Figura 32A, B y C). Debido al grado medio de abrasión e intemperismo, y a la presencia de parches de caliza se clasificaron como elementos reelaborados.

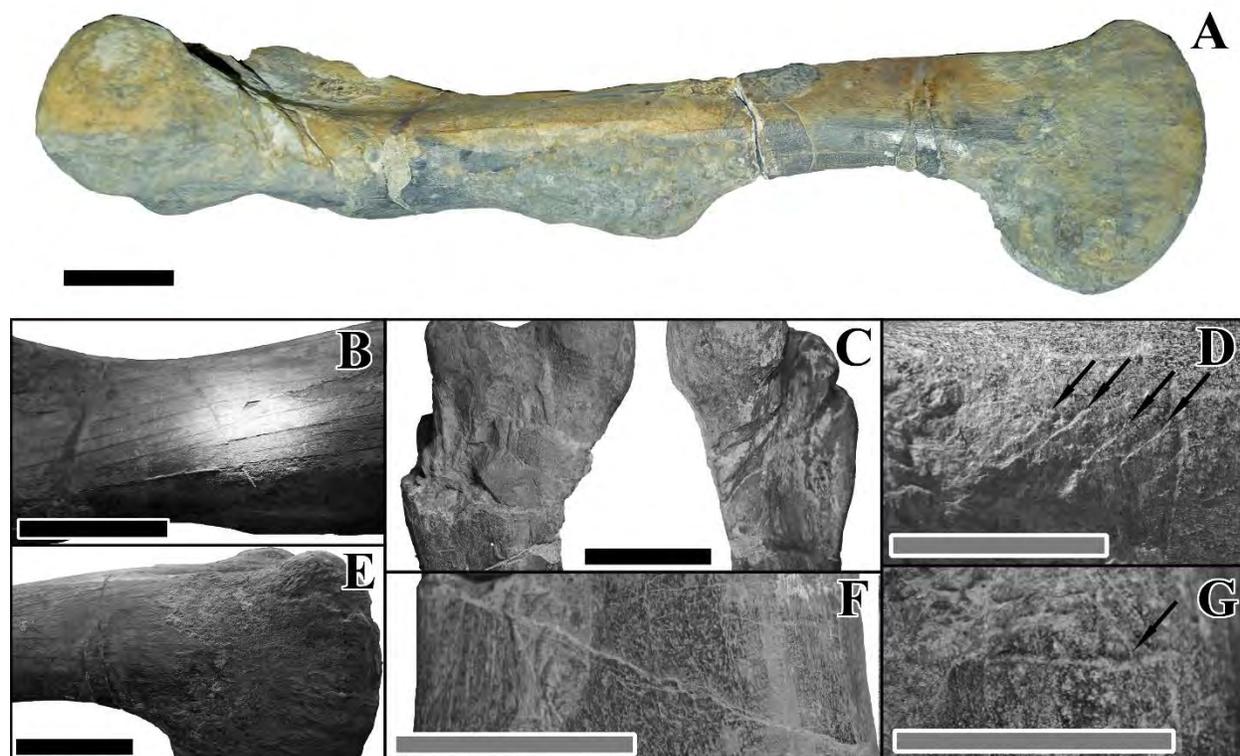


Figura 31. (A) Fémur izquierdo de hadrosáurido (ERNO-360) de la unidad 9. Presenta un color amarillento en el lado proximal y grisáceo en el lado distal; (B) grietas de intemperismo en el cuerpo del fémur; (C) fractura diagenética en la cabeza del fémur; (D) posibles marcas de mordidas (flechas); (E) hueso redondeado en superficie de los cóndilos; (F) fractura diagenética en el cuerpo del fémur; (G) marca de roedura cerca del extremo distal. Barra de escala mide 10 cm, barra gris 4 cm.

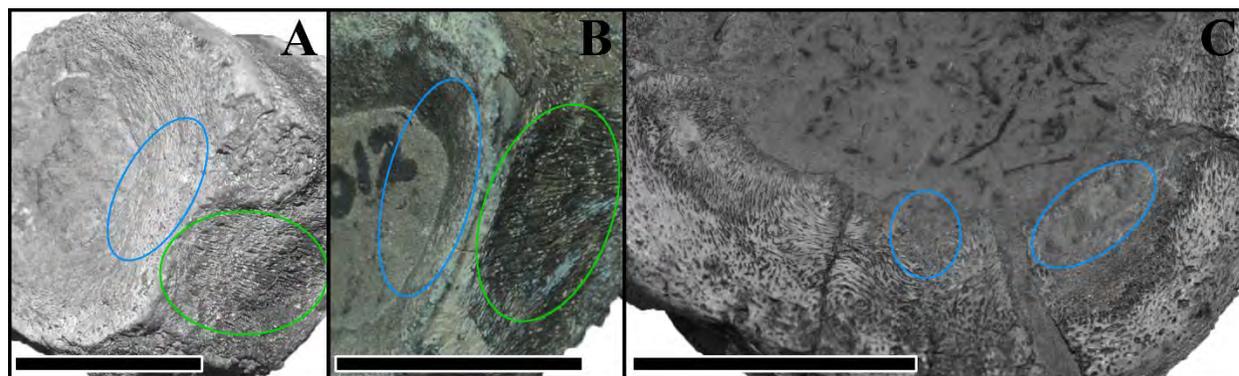


Figura 32. Ejemplares colectados en la parte superior de la Unidad 9. Vértabras de *Melvius* sp. (A) ERNO-8606, (B) ERNO-8610 y (C) ERNO-8608 con superficie del hueso bien conservada (óvalos azules) en márgenes de sedimento duro, rodeadas de superficie desgastada (óvalo verde). Barra de escala mide 1 cm.

VIII.1.4.Unidad 11

El conglomerado polimíctico de 3.5 m de espesor que se localiza en la parte inferior de esta unidad, resultó ser el nivel más fosilífero de la formación, en cuanto a diversidad y abundancia. Este se interpreta como un canal fluvial relleno por un derrumbe catastrófico. De este conglomerado, que se considera una “*bone bed*” en pequeña escala, o un “micrositio”, se obtuvieron 150 ejemplares que son más de la mitad de los fósiles colectados en este trabajo. De ellos se identificaron taxonómicamente 54 fragmentos pertenecientes a 6 de las 11 familias encontradas en la Formación Corral de Enmedio: Amiidae, Lepisosteidae, Adocidae, Trionychidae, Hadrosauridae y Tyrannosauridae. Con excepción de las escamas de lepisostéidos y el diente ERNO-8581 de tiranosáurido, no se encontró ningún otro resto completo, ni ejemplar articulado, por lo que la mayor parte de los restos fósiles encontrados en este conglomerado corresponde a material fragmentario y desarticulado. En este estrato se identificaron elementos de todos los GV; 47 se asignan al GV I, 3 al GV II y 4 al GV III. Los fósiles presentan grados de abrasión de 1 al 3; 16 tienen grado 1, 20 al grado 2 y 18 al grado 3 (los 96 ejemplares no identificados se colocaron en el grado 3). Sin embargo, varios ejemplares presentan mejor conservación en la cara que actualmente estuvo enterrada (Figura 33A-D), mientras que la cara expuesta al medio actual muestra diferencias de color, desgaste y textura, lo cual se atribuye a intemperismo después de haber sido desenterrados. Entre estos restos se encontraron también, las 4 etapas de intemperismo; 5 se asignan a la etapa 0, 23 a la etapa 1, 25 a la etapa 2 y uno a la etapa 3 (de los restos no identificados 40 se clasificaron como etapa 2 y 56 en etapa 3. Estos restos presentan diversos grados de conservación, desde un diente de Tyrannosauridae muy bien conservado (Figura 33H), hasta restos que solo son fragmentos de hueso esponjoso (Figuras 32I-J). Sólo a tres fragmentos se les identificó algún tipo de fractura, estos son ERNO-8625, 8630 y 8632; todas estas fracturas son diagenéticas. También presentan una gran variedad de tamaños, desde escamas ganoideas de 7 mm de largo (Figura 33E) hasta el extremo distal de un fémur de Hadrosauridae de 25 cm de largo (Figura 33F). Las escamas ganoideas al igual que los fragmentos de tortugas ocurren tanto dentro de los intraclastos de este conglomerado y como dentro de la matriz. Todos estos fósiles se clasificaron como elementos reelaborados.

De las capas de calizas oscuras de la mitad de esta unidad, interpretadas como de ambiente marino marginal, se hicieron láminas delgadas donde se encontraron microfósiles. Entre estos se identificaron ostrácodos, algas calcáreas de las familias Characeae y Porocharaceae y los microfósiles planctónicos *Pithonella sphaerica* y *Globigerinelloides bollii* (Figura 9, Capítulo VI, pág. 21).

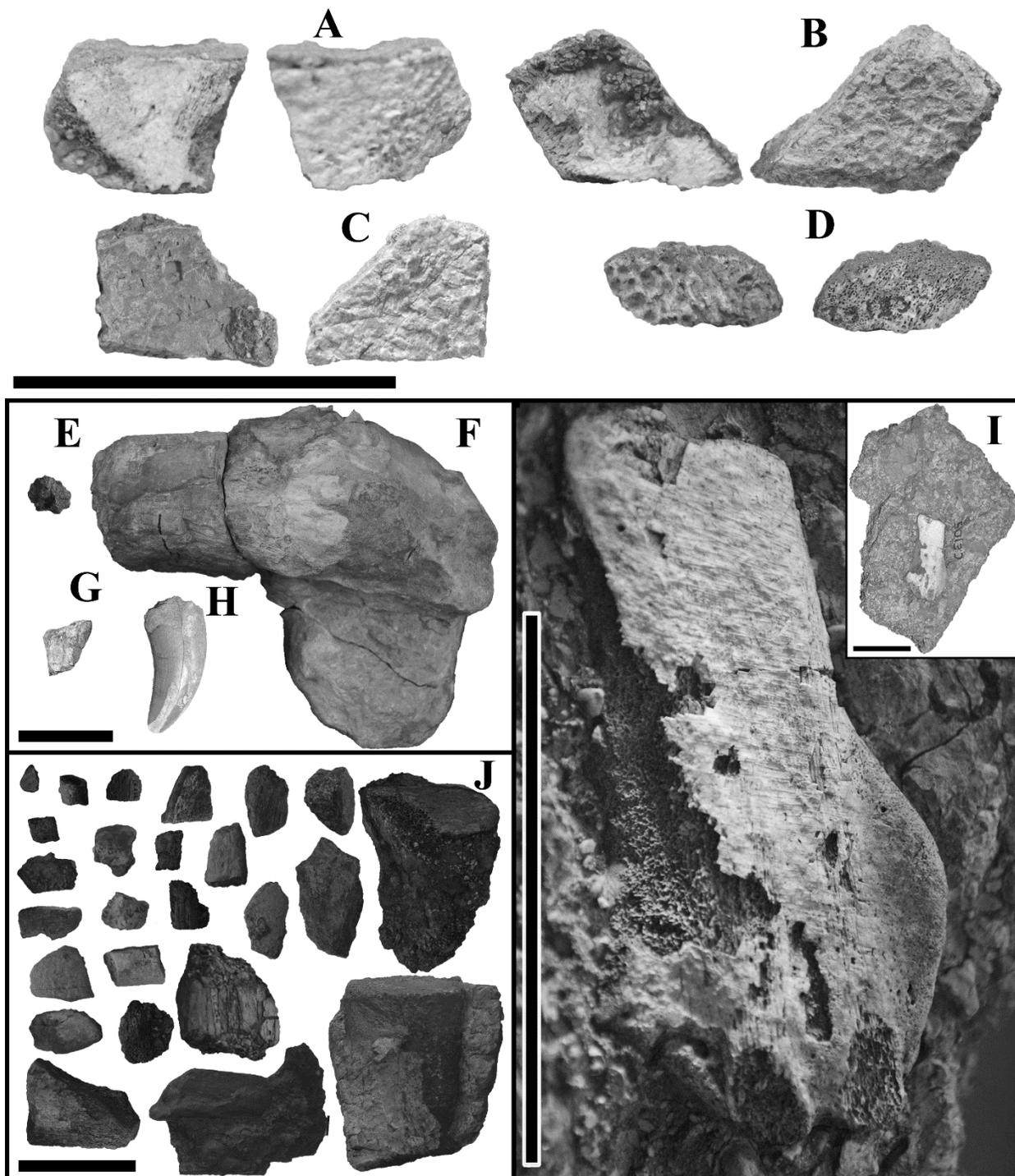


Figura 33. Algunos ejemplares colectados del conglomerado polimíctico de la unidad 11. Fragmentos de tortugas (A) ERNO-8620, (B) ERNO-8627, (C) ERNO-8616 y D) ERNO-8622 mostrando diversos grados de abrasión (A y C con desgaste menor comparado con B y D que tienen un mayor grado). Comparación de tamaños y conservación: (E) ejemplar menor ERNO-8623 escama de pez y (F) mayor ERNO-8631 extremo de fémur de dinosaurio, (G) diente de dinosaurio carnívoro ERNO-8622, (H) corona casi completa de tiranosáurido ERNO-8581, (I) desgaste y abrasión en la superficie del ejemplar ERNO-8613 y (J) varios ejemplares no identificados, fragmentados, muy afectados por abrasión. Barra de escala mide 5 cm.

VIII.1.5.Unidad 12

Esta unidad de limolitas rojizas que en su base tiene capas delgadas de areniscas y escasas intercalaciones de calizas lenticulares presentó la mayor diversidad de familias identificadas, incluyendo Hadrosauridae, Adocidae, Trionychidae, Eusuchia, Amiidae, Physidae, Viviparidae, Unionidae y un fragmento de tapete algal.

De un nivel de calizas de la parte media de la unidad, interpretado como depósito lacustre, se colectaron además cinco unionidos articulados, uno perteneciente a *Plesielliptio sonoraensis* (ERNO-8639), cuatro a *Plesielliptio* sp. (ERNO-8609, 8611, 8612 y 8637), un ejemplar de *Viviparus australis*, *Mesolanistes reesei* y un cuerpo vertebral de *Melvius* sp. El bivalvo ERNO-8639 presenta en su interior un ejemplar de *Viviparus australis*, ambos con grado 1 de abrasión con indicios de grado 2 y disolución en etapa 2 a 3. El bivalvo muestra sus líneas de crecimientos bien preservadas, aunque su concha está rota y tiene algo de disolución, lo cual tal vez ocurrió durante su exposición post-enterramiento (Figura 34A, B). El gasterópodo *V. australis* también presenta buena preservación, aunque concha rota y con exposición local del molde interior (Figura 34C). Dos de los bivalvos, ERNO-8611 y 8637, muestran grado de abrasión e intemperismo 1, e indicios de 2 y tienen la superficie de las conchas desgastadas y en parte disueltas; ERNO-8637 presenta líneas de crecimiento y ambos tienen grado 1 de deformación. Los ejemplares ERNO-8609 y 8612 están en grado 2 de abrasión y etapa 0 a 1 de intemperismo, ambos tienen insertado otro bivalvo completo en su interior (Figura 34D, E, J, K y L). El ejemplar de *V. australis*, ERNO-8638 tiene grado 2 de abrasión y etapa 2 a 3 de disolución. Presenta en su lado apertural regiones con la concha rota y el molde interno expuesto, mientras que su lado abapertural está bien conservado y guarda las líneas de crecimiento, sobre todo cerca al ombligo de la concha (Figura 34-F). El único ejemplar colectado de *Mesolanistes reesei* (ERNO-8641) presenta el mismo grado y etapa de disolución que el gasterópodo anterior. La disolución mayor está en la región abapertural, dejando expuesto su molde interno en una pequeña región y en otras partes la concha está protegida por una delgada capa de caliche (Figura 34G). El cuerpo vertebral ERNO-8640 de *Melvius* sp. tiene grado 1 de abrasión y etapa 2 de intemperismo, muestra parches de sedimento de caliza en sus caras articulares y debajo de ellos el hueso se conserva en buen estado (Figura 34H e I). Estos ejemplares se presentan casi completos, se considera que fueron arrastrados por corrientes de baja energía, por lo que se clasificaron como elementos resedimentados.

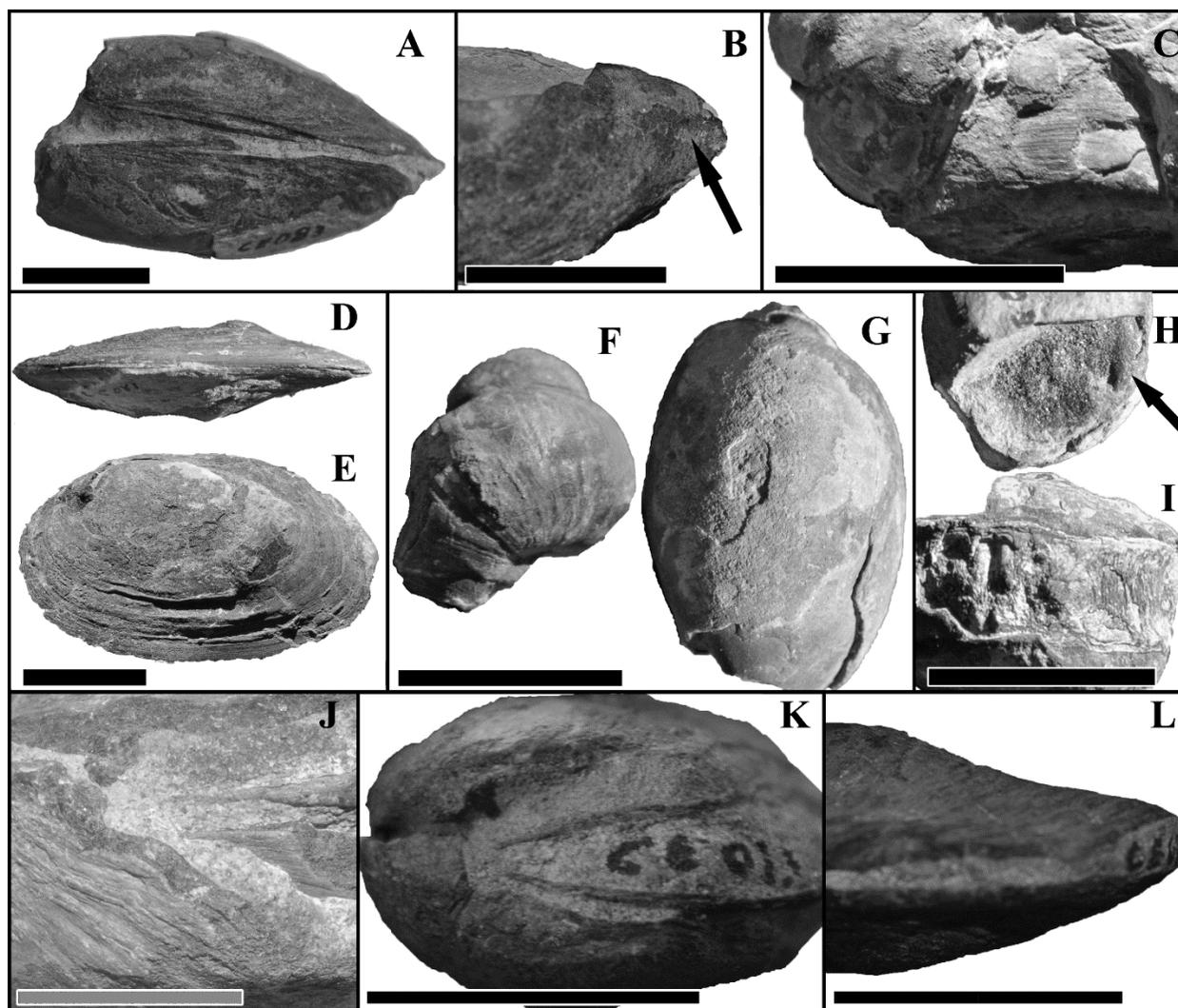


Figura 34. (A) Ejemplar de *Plesielliptio sonoraensis* Kues, 1995, ERNO-8639 con detalle de la preservación de la charnela y (B) pequeño parche de superficie en mejor estado que el resto de la valva. (C) Líneas de crecimiento del gasterópodo *Viviparus australis* Kues, 1956, que está contenido dentro del bivalvo ERNO-8639. (D) Ejemplar de *Plesielliptio* sp. Russell, 1934, (ERNO-8637) con compresión de las valvas y (E) líneas de crecimiento. (F) *Viviparus australis* (ERNO-8638) con líneas de crecimiento en cerca al ombligo. (G) *Mesolanistes resiidei* Stanton, 1917 (ERNO-8641), con adelgazamiento de la concha en la región abapertural. (H) Vertebra de *Melvius* sp. (ERNO-8640) con superficie bien preservada e (I) intemperizada. Ejemplares de *Plesielliptio* sp. (J) ERNO-8612 con valvas bien conservadas y con líneas de crecimiento en bivalvo externo e interno, (K) ERNO-8609 bivalvos anidados y (L) ERNO-8611 con ligera deformación en valva superior. Barra de escala mide negra 2 cm y barra gris 1 cm.

En la CPERNO se tienen 13 especímenes colectados de un estrato de limolitas rojizas localizadas en la parte media de esta unidad, que representan planicies de inundación. Estos corresponden a 4 centros vertebrales de *Melvius* sp., ERNOV-1020, 1021, 1022 y 1023 que están entre los grados de abrasión 1 a 2 y etapas de intemperismo 1 a 2. La primera falange de un hadrosáurido, posiblemente del dígito 3 de la mano, con grado de abrasión y etapa de intemperismo 1 con indicios de 2. Los únicos fósiles de eusúquido que corresponden a cinco vértebras cervicales, ERNO-8642, 8643, 8567, 8568 y 8577, un osteodermo

(ERNO-8565) y un fragmento de maxilar (ERNO-8569) que probablemente pertenecen a un solo organismo. Estos presentan grado 1 de abrasión y con excepción de ERNO-8567 que está en etapa 3, muestran intemperismo en etapa 0 a 1. Por último, el extremo de un hueso apendicular de un organismo no identificado, ERNOV-1027, tiene grado de abrasión e intemperismo 3. Los ejemplares de *Melivius* y hadrosáurido tienen parches de sedimento debajo de los cuales se preserva bien la superficie del hueso, aunque se observa un desgaste en las áreas que no están cubiertas por sedimento (Figura 35A, D y E), lo cual pudo haber ocurrido antes de su enterramiento. Los huesos asociados del eusúquido presentan agrietamiento en mosaico y fracturas que se crearon previas al enterramiento; donde los huesos no están agrietados estos tienen buena preservación. Una de las vértebras de estos ejemplares presenta arco neural no fusionado y el resto de ellas parece no haberse fusionado por completo (Figura 35B y C). De estos ejemplares, la vértebra ERNO-8567 carece de la capa superficial y en varias partes se le puede observar el hueso esponjoso, su cóndilo posterior está cubierto por sedimento fino y no tiene arco neural. Un parche de sedimento fino que este ejemplar tiene adherido contiene lo que parecen ser fragmentos de bivalvos y un gasterópodo de entre 2.6 a 3.8mm, que es considerablemente más estrecho y con una espiral más alta que cualquier espécimen de *Viviparus* o *Mesolanistes*. ERNOV-1027 es un hueso que está en un nivel de disolución muy avanzado ya que los cóndilos carecen de la capa superficial dejando expuesto el hueso esponjoso (Figura 35F). Todos los ejemplares se encuentran en el GV I, con excepción de la falange ERNOV-1026 del GV II y el maxilar ERNO-8569 del GV III. Al ser colectados de un estrato caracterizado como planicie aluvial, presentar varios grados de abrasión y intemperismo, se interpretó que los restos permanecieron expuestos un tiempo prolongado antes de ser enterrados (algunos un mínimo de 6 años; etapa 3 de Behrensmeier, 1978), por lo que son elementos resedimentados.

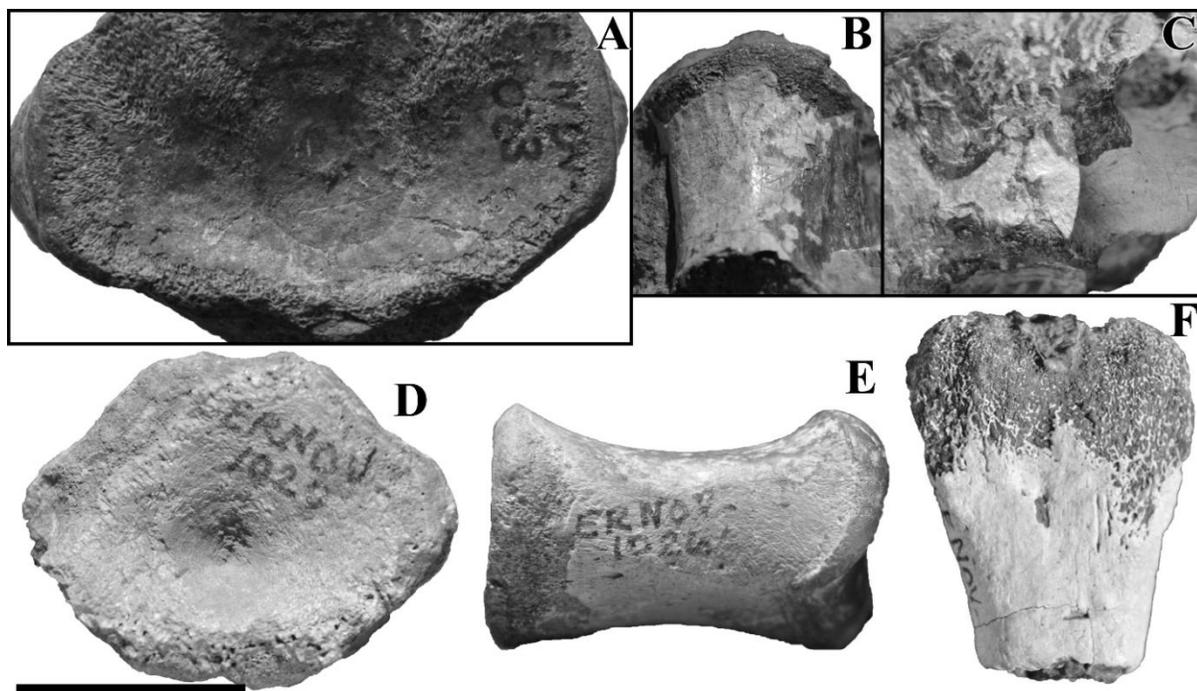


Figura 35. (A) Cuerpo vertebral de *Melvius* sp., ERNOV-1023, con parches de superficie conservada y parches de superficie esponjosa expuesta. Acercamiento de las vértebras de eusúquido, (B) ERNO-8567 y (C) ERNO-8643 con agrietamiento y aclaramiento de la superficie del hueso y lado derecho mejor conservado sin agrietamiento y coloración oscura de la superficie. (D) Cuerpo vertebral de *Melvius* sp., ERNOV-1020, con región central de la cara articular mejor conservada que los márgenes. (E) Falange de hadrosáurido, ERNOV-1026, con extremo proximal (izquierda) desgastado y hueso esponjoso expuesto y superficie distal (derecha) mejor conservada. (F) Epifisis de fósil no identificado, ERNOV-1027, con hueso esponjoso expuesto (arriba) y superficie del hueso restante muy desgastada. Barra de escala mide 2 cm

En la parte superior de esta unidad dentro de las capas de limolita rojiza con nódulos de carbonato pedogénicos, caracterizadas como planicies de inundación, se colectaron un cuerpo vertebral (ERNO-8646) (Figura 36A), el segundo y tercer metatarsianos asociados de hadrosáurido, ERNO-8644 y 8645 (Figura 36D), dos centros de vértebras de *Melvius* sp., ERNO-8648 y 8650 (Figura 36C), un fragmento de hueso periférico de *?Adocus* sp., ERNO-8649 (Figura 36B), el cuerpo de un hueso apendicular de tortuga sin los extremos (ERNO-8651) y un fragmento de un tapete algal (Figura 36E). Los metatarsos y el hueso apendicular pertenecen al GV II, mientras que los cuerpos vertebrales al GV I. Las vértebras de *Melvius* sp. están en etapa 1 de intemperismo y en grado 1 a 2 de abrasión. Los metatarsos de hadrosáurido presentan abrasión de grado 1 a 2 e intemperismo en etapa 0, con indicios de etapa 1, fracturas transversales y ERNO-8644 presenta una fractura en espiral. Están casi completos faltándoles solo el extremo distal al segundo y el extremo proximal al tercero. El cuerpo vertebral ERNO-8646 se encontró con grado de abrasión y etapa de intemperismo 2 y con una pequeña fractura diagenética. El hueso periférico de *?Adocus* presenta abrasión entre el grado 1 a 2 e intemperismo en etapa 1, con una delgada fractura

diagenética rellena de sedimento, su superficie tiene grietas en mosaico delgadas y pequeñas en ambas caras y en algunas áreas locales tiene una ligera descamación en de la capa superficial del hueso. La delicada ornamentación de este hueso se preserva muy bien al igual que una huella de escama marginal. Al igual que el estrato anterior, este se caracterizó como una planicie de inundación, y los grados de abrasión y etapas de intemperismo son de 1 a 2 e incluso muestran marcas de depredadores o carroñaría, dejando claro que los elementos fueron resedimentados antes de su entierro final.

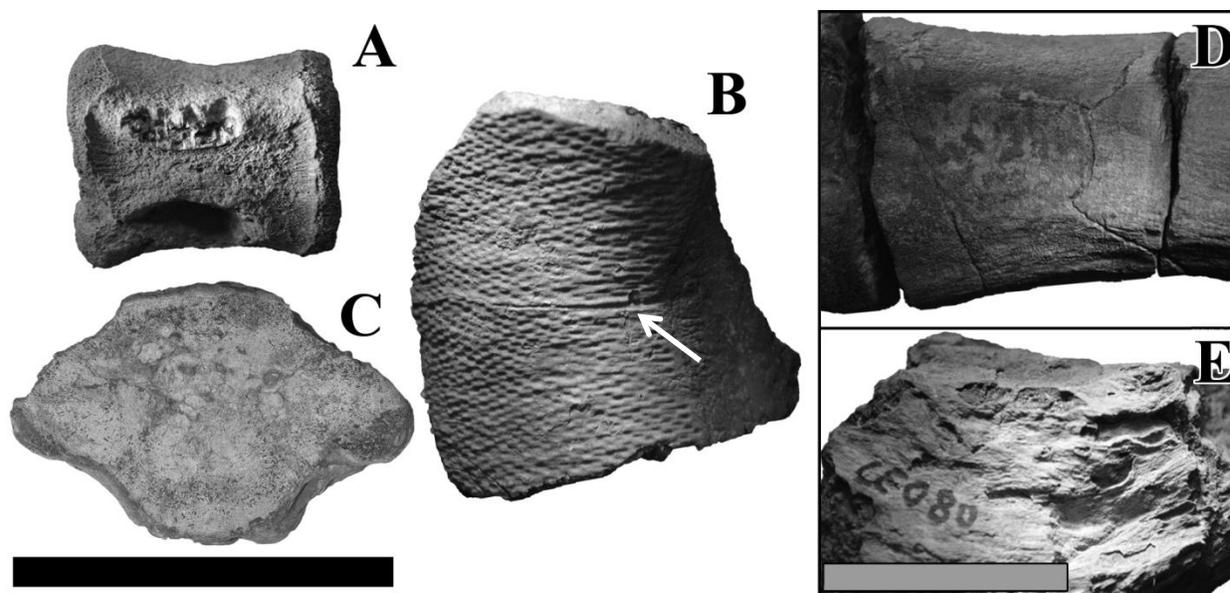


Figura 36. (A) Cuerpo vertebral ERNO-8646 de hadrosáurido con superficie del hueso desgastada y márgenes redondeados. (B) Hueso periférico ERNO-8649 de ?*Adocus* sp. con patrón de ornamentación y cicatriz de escamas (flecha). (C) Cuerpo vertebral de *Melvius* sp. ERNO-8650 con superficie desgastada y márgenes redondeados. (D) metatarsiano ERNO-8644 de hadrosáurido con fractura en espiral por posible mordida (centro) y fracturas diagenéticas (extremos); (E) fragmento de tapete algal ERNO-8647. Barra de escala mide negra 5 cm, barra gris 2.5 cm.

VIII.1.6.Unidad 13

Unidad con dos ciclos sedimentarios de origen fluvial formados por areniscas que gradúan hacia la cima a limolitas. En un estrato de limolita verdosa, interpretada como planicie de inundación, se colectaron un fragmento de hueso periférico y otro de placa pleural de *?Adocus* sp., ERNO-8652 y 8653, GV I. Ambos se encuentran en el grado 2 de abrasión e intemperismo en etapa 1, con indicios de etapa 2. Ambos huesos presentan parches de sedimento rojizo, la superficie original con el patrón de pequeñas fosas está erosionada y sólo quedan pequeñas regiones con éste (Figura 37A). Debajo de esta capa superficial y delgada de hueso, se observa otra capa interior de color más claro con grietas delgadas en mosaico (Figura 37B y C). Ambos huesos también están cortados por microfRACTURAS espaciadas que fueron rellenas por calcita y sedimento fino de color rojo (Figura 37D). Al presentar márgenes cubiertos por arenisca y antes de que la fractura diagenética ocurriera, nos sugiere que los huesos se rompieron antes de ser enterrados, por lo que se clasificaron como elementos resedimentados.

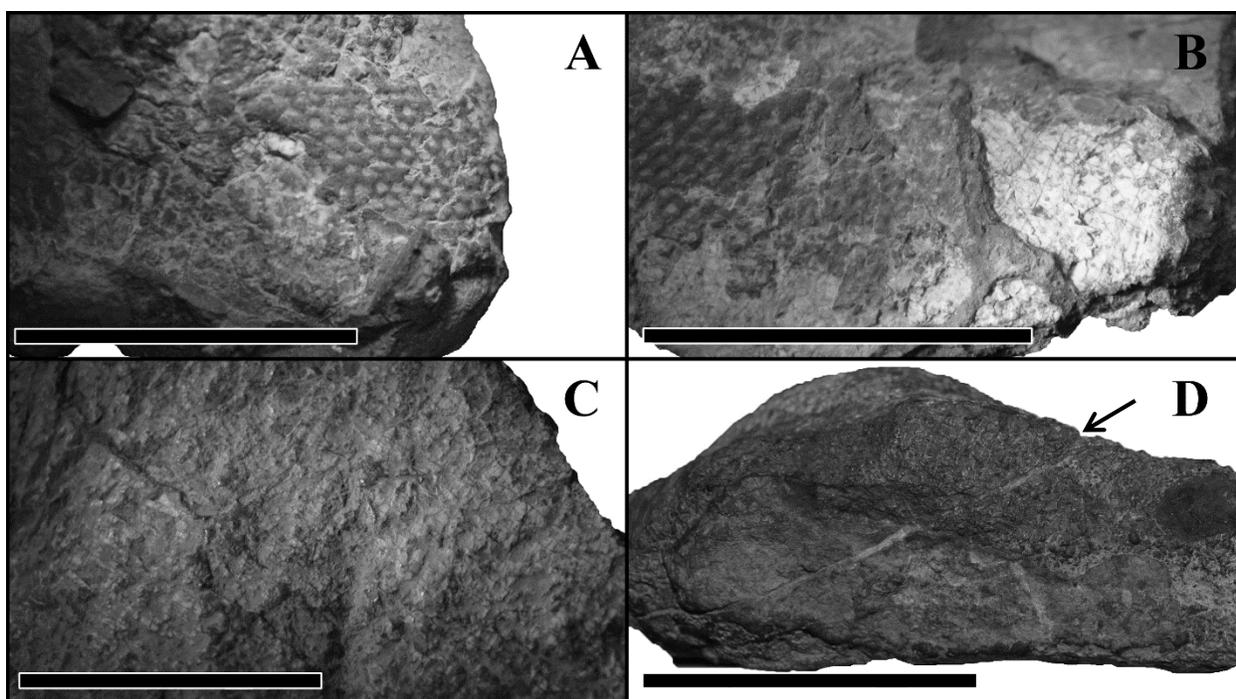


Figura 37. (A) Acercamiento de ERNO-8652 mostrando un patrón de fosas en rejilla en un pequeño parche, rodeado de superficie desgastada y (B) agrietamiento de superficie subyacente a la capa con ornamentada. (C) Acercamiento de ERNO-8653 con agrietamiento en la superficie y (D) sedimento de arenisca cubriendo el margen roto del hueso, dividido por una fractura diagenética rellena de calcita (flecha). Barra de escala mide 3 cm.

VIII.1.7.Unidad 14

Unidad representada por un ciclo de afinamiento de grano hacia su cima. De una delgada capa de caliza arcillosa, caracterizada como depósito de lago somero, se colectó un cuerpo vertebral de hadrosáurido, ERNO-8654 que pertenece a GV I. Este muestra grado de abrasión 2 y etapa de intemperismo 2, con fracturas longitudinales rellenas de la misma caliza (Figura 38A, B y C). Este hueso presenta parches adheridos que consisten de una delgada capa de caliza de color café claro y otra superpuesta de color rojizo que cubren sus caras articulares y el arco neural (Figura 38D). En los laterales no están cubiertos por parches de caliza y se observan remanentes de la superficie original del hueso. Este fósil se clasificó como elemento reelaborado, ya que presenta dos momentos de deposición de sedimentos en su superficie.

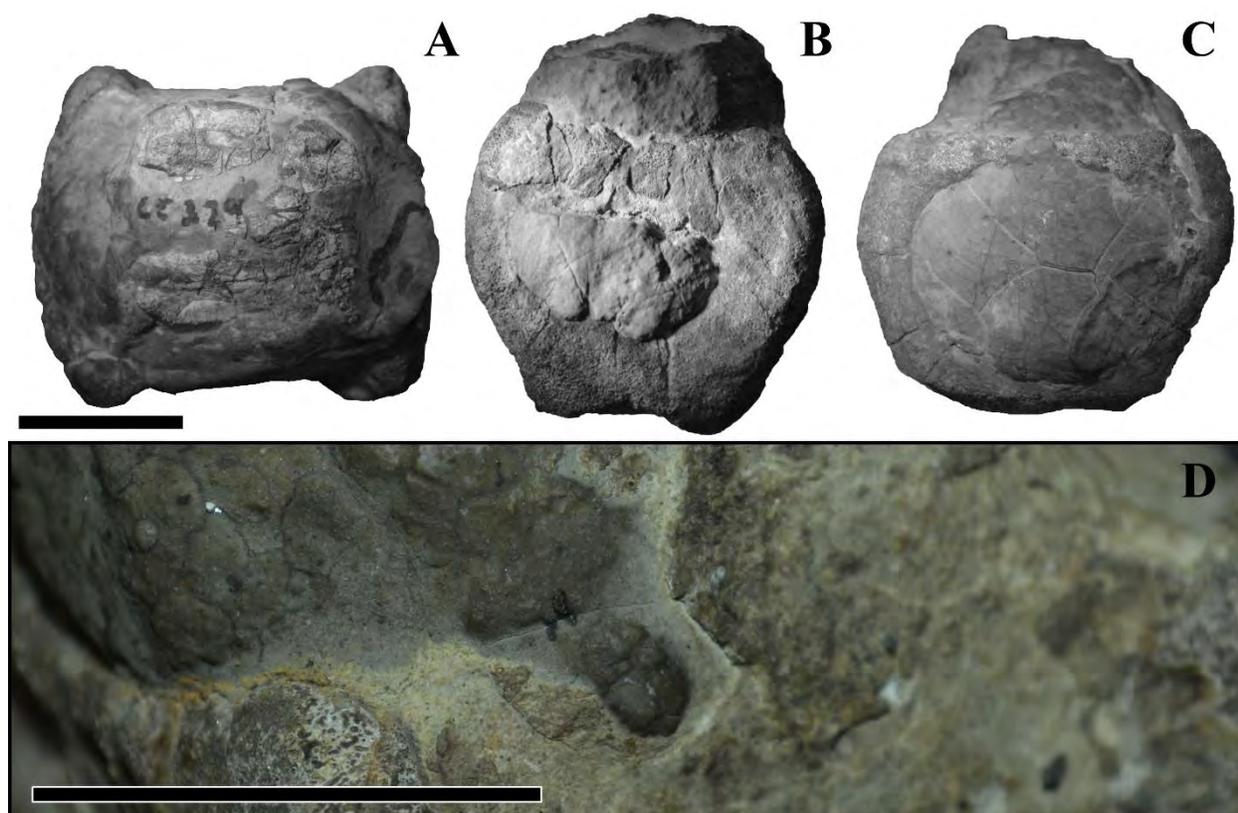


Figura 38. (A) Cuerpo vertebral ERNO-8654 de hadrosáurido en vista dorsal, (B) caudal y (C) craneal con fracturas rellenas de caliza y (D) acercamiento a la superficie de ERNO-8654 cubierta por un parche de caliza color café el cual es recubierto por otro de color rojizo. Barra de escala mide 2 cm.

De un nivel de limolita rojiza con nódulos de carbonato pedogénicos, caracterizado como depósito de planicie de inundación, se colectaron dos coronas de dientes de tiranosáurido, ERNO-8027 y 8564, que pertenecen al GV III, dos cuerpos vertebrales de hadrosáurido posiblemente asociadas (ERNO-8655 y 8656) y un cuerpo vertebral de ceratópsido, ERNO-8578, pertenecientes al GV I. El diente ERNO-8027 fue

descrito por Serrano-Brañas et al. (2017). Este diente presenta abrasión en grado 1, intemperismo en etapa 2, con indicios de etapa 3 y fracturas longitudinales y transversales de hasta 2 mm de ancho relleno por sedimento de color oscuro (Figura 39A y B), una de esas grietas parece atravesar el diente labio-lingualmente. Los cuerpos vertebrales de hadrosáurido, tienen grado de abrasión 1 con indicios de grado 2, e intemperismo en etapa 1. Muestran desgaste con exposición de tejido esponjosos en los márgenes de las caras articulares por transporte (Figura 39F y G). El cuerpo vertebral ERNO-8578 tiene grado de abrasión 2 y etapa de intemperismo 1, con indicios de etapa 2. Tiene superficie desgastada que solo se preserva en regiones de la parte ventral; presenta redondeo de los márgenes de las caras articulares y una coloración más oscura en la parte ventral que estuvo enterrada que la protegió del intemperismo (Figura 39C y D). El arco neural no se había fusionado por completo en este fósil. Los elementos colectados de este estrato presentan un grado de abrasión muy bajo por lo que no fueron transportados por largas distancias y fueron clasificados como resedimentados.

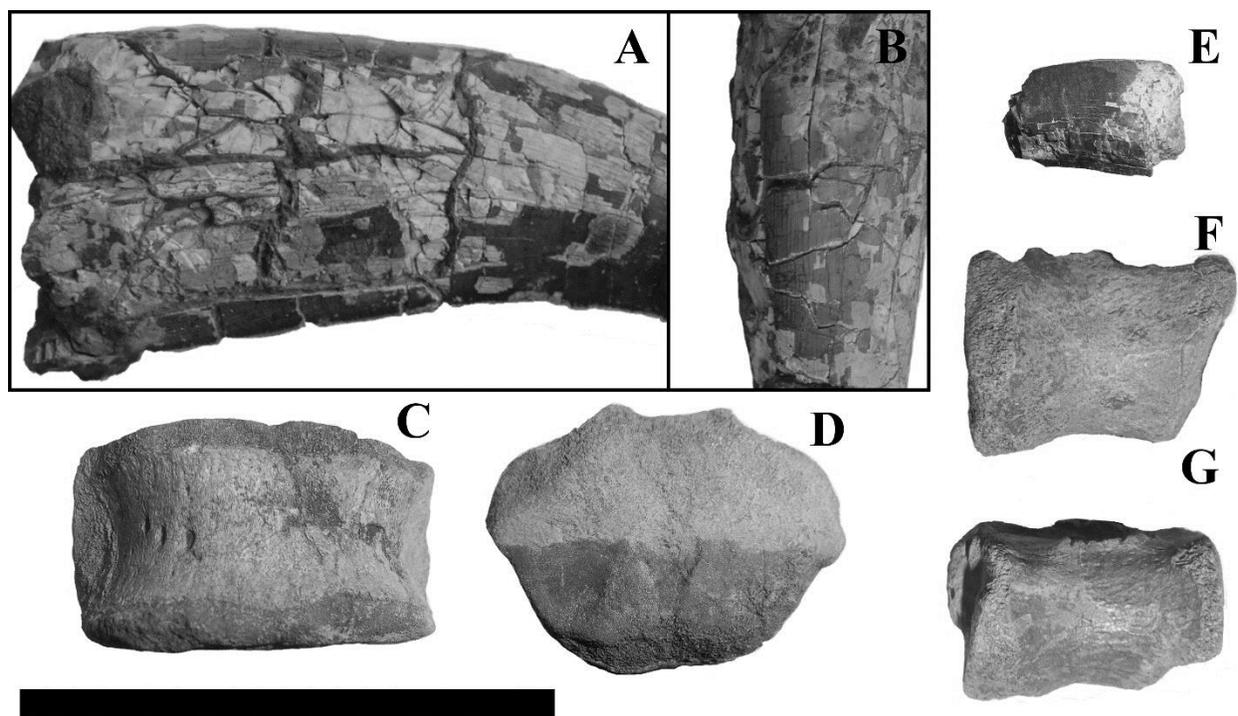


Figura 39. (A) Superficie del diente de tiranosáurido ERNO-8027 con descamación y grietas rellenas de sedimento y (B) superficie hinchada. (C) Vértebra de ceratópsido (ERNO-8578) en vista ventral con márgenes desgastados y (D) cara articular con región ventral mejor preservada con coloración más oscura. (E) Diente ERNO-8564 con ligera descamación de su superficie. (F) Vértebras caudales de hadrosáurido ERNO-8655 y (G) ERNO-8656 en vista lateral con articulación de cheurones fracturada (extremo derecho). Barra de escala mide 5 cm.

VIII.1.8.Unidad 15

Unidad que forma un ciclo de afinamiento de grano hacia arriba, está compuesto por arenisca que gradúan a limolitas rojizas con capas de calizas impuras intercaladas. En esta unidad se colectaron 18 especímenes del bivalvo *Plesielliptio*, diez de los cuales están articulados y ocho son fragmentos de valvas, tres del gasterópodo *Viviparus australis* y una vértebra de *Melvius* sp.

De un nivel de caliza arenosa, caracterizado como depósito de lago somero, localizado en la parte inferior de esta unidad se colectaron los bivalvos ERNO-8660, 8661 y 8662 y los gasterópodos ERNO-8657, 8658 y 8659. En estos bivalvos, una de las valvas que estuvo expuesta al ambiente está desgastada, fragmentada, parcialmente disuelta y tiene expuesto su molde interno (Figura 40C y E). Mientras que la valva que estuvo protegida por haber permanecido enterrada tiene mejor preservación (Figura 40A, D y F), abrasión en grado 1 a 2, disolución 0 a 2. La buena preservación también se aprecia cerca de los márgenes de costras de sedimento adherido (Figura 40B). ERNO-8661 que se encontró desprendido del estrato y con sus valvas entrelazados con otro ejemplar de la misma especie (Figura 40A) presenta este mismo deterioro en ambas valvas, con abrasión de grado 1 a 2 y disolución de 0 a 3 ya que muestra regiones donde aún se aprecia con claridad las líneas de crecimiento (Figura 40B). Los gasterópodos presentan las mismas características de alteración en un solo lado igual que en los bivalvos, una abrasión de grado 1 con indicios de grado 2 y disolución en etapa 1 con indicios de etapa 2, aunque conservan sus líneas de crecimiento, (Figura 40G, H e I). Todos estos ejemplares presentan un relleno de caliza arenosa, por los que estuvieron sometidos a corrientes de baja energía, por lo que se clasificaron como elementos resedimentados.

Hacia la cima de esta unidad, en un estrato de estas calizas arcillosas, igualmente caracterizadas como depósito de lago, se colectó una vértebra de *Melvius* sp. (ERNO-8663), varios ejemplares de *Plesielliptio* sp., ERNO-8664, 8665, 8666, 8667 y 8670, y dos de *P. sonoraensis* (ERNO-8668 y 8669). La vértebra presenta abrasión de grado 1, intemperismo en etapa 2 y una fractura longitudinal; una delgada capa de caliche cubre casi toda su superficie, incluyendo las áreas desgastadas (Figura 41A). Los bivalvos de este estrato están articulados, presentan abrasión de grado 1 con indicios de grado 2, disolución en etapa 1 a 3. Cuentan con un relleno de la misma caliza algunos con ligero desgaste de las líneas de crecimiento y también se les puede apreciar con detalle el umbo y el ligamento, excepto ERNO-8667 que no los muestra (Figura 41). Los ejemplares ERNO-8667 y 8678 presentan una deformación ligera en una de las valvas y ERNO-8664 y 8669 tienen una deformación más marcada, igual en una de las valvas. Esta deformación debió ser por aplastamiento debido a que los ejemplares no se llenaron de sedimento antes

de quedar totalmente cerrados. La valva de estos ejemplares que estaba expuesta al ambiente se observa generalmente fracturada y disuelta parcialmente. Estos ejemplares no se clasificaron como elementos acumulados, ya que la abrasión y disolución que presentan seguramente fue producido cuando los bivalvos quedaron expuestos en el mismo estrato.

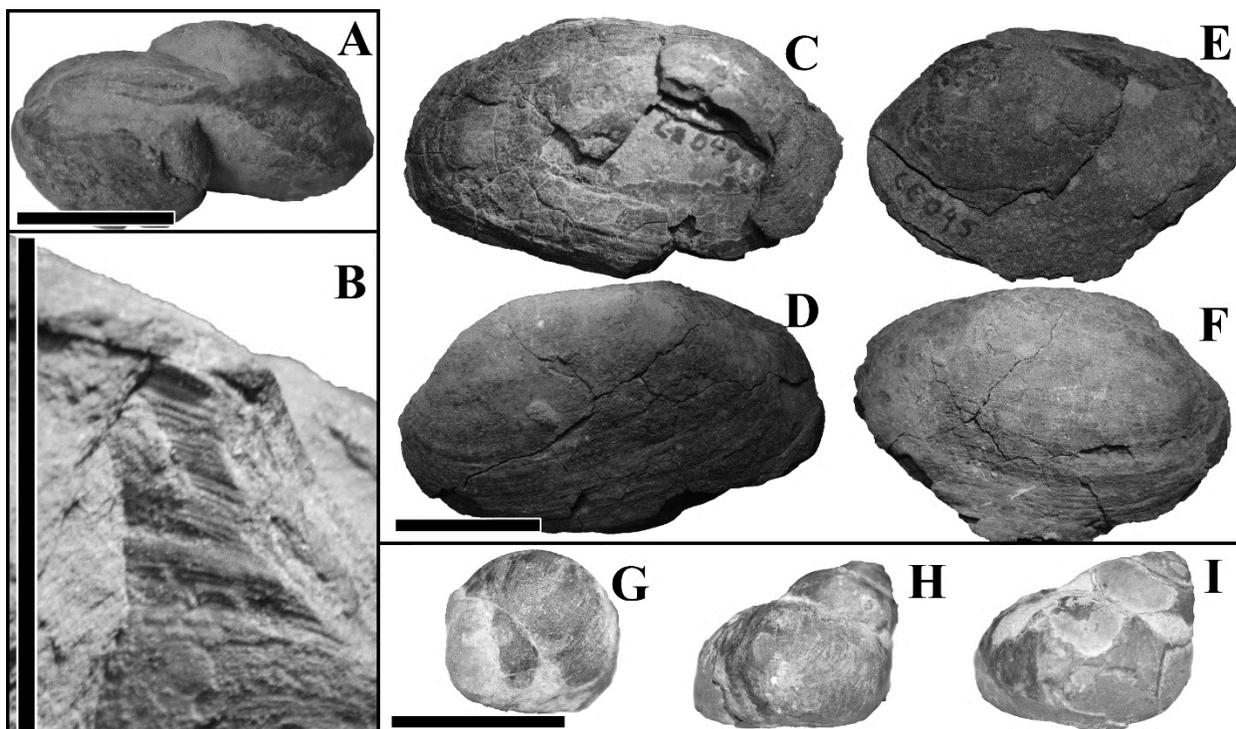


Figura 40. Moluscos de la unidad 15. (A) Bivalvos entrelazados ERNO-8661, acercamiento de líneas de crecimiento en valva del bivalvo (B). Bivalvos ERNO-8660 (C) y ERNO-8662 (E) con valva parcialmente disuelta, fragmentada y con exposición del molde interno formado por arenisca calcárea y valva opuesta mejor preservada, con líneas de crecimiento y fracturas (D y F). Gasterópodos ERNO-8657 (G) y ERNO-8658 (H) mostrando disolución de la concha en región abapertural y ERNO-8659 (I) con molde interno expuesto Barra de escala mide 2 cm.

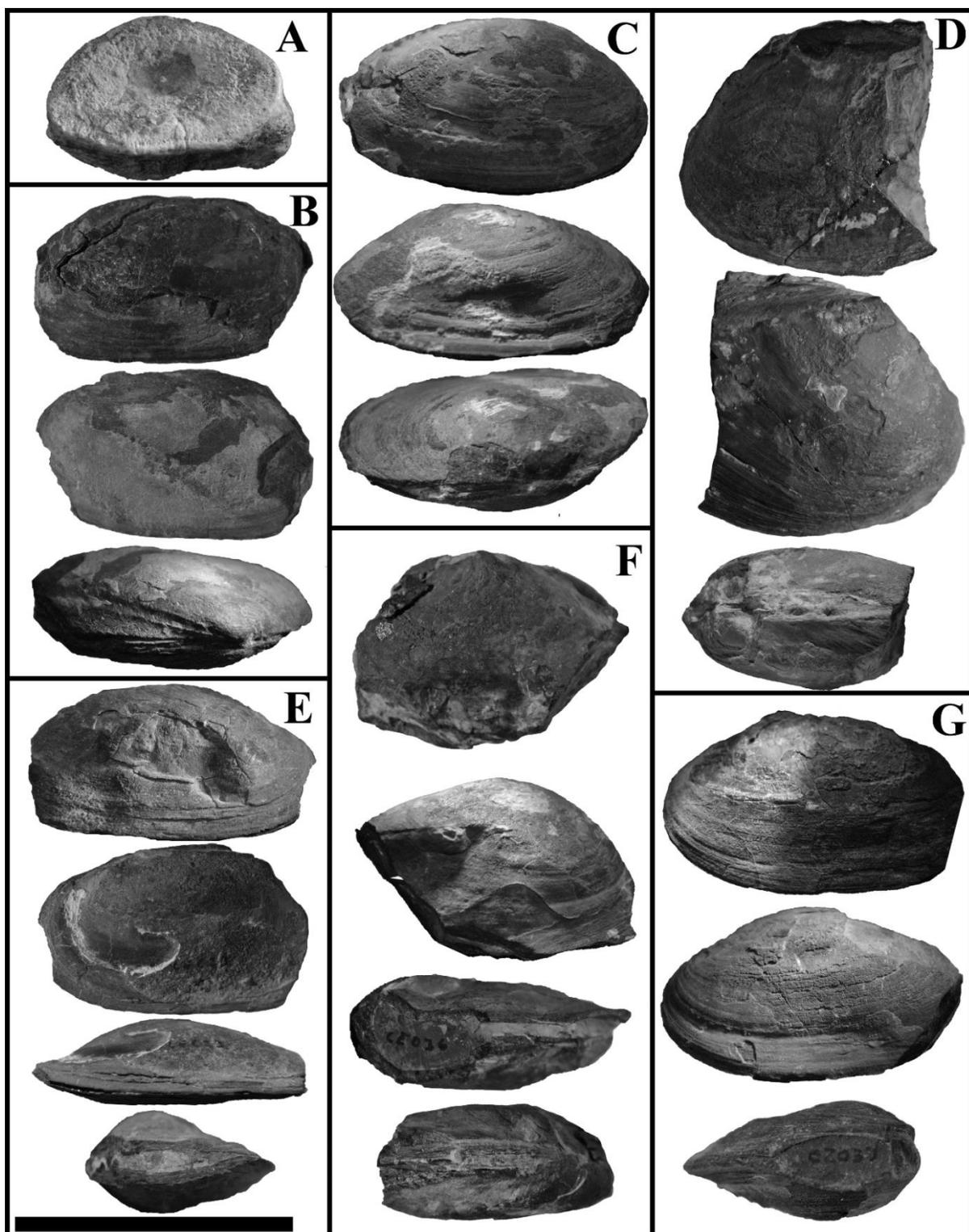


Figura 41. (A) Vértebra de *Melvius* sp. ERNO-8663, con capa de caliche y crecimiento asimétrico visible en el lado derecho de la imagen; bivalvos con la valva expuesta rota y/o desgastada, valva enterrada mejor preservada con líneas de crecimiento, algunas con charnela y quilla bien preservada y otras con valvas deformadas por compresión. Ejemplares (B) ERNO-8665, (C) ERNO-8668, (D) ERNO-8670, (E) ERNO-8664, (F) ERNO-8669 y (G) ERNO-8667. Barra de escala mide 5 cm.

De un estrato de caliza arcillosa, de cerca de la cima de esta unidad, se colectaron ocho fragmentos de valvas desprendidas de la capa (ERNO-8671 a ERNO-678). Estos ejemplares preservan sus líneas de crecimiento, que en algunos casos están bien marcadas (Figura 42A, B, C, E y F). Presentan abrasión de grado 1, pero ERNO-8671 y 8678 presentan indicios de grado 2. Muestran disolución en etapa 0 con indicios de etapa 1, pero ERNO-8671, 8676 y 8678 tienen indicios de etapa 2, y ERNO-8673 muestra deformación cercana al umbo. ERNO-8671 es parte del margen anterior de la valva derecha, cercana a la charnela y ERNO-8677 es el margen posterior de una valva (Figura 42E). El resto de los ejemplares cuentan con una charnela completa o parcial (Figura 42B). ERNO-8676 presenta un delgado tubo de carbonato cerca de la cicatriz del músculo abductor anterior (Figura 42D) el cual pudo haber sido construido por un organismo bentónico. Los ejemplares ERNO-8673 a ERNO-8676 presentan los dientes de la charnela casi completos (Figura 42D y G). Estos elementos se clasificaron como resedimentados ya que son valvas solitarias que fueron depositados por corrientes de baja energía.

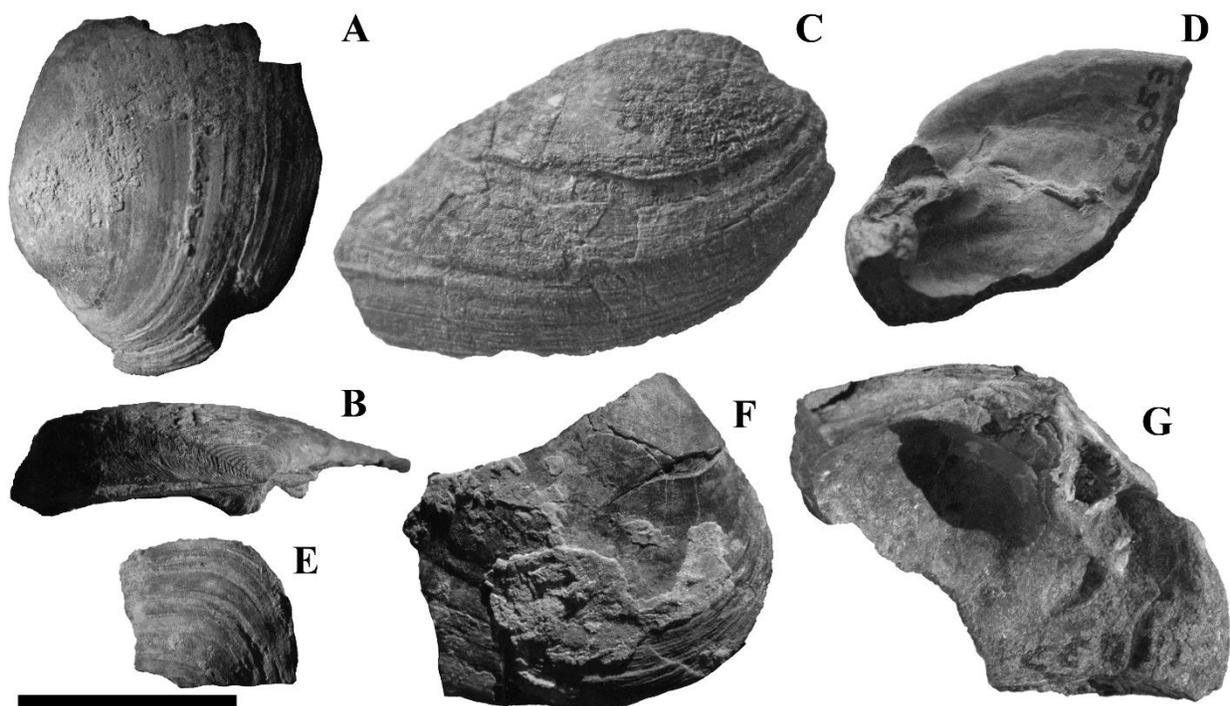


Figura 42. (A) Valva ERNO-8675 con líneas de crecimiento y parches de caliche y (B) umbo muy bien preservado. (C) ERNO-8678 con líneas de crecimiento cubiertas por una delgada capa de caliche en el margen de la valva y disolución hacia el umbo. (D) ERNO-8676 con galería de carbonato en la cara interior de la valva. (E) ERNO-8677 líneas de crecimiento bien conservadas. (F) ERNO-8673 con líneas de crecimiento, capa delgada de caliche y fractura diagenética hacia el umbo. (G) ERNO-8674 con charnela parcial, dientes de la charnela y cicatriz del músculo abductor. Barra de escala mide 2 cm.

VIII.1.9.Unidad 16

Unidad fluvial formada por un ciclo completo de afinamiento de arenisca a limolitas rojizas. De un nivel de areniscas de grano fino parte inferior de esta unidad, caracterizado como un canal fluvial, se colectaron un par de vértebras caudales de hadrosáurido (ERNO-8679 y 8680). Las vértebras de hadrosáurido, GV I, presentan abrasión de grado 2 e intemperismo en etapa 2, con indicios de etapa 3. ERNO-8679 presenta fracturas en espiral y transversal en la región cráneo-ventral izquierda, se observa un área comprimida en forma de “U” invertida con una profundidad de 3 a 4 mm y 12 mm de ancho. En la misma región en el lado opuesto, la superficie del hueso está desfasada por 2 mm, posiblemente por pisoteo antes del enterramiento del ejemplar (Figura 43A y B). El cuerpo vertebral ERNO-8680 está más completo que el anterior, cuenta con pequeñas costras y parches de sedimento en su superficie. Es visible una sutura el arco neural y el cuerpo de la vértebra, sugiriendo que este se había fusionado por completo (Figura 43C). Las vértebras parecen haber sufrido exposición subaérea después de que el organismo murió y antes de ser enterradas, ya que tienen desgaste de sus partes marginales y en algunas áreas pueden exponer el hueso esponjoso, por lo que se clasificaron como elementos resedimentados.

En la parte media de esta unidad, en un estrato de limolitas rojizas, interpretado como parte del depósito de planicie de inundación, se colectó un par de vértebras caudales de ornitomímido, ERNO-8004 y 8681. Muestran abrasión de grado 1, con indicios de grado 2 e intemperismo en etapa 1. El fósil ERNO-8004 exhibe una fractura transversal del lado ventral izquierdo. Se les observa grietas delgadas en mosaico en toda su superficie (Figura 43D) y grietas de 1 mm de grosor rellenas de sedimento en su parte dorsal. En la parte cráneo-ventral de ERNO-8681 hay una capa de 2 mm de espesor, que parece ser la superficie externa del hueso que está ausente en el resto de la vértebra (Figura 43E). Este ejemplar presenta un encostramiento rojizo que cubre parcialmente la superficie del hueso. El ejemplar ERNO-8004 carece de la capa más superficial del hueso, pero su cara ventral se observa más desgastada, posiblemente debido a dos eventos, no contemporáneos de desgaste (Figura 43F). Debido a esto último se interpreta que estos son elementos reelaborados.

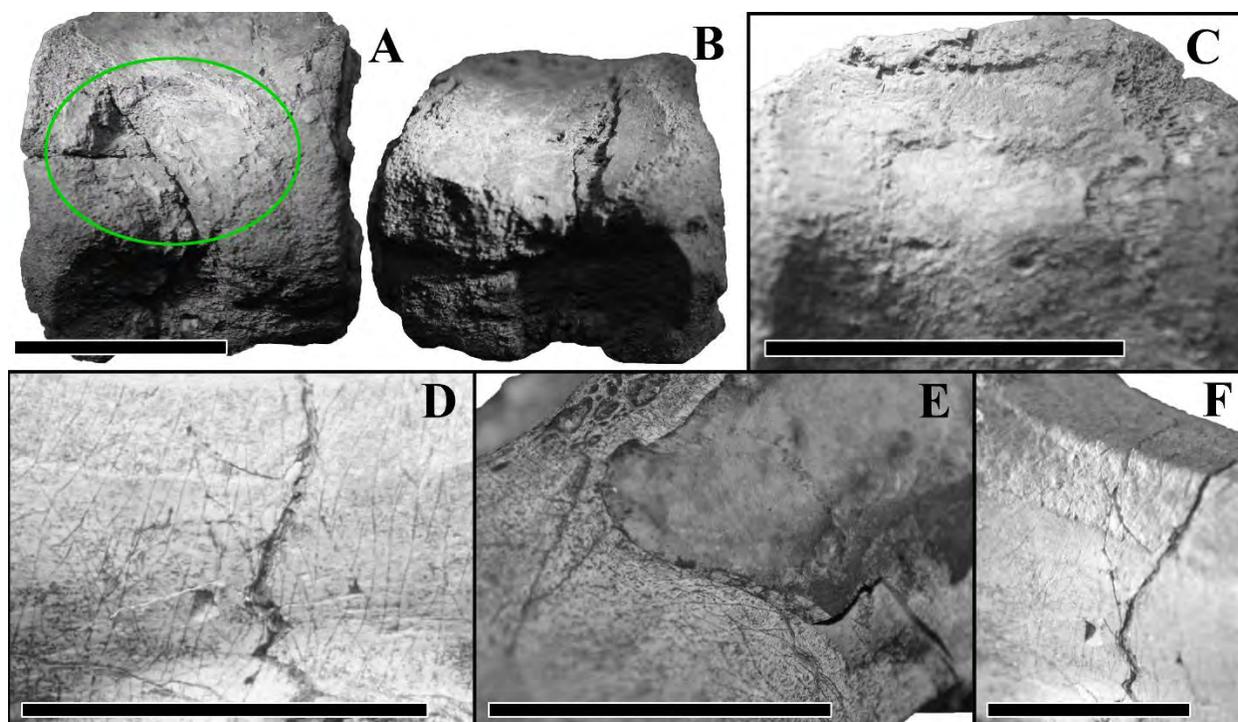


Figura 43. (A) Centro vertebral ERNO-8679 de hadrosáurido con compresión en el lateral izquierdo y (B) desfasamiento de la superficie en lado opuesto. (C) acercamiento de la superficie de ERNO-8680 mostrando tanto desgaste en los márgenes como superficie mejor conservada en el centro. (D) Acercamiento del centro vertebral ERNO-8004 de ornitómido mostrando superficie con agrietamiento en mosaico. (E) Acercamiento de ERNO-8681 de la capa superficial de 2 mm de grosor. (F) Grieta rellena de sedimento y diferencia en el desgaste de la superficie ventral. Barra de escala mide 3 cm.

En las delgadas capas de calizas impuras de la parte superior de esta unidad, se encontraron bivalvos adheridos que no fue posible colectarlos por la dureza de la roca y tampoco se encontraron elementos desprendidos de ella. Estos fósiles estaban articulados y ya que sólo era visible una de las valvas no se pudo hacer una observación clara del grado de abrasión y disolución de eso bivalvos. La mayoría de ellos presentaban la valva expuesta fracturada, disuelta, rota y con el molde interno expuesto (Figura 44). La mayoría de estos organismos entran en la categoría de resedimentación, ya que en muchos estratos muestran un arreglo como en pavimento, donde los bivalvos fueron arrastrados de su posición de vida vertical, o casi vertical, a una posición horizontal.

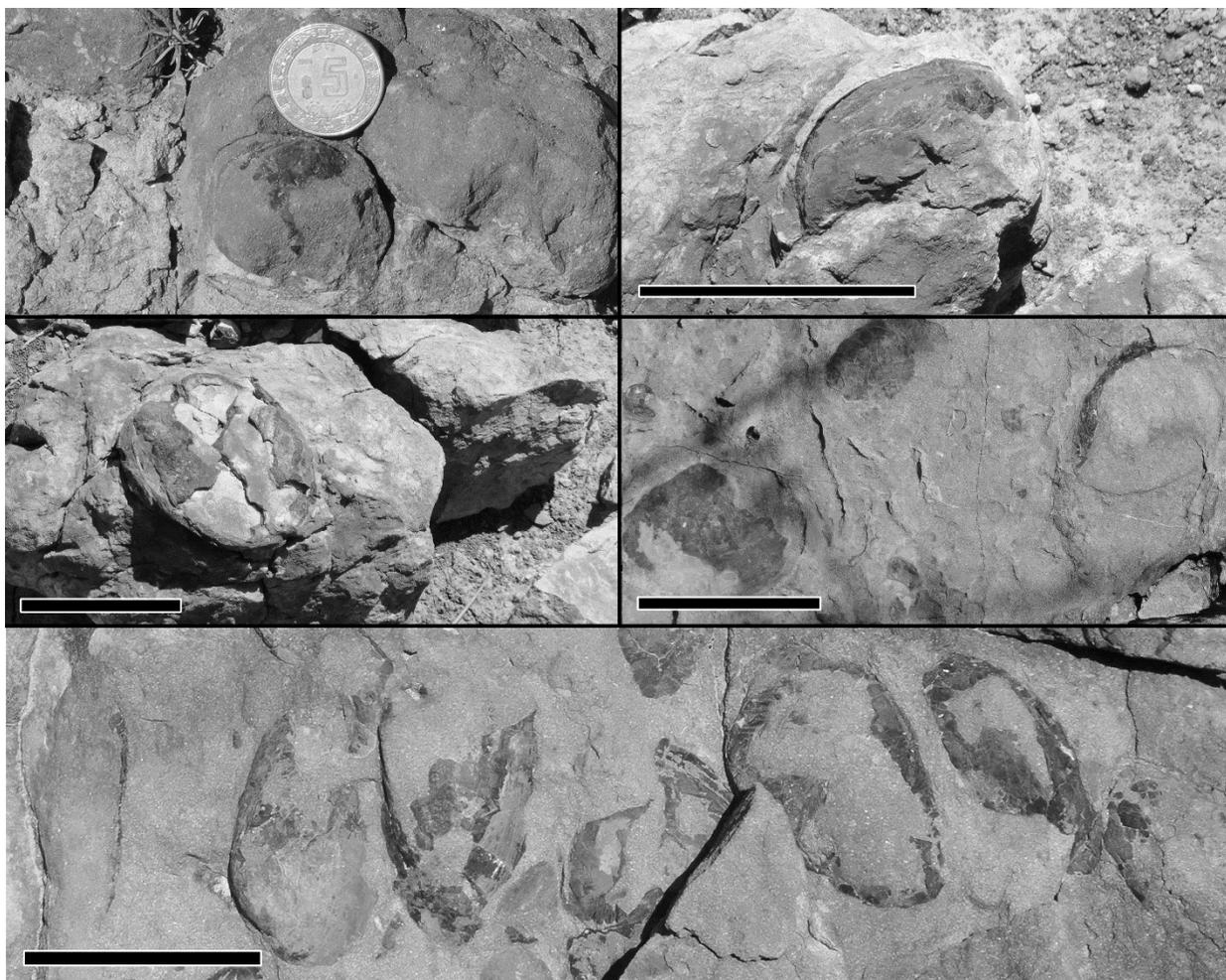


Figura 44. Bivalvos de las calizas impuras de las unidades litológicas 16, 17 y 18. Barra de escala mide 5 cm, moneda 2.5 cm de diámetro.

VIII.1.10. Unidad 17

Esta es una unidad de origen fluvial que tiene en su base capas de areniscas que representan el relleno de un canal fluvial y de donde se colectó el cuerpo vertebral ERNOV-1014, GV I, y el metatarsiano ERNO-8580, GV II, ambos de hadrosáuridos. ERNO-8580 corresponde al extremo distal del metatarsiano III derecho de un hadrosáurido, que muestra el grado 1 a 2 de abrasión y etapa 2 a 3 de intemperismo. Este ejemplar presenta hueso esponjoso expuesto y márgenes redondeados. Se puede observar regiones con superficie bien conservada cerca del sedimento duro aún adherido al fósil (Figura 45A y B). El cuerpo vertebral ERNOV-1014, que fue colectado durante trabajos de campo previos a la elaboración de esta tesis, se encuentra en grado 2 de abrasión y etapa 2 con indicios de 3 de intemperismo. Este fósil presenta intemperismo avanzado, las caras articulares están desgastadas con márgenes ovoides en lugar de semicirculares, debido a transporte (Figura 45C y D). La capa más superficial de sus caras laterales tiene un grabado muy cerrado de líneas casi paralelas con ligero entrecruzamiento, también presente en parches de sedimento, posiblemente hechas por raíces de plantas que crecieron sobre la vértebra (Figura 45F y G). El arco neural está roto y con grietas de 4 mm rellenas de sedimento. En su cara lateral derecha en la región ventral tiene un parche de sedimento con al parecer una raíz fosilizada, al igual que en su cara articular caudal (Figura 45F, H e I). Ambos se consideran elementos resedimentados, ya que presentan características de haber permanecido en la superficie antes de ser enterrados.

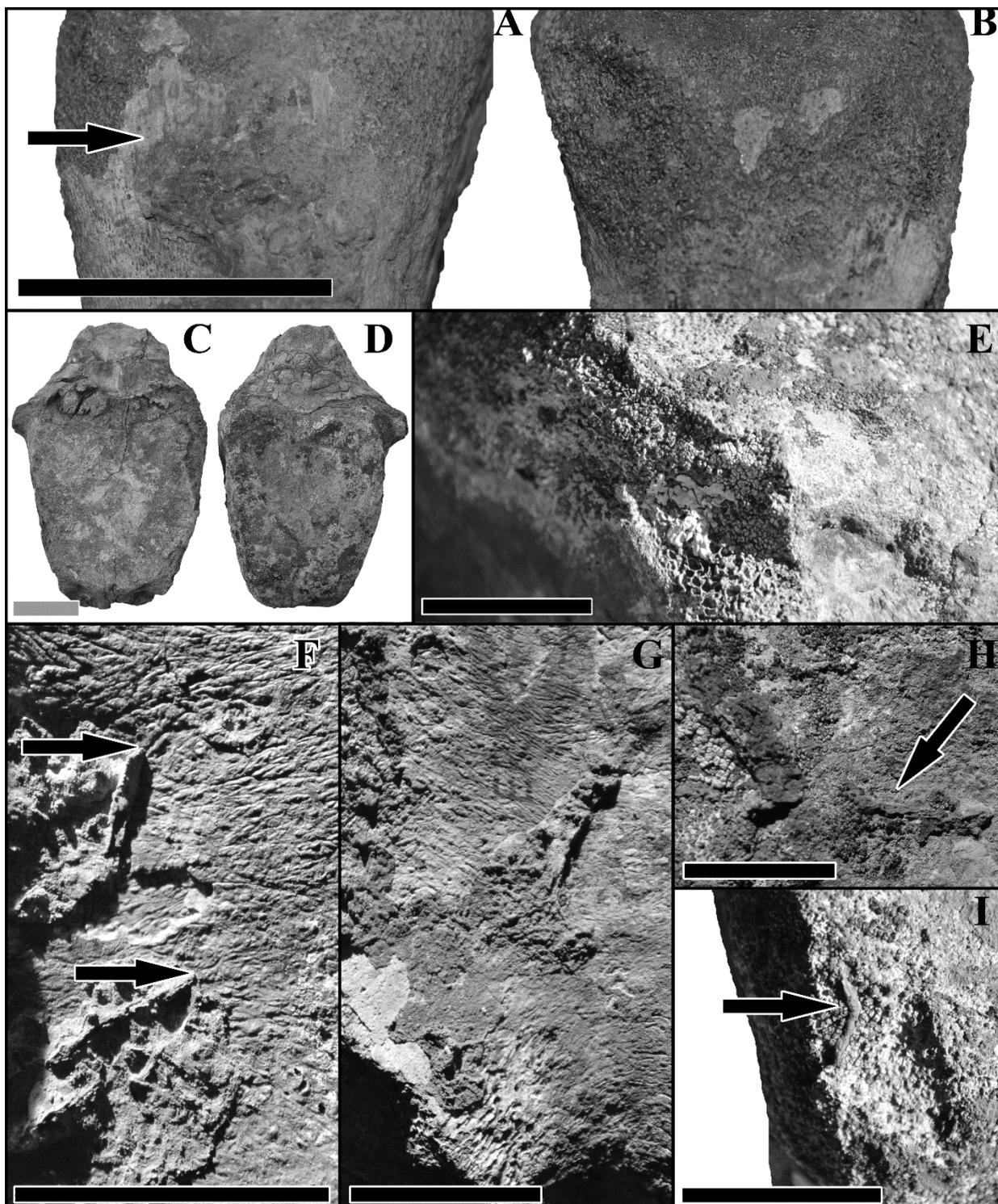


Figura 45. (A) Superficie del metatarsiano ERNO-8580 bien conservada debajo de parche de arenisca en cara caudal y (B) hueso esponjoso expuesto en su cara craneal. Vértebra ERNOV-1014 en (C) vista craneal, (D) caudal, (E) acercamiento de la superficie desgastada con líquenes actuales creciendo en ella, (F) y (G) impresiones de raíces en laterales de la vértebra con pequeñas raíces fosilizadas (flechas) y (H e I) en la cara caudal. Barra de escala mide negra 2 cm, barra gris 5 cm.

De la parte media de esta misma unidad y en lodolitas masivas de color verde a amarillento claro se colectaron dos fragmentos de caparazón de tortugas ?*Adocus* sp. (ERNO-8566 y 8685), un fragmento de hueso neural de tortuga trioníquida (ERNO-8574), cinco cuerpos vertebrales de ceratópsido (ERNO-8682, 8686, 8687, 8688 y 8689), tres cuerpos vertebrales (ERNO-8006, 8684 y 8690), un fragmento de falange (ERNO-8691) de hadrosáurido y el extremo proximal de una fíbula de ?*Ornithomimidae* (ERNO-8683). Con excepción de este último fósil que pertenece a GV II, el resto se coloca en GV I.

De los restos de tortugas, el hueso neural y placa pleural de ?*Adocus* sp., ERNO-8566 y 8685 muestran un grado de abrasión 1 e intemperismo en etapa 1 a 2. Se aprecia la ornamentación de fosas en ambos ejemplares; ERNO-8566 está ligeramente desgastada y presenta una fractura longitudinal (Figura 46A), mientras que en 8685 la ornamentación aún es visible en algunas regiones de la superficie del hueso, aunque muestra desgaste en ambas caras, que además tienen fracturamiento (Figura 46K y L). El hueso neural ERNO-8574 de Trionychidae, esta redondeado en grado 3 de abrasión, y etapa 2 de intemperismo, y el patrón de ornamentación es apenas visible; presenta abrasión más marcada cerca a los parches de sedimento adherido (Figura 46B).

En el caso de los restos de ceratópsidos, el centro vertebral ERNO-8682 pertenece a una vértebra torácica con suturas sin fusionar del arco neural. Muestra grado de abrasión y etapa de intemperismo 2, y presenta fracturas longitudinales y diagenéticas. La mitad izquierda de su cara articular craneal está ausente por rotura (Figura 46D y E). La vértebra torácica ERNO-8686 está cubierta casi por completo por sedimento de arenisca fina por lo no fue posible evaluar su etapa de intemperismo y una de las caras articulares tiene adherida la capa superficial de otro hueso (Figura 46C). Los cuerpos vertebrales ERNO-8687 a 8689 presentan el mismo grado de abrasión, 1 con indicios de grado 2, y la misma etapa 1 de intemperismo. Los tres centros vertebrales están parcialmente cubiertos por arenisca fina. En 8687 se expone parte del canal neural con superficie lustrosa, agrietamiento en mosaico y arco neural ausente. ERNO-8688 y 8689 tienen poca superficie del hueso expuesta en sus laterales y margen ventral de la cara articular caudal (Figura 46H e I).

En fósiles de hadrosáuridos los centros vertebrales muestran un grado de abrasión de 1 a 2 e intemperismo en etapa 2. ERNO-8006 y 8684 presentan fracturas transversales (Figura 46F y G) y éste último también presenta una compresión cráneo-caudal ligera, visible en su lateral izquierdo (Figura 46N). El arco neural en ERNO-8690 no estaba fusionado, y en ERNO-8684 aún se preserva en pequeñas porciones de éste, pero también se puede ver que no estaba fusionado por completo. La falange I del dígito II, ERNO-8691, muestra un grado de abrasión 1 y etapa 2 de intemperismo, así como fractura en la región medial con superficie desgastada (Figura 46J).

El extremo proximal de fíbula ERNO-8683 tiene grado de abrasión y etapa de intemperismo 1, con indicios de 2, presenta una fractura diagenética a nivel donde iniciaría el cuerpo del hueso. En los márgenes de la cara articulares se ha desgastado tanto que se observa el hueso esponjoso, con algunos pequeños parches de arenisca. Este ejemplar se clasificó como ?Ornithomimidae, por sus similitudes que presentan este hueso con los de la familia mencionada (Figura 46M).

Estos estratos cuentan con elementos resedimentados y reelaborados. Además de presentar características de haber permanecido un tiempo expuestos al medio, indicado por las etapas de intemperismo, algunos ejemplares como ERNO-8574, 8686 y 8688, también parecen haber sido reelaborados. Esto se está sugerido por un grado mayor de abrasión de ERNO-8574 que sugiere que sucedió en 2 momentos diferentes y por la presencia de parches de caliza y arenisca en los cuerpos vertebrales ERNO-8686 y 8688.

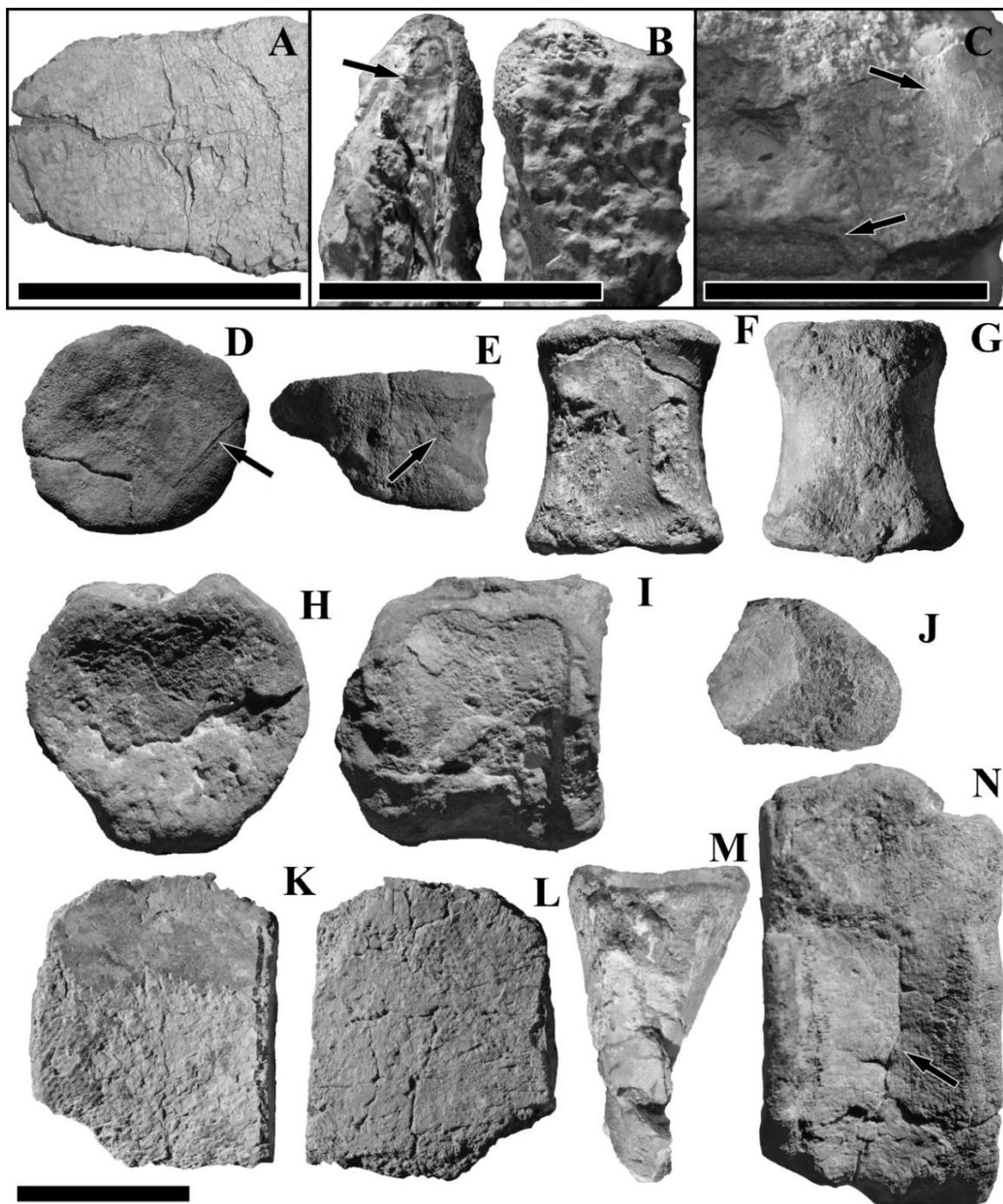


Figura 46. (A) Acercamiento de la superficie del hueso neural ERNO-8566. (B) Acercamiento de la superficie del hueso neural ERNO-8574 con superficie mejor conservada debajo y alrededor de sedimento duro adherido (flecha). (C) Centro vertebral de ceratópsido ERNO-8686 con superficie de otro hueso adherida (flecha superior) y hueso expuesto debajo del sedimento que la recubre (flecha inferior). (D y E) Centro vertebral ERNO-8682 con fractura diagenética (flechas). Centro vertebral ERNOV-8006 en (F) vista dorsal y (G) ventral. Centro vertebral ERNO-8688 en (H) vista caudal y (I) lateral izquierdo. (J) Vista distal de la falange ERNO-8691 de hadrosáurido con superficie mejor conservada debajo del sedimento de arenisca (flecha). Hueso pleural ERNO-8685 con desgaste en su superficie (K) ventral y (L) dorsal. (M) Extremo proximal de fíbula ERNO-8583 con fractura diagenética en extremo proximal. (N) cuerpo vertebral ERNO-8684 con compresión craneocaudal (flecha). Barra de escala mide 3 cm.

VIII.1.11. Ejemplares sin unidad

En la CPERNO se encontraron tres ejemplares que habían sido colectados de la Formación Corral de Enmedio, pero no cuentan con registro de su posición estratigráfica. Estos corresponden a un fragmento de hueso pleural, ERNO-8570, y a un cuerpo vertebras de tortuga, ERNO-8576, ambas de la familia Trionychidae, así como un fragmento de hueso (ERNO-8573). Los dos ejemplares de Trionychidae se encuentran el grado de abrasión 2 y en la etapa 1 de intemperismo, presentan además grietas en mosaico y tienen parches gruesos de sedimento adheridos. ERNO-8570 es un extremo proximal de la costilla, o hueso pleural que tiene su cara dorsal cubierta en su totalidad por arenisca fina y en su extremo distal se observa un molde del patrón que no está cubierto (Figura 47A). En ERNO-8576 es un hueso neural con vértebra, de tortuga trioníquida. Este está ligeramente desgastado y cubierto de sedimento casi en su totalidad, el patrón de ornamentación es visible claramente en su cara dorsal, pero se encuentra desgastado (Figura 47C). El fragmento de hueso ERNO-8573 muestra un grado de abrasión y etapa de intemperismo 1. Cuenta con ornamentación en una de sus caras, la cual es muy similar a la que se presenta en el cráneo de *Melivius thomasi* Bryant, 1987. Este patrón parece radiar desde un punto en una dirección, con surcos alargados en un arreglo muy apretado, con bordes muy delgados entre ellos. Hacia el margen del ejemplar los surcos son mucho más alargados. En el lado opuesto el fósil tiene una cubierta delgada de caliche que protegió la superficie del hueso circundante, dejando ver su conservación original. La superficie aquí es lisa sin ninguna ornamentación visible. Este ejemplar parece no haber sufrido mucho intemperismo, etapa 1, pero si intemperismo reciente (Figura 47B).

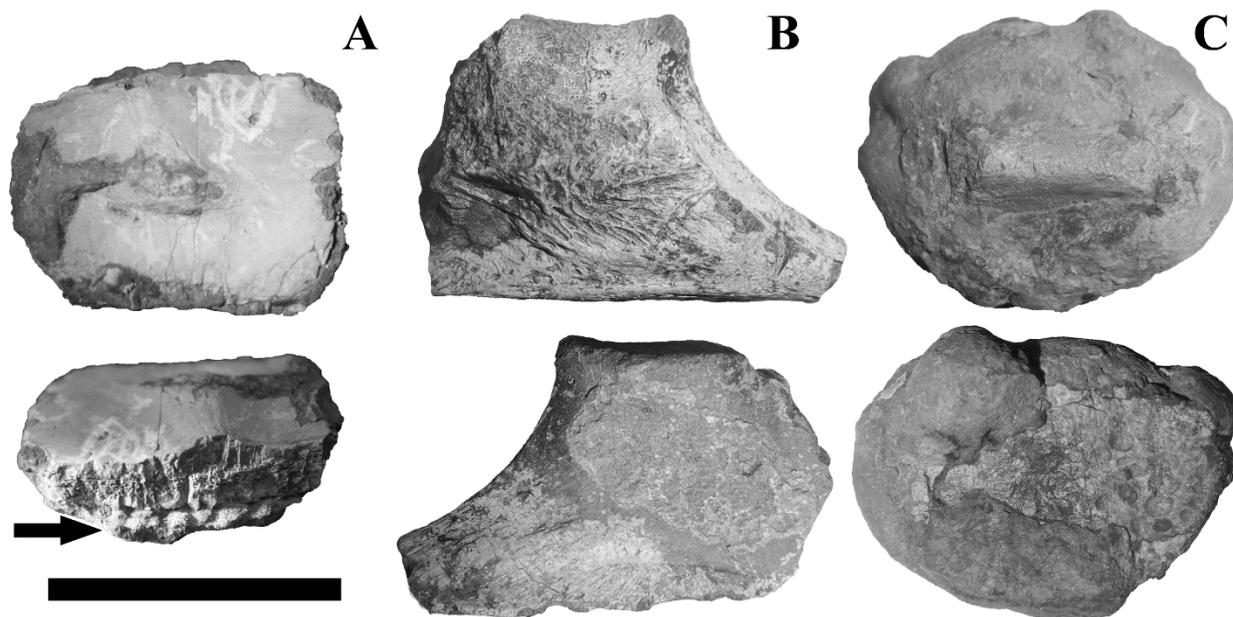


Figura 47. Ejemplares de la Formación Corral de Enmedio que se encuentran en la CPERNO sin información sobre su posición estratigráfica. (A) Hueso pleural ERNO-8570 en cara ventral (arriba) y lateral (abajo) con molde del patrón (flecha). (B) Fragmento de hueso ERNO-8573 con ornamentación de la superficie del hueso (arriba) y capa de caliche (abajo). (C) Vértebra con hueso neural ERNO-8576 cubierta casi por completo por sedimento duro. Barra de escala mide 3 cm

VIII.1. Permineralización

Aunque en este trabajo no se hizo un estudio a fondo del proceso diagenético que sufrieron los huesos durante su enterramiento, si se realizó la observación petrográfica de secciones delgadas correspondientes a un fémur (ERNO-8632) y a un cuerpo vertebral (ERNO-8626) de hadrosáurido y a un hueso pleural de tortuga *Adocus* sp. (ERNO-8685). Además, se hizo un análisis de difracción de rayos X al cuerpo vertebral ERNO-8626. La terminología paleohistológica utilizada está basada en los lineamientos generales de Francillon-Vieillot et al. (1990) y Reid (1996).

Las secciones delgadas del fémur de hadrosáurido, muestra marcas de crecimiento en una corteza laminar vascularizada, posee tejido óseo laminar, tejido óseo secundario con remodelación ósea perimedular. También, se observa una transición entre el hueso medular cortical compacto y el esponjoso, así como osteones endosteales secundarios grandes e incompletos (Figura 48). Por otra parte, el cuerpo vertebral de hadrosáurido, ERNO-8626, muestra una estructura de hueso esponjosa. La delgada capa hueso compacto se perdió en gran parte de éste fósil por el intemperismo (Figura 49). En el hueso pleural de *Adocus* sp., ERNO-8685, se observó la estructura típica de tres capas de los huesos planos, conocidas como diploe, que consiste de dos capas delgadas de hueso compacto separadas por una región esponjosa interna (Figura 50).

Los espacios esponjosos de los tres huesos observados muestran el desarrollo consistente de las siguientes etapas de cementación. Una primera consiste de una capa delgada de óxido de hierro que está adherida a la pared interior del espacio, seguido por una segunda capa delgada de calcita radial fibrosa, mientras que la mayor parte del espacio central está ocupado por calcita esparítica o en bloques. Un análisis de difracción de Rayos X realizado a la vértebra de dinosaurio (ERNO-8626) dio como resultado que está compuesta principalmente por calcita e hidroxiapatito, que son los dos principales componentes que también se observan en la sección delgada en dicha muestra. El óxido de hierro que también forman parte del material, cementante es escaso y no pudo ser detectado por el equipo de difracción de rayos X usado (Figura 51).

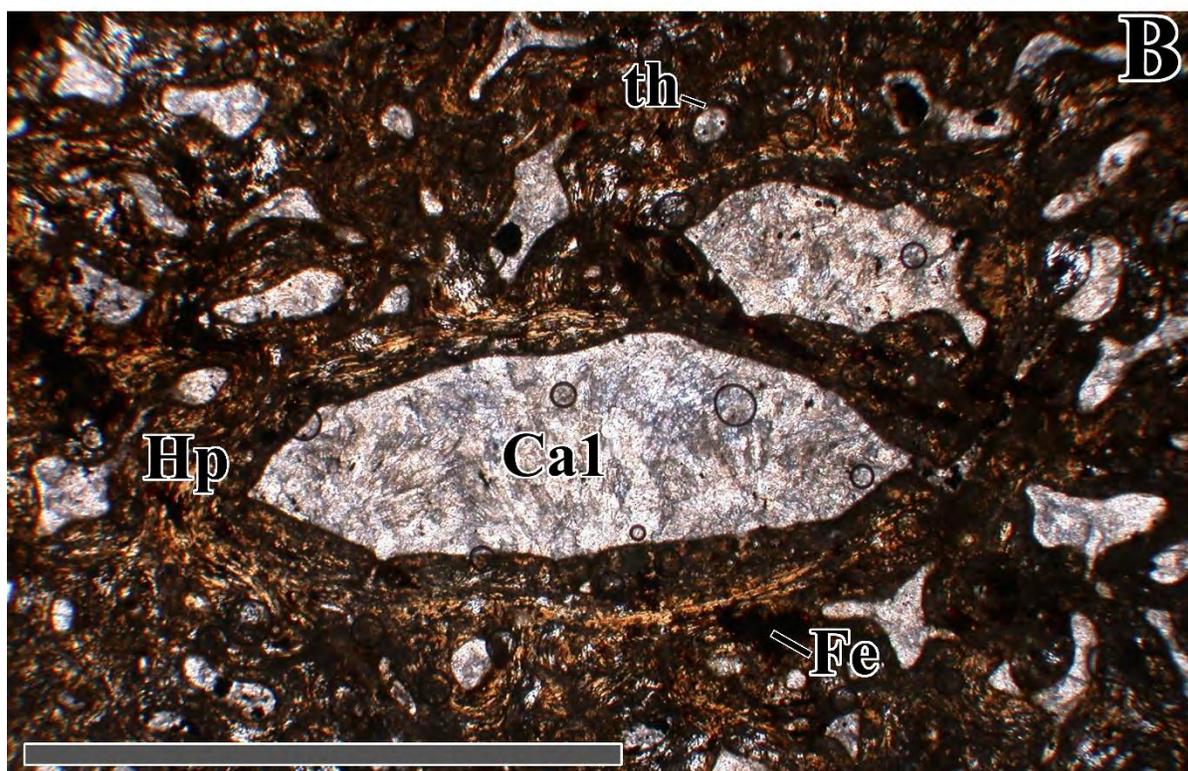
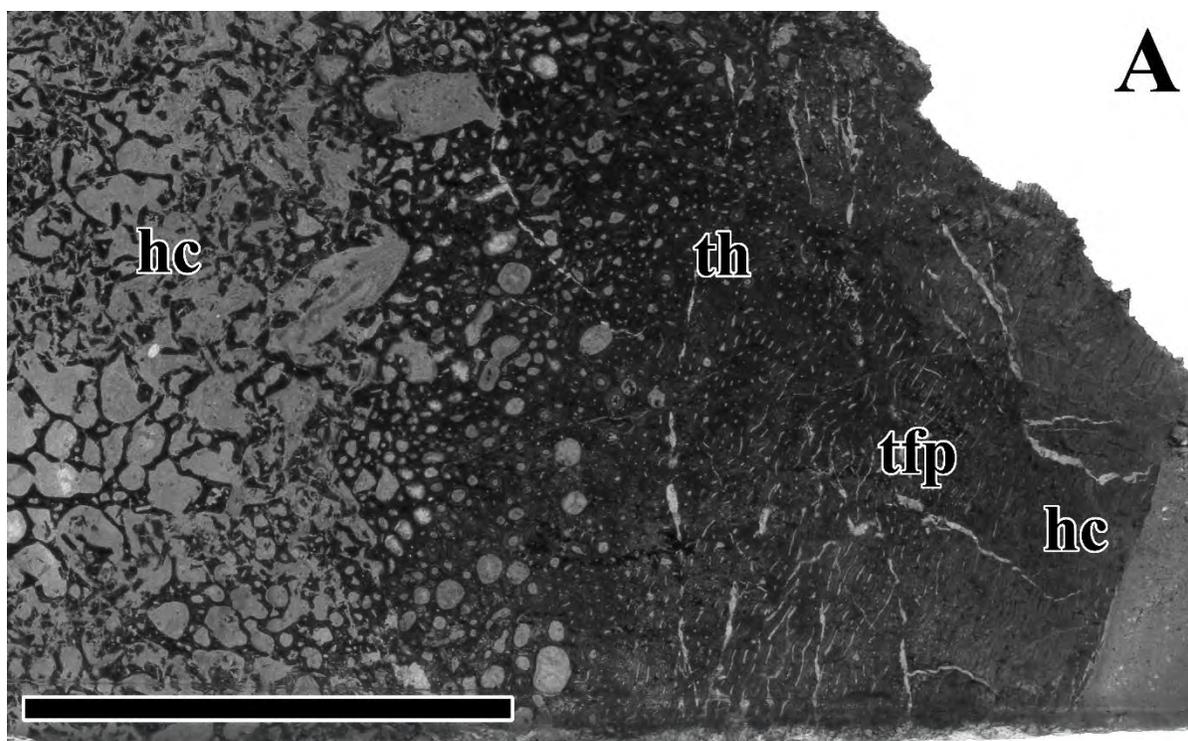


Figura 48. Lámina delgada del fémur ERNO-8632 de hadrosáurido en corte transversal. (A) Lamina en luz reflejada que muestra los diferentes tejidos presentes en el hueso: hueso esponjoso (he), hueso compacto (hc), tejido haversiano (th), tejido fibrolamelar plexiforme (tfp). (B) Detalle microscópico de la lámina en luz polarizada, mostrando las cavidades del hueso esponjoso rellenas de calcita fibrosa (Ca1), con hidroxapatito (Hp) y depositación de óxidos de hierro (Fe). Barra negra de escala mide 1 cm y barra gris 2 mm.

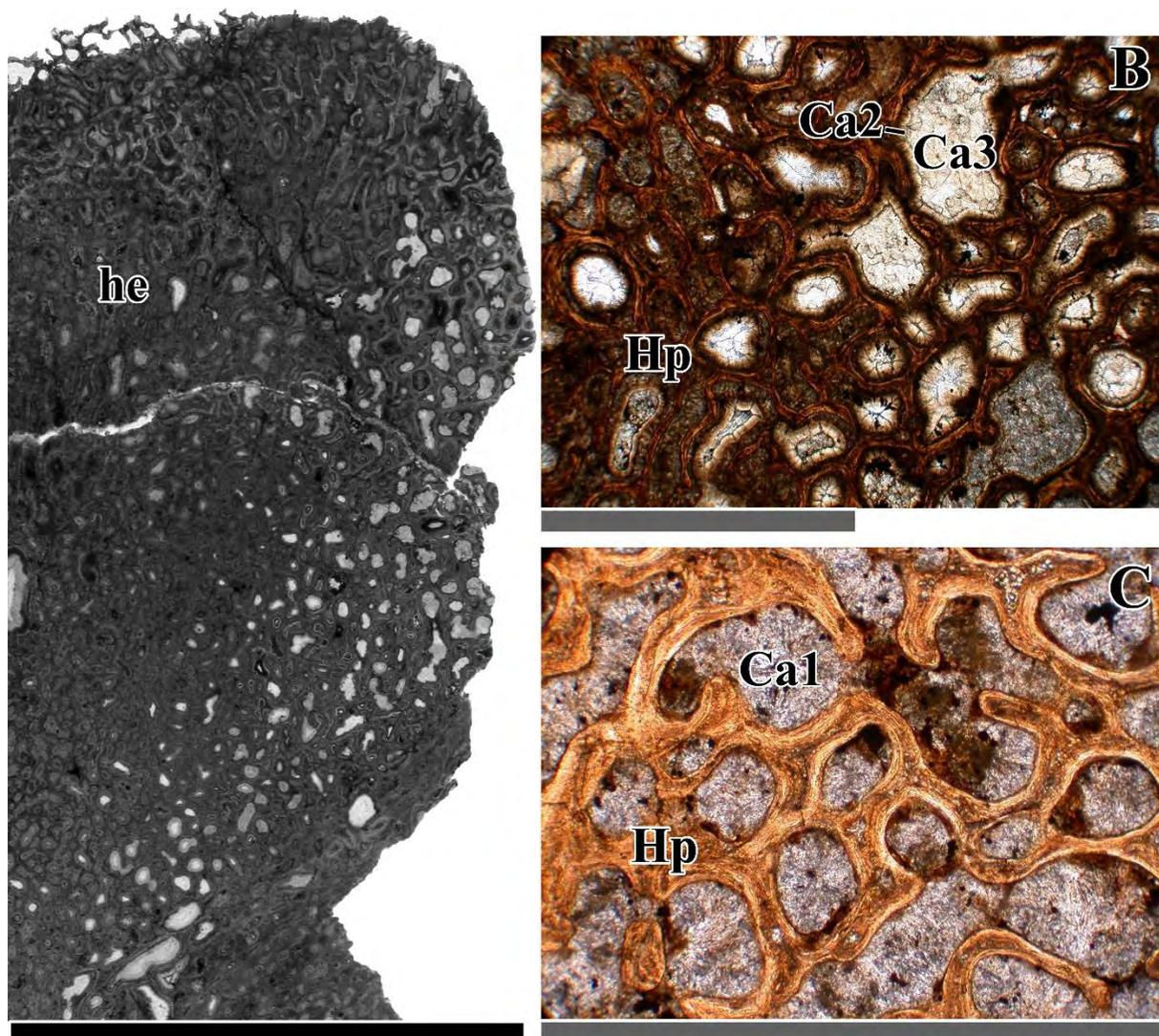


Figura 49. (A) Lámina delgada del cuerpo vertebral ERNO-8626 de hadrosáurido, en luz reflejada mostrando la estructura de hueso esponjoso (he). (B) Detalle microscópico de la lámina en luz polarizada mostrando el relleno de calcita fibrosa radial (Ca2) y calcita en bloques (Ca3) en las cavidades del hueso e hidroxapatito (Hp) formando parte del hueso. (C) Detalle microscópico de la lámina en luz transmitida mostrando el depósito de calcita fibrosa (Ca1) en las cavidades del hueso e hidroxapatito (Hp). Barra negra de escala mide 1 cm, barra gris 2 mm.

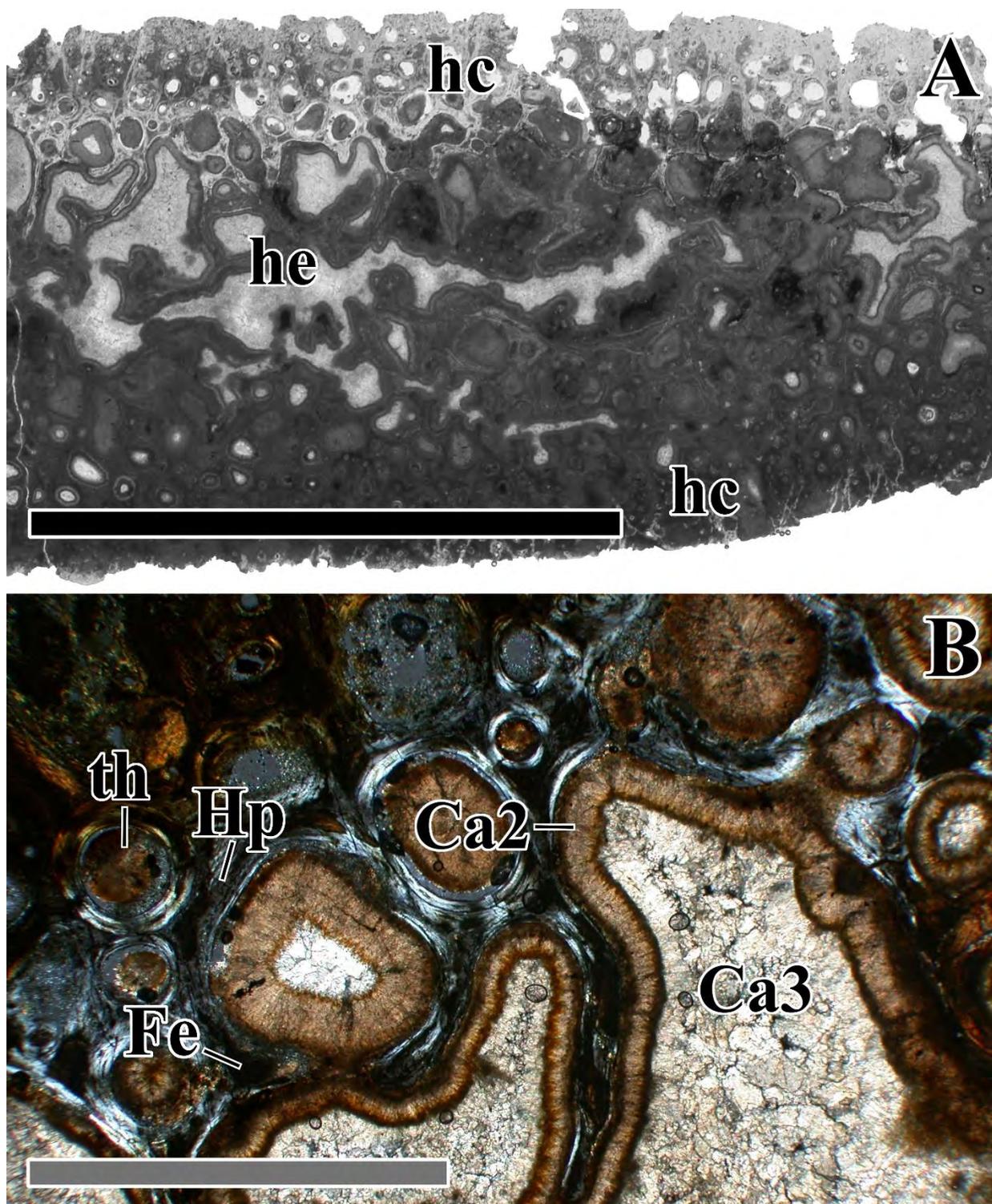


Figura 50. Lámina delgada del hueso pleural de tortuga ERNO-8685. (A) Sección de la lámina en luz reflejada donde se observa la típica estructura diploe con dos capas de hueso compacto (hc) y entre ellas una capa de hueso esponjoso (he). (B) Ampliación de la lámina en luz polarizada donde se observa un canal haversiano (th), la deposición de calcita fibrosa radial (Ca2), calcita en bloques (Ca3) relleno de las cavidades óseas del hueso esponjoso e hidroxapatito (Hp) y óxidos de hierro formando parte del hueso. Barra negra de escala mide 1 cm, barra gris 2 mm.

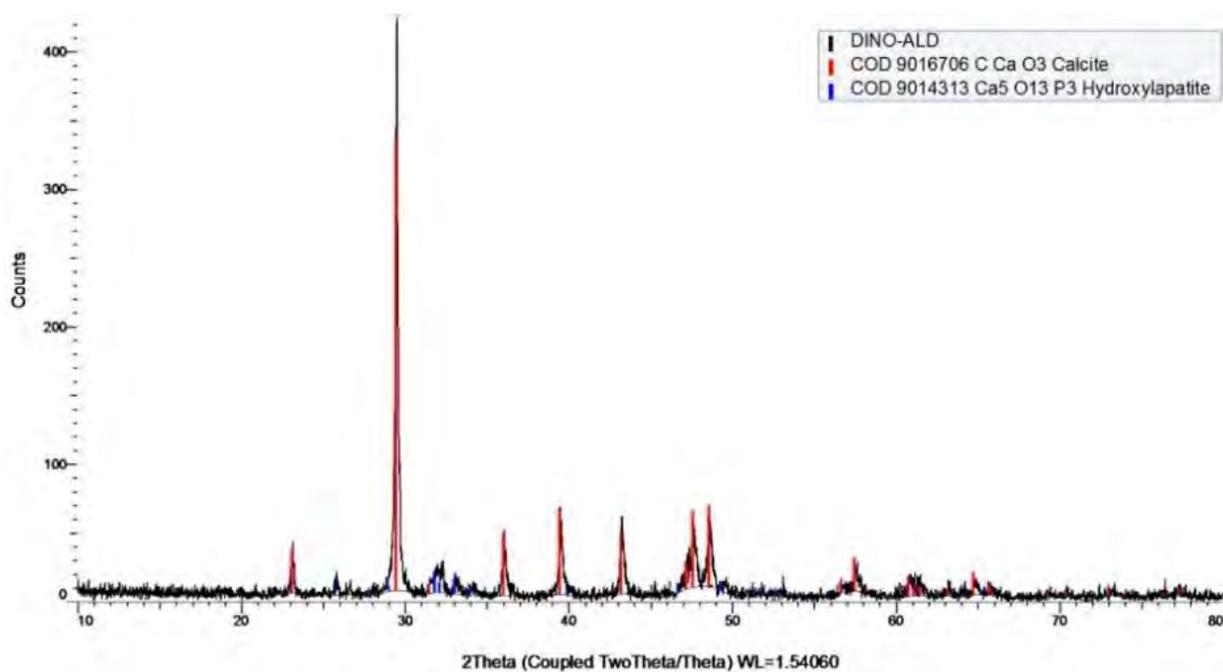


Figura 51. Diagrama de difracción de rayos-X del cuerpo vertebral ERNO-8626, mostrando su composición predominante de calcita e hidroxiapatita.

IX. DISCUSIÓN

IX.1. Estratigrafía

La Formación Corral de Enmedio, al igual que las formaciones vecinas Fort Crittenden y Ringbone fueron asignada por Sullivan y Lucas (2006) a una edad Edmontoniana. Esta correlación es correcta de acuerdo a la datación reciente de entre 73 y 72 Ma que fueron reportadas por González-León et al. (2017) para la sección de Naco y en la cual la Formación Corral de Enmedio ocupa la posición basal de dicha columna estratigráfica (González-León y Lawton, 1995). Sullivan y Lucas (2006) también incluyeron a la Formación Cerro del Pueblo de Coahuila como de edad Kirtlandiana. La Formación Cerro del Pueblo tiene una edad máxima de 72.5 Ma (Eberth et al., 2004) lo cual la hace crono-correlacionable con la Formación Corral de Enmedio. González-León et al. (2017) también notaron que, dado el corto período de tiempo (de aproximadamente 1 millón de años) que llevó en depositarse la gruesa sección de Naco del Grupo Cabullona, que alcanza un espesor de 2.5 km, esto debió haber significado una alta tasa de subsidencia y sedimentación durante su acumulación.

La Formación Corral de Enmedio ha sido considerada como un depósito fluvial y lacustre (p. ej., González-León y Lawton, 1995), sin embargo, en el presente trabajo se ha documentado que las unidades 10 y 11, ubicadas en su parte media corresponden a depósitos marino transicionales ya que contiene capas de caliza con microfósiles planctónicos y carofitas salobres (Figura 9, Capítulo VI, pág. 21). Otras capas de caliza que se tienen en otras unidades de esta formación corresponden a calizas arcillosas con bivalvos y/o gasterópodos lacustres. Dado que las formaciones Corral de Enmedio y Cerro del Pueblo son de aproximadamente la misma edad, es decir de ca. 72 Ma y dado que esta última representa depósitos continentales con intervalos marinos intercalados, puede considerarse que los intervalos 10 y 11 registran una rápida incursión marina desde el Golfo de México a la Cuenca de Cabullona. Esta idea puede ser apoyada por el hecho de que la sección de Naco del Grupo Cabullona representa un depósito sedimentario que se acumuló asociado a rápida subsidencia de la cuenca y el cual estuvo relacionado a eventos tectónicos que ocurrían contemporáneamente en el noroeste de México (González-León et al., 2017).

IX.2. Tafonomía y paleoambientes

La Formación Corral de Enmedio permanece como la unidad relativamente más fosilífera del Grupo Cabullona en Sonora y los fósiles de vertebrados que de ella se han identificado corresponden a dinosaurios carnívoros y herbívoros, cocodrilos, peces y tortugas. Otros vertebrados fósiles que también se han identificado de otras unidades del Grupo Cabullona incluyen a champsosáuridos, de la Lutita Packard, de donde Lucas et al. (1995) reportaron un ejemplar.

A pesar de la variedad y relativa abundancia de estos grupos de organismos en la Formación Corral de Enmedio, a la fecha solo se han encontrado restos desarticulados y mal preservados de ellos. El ejemplar más completo que se ha encontrado en el Grupo Cabullona corresponde a una cadera completa, varias vértebras asociadas, costillas y otros huesos de las extremidades de un hadrosáurido que fue reportado por Duarte-Bigurra (2013) de la región de Fronteras, ubicada ~40 km al sur del área de estudio. La columna estratigráfica de esa localidad sin embargo tiene una edad de 76 Ma (González-León et al., 2017), lo que la hace más antigua que la Formación Corral de Enmedio. El hecho de que no se hayan encontrado vertebrados más completos en la Formación Corral de Enmedio, pudiera deberse a que su área de afloramiento es muy restringida, alcanzando sólo 1.4 km² y por encontrarse formando el centro de un anticlinal que no permite conocer su base, ni su espesor completo.

El registro estratigráfico de la Formación Corral de Enmedio está formado principalmente por superposición cíclica de paquetes de 1) areniscas basales que gradúan hacia la cima a 2) limolitas y lodolitas que tienen intercalaciones de 3) capas delgadas de calizas impuras. El espesor de estos paquetes va de 7 a 40 m, se interpreta fueron formados por procesos de origen fluvial y los subambientes que representan corresponden, de base al techo a: 1) canales de ríos, 2) planicies aluviales y 3) lagos someros de la planicie aluvial. Las areniscas que representan los canales de ríos tienen un máximo de 6 m de espesor, por lo que debieron de haber sido corrientes de baja profundidad. Sin embargo y como se mencionó antes, las unidades 10 y 11 de la Formación Corral de Enmedio fueron depositadas en un ambiente costero y marino-marginal, mientras que el paleocanal basal de la unidad 11 es interpretado como un depósito tipo “bone bed” que fue acumulado durante un evento de inundación fluvial catastrófica.

De los estratos que caracterizan a los ambientes de canales fluviales se identificaron fósiles pertenecientes a las familias: Amiidae, Adocidae, Trionychidae, Ceratopsidae, Hadrosauridae y Ornithomimidae. Sin embargo, los restos más abundantes son los de hadrosáuridos, seguido por los de cetarópsidos y amiidos que en conjunto forman poco más del 80% del total de los fósiles (Figura 52). Esta

mayor proporción de dinosaurios sobre los acuáticos podría deberse a que sus poblaciones fueron más abundantes en las planicies fluviales y al morir sus restos poco a poco fueron integrados a los de canales de los ríos que las atravesaban. En cambio, la menor proporción de restos de organismos acuáticos refleja que fueron poblaciones restringidas que vivieron en lagos pequeños de las planicies aluviales. De estos elementos fósiles, la mayor parte pertenecen al GV I y sólo una pequeña porción corresponden al GV II. Sin embargo, gran parte de los fósiles de este ambiente presentan una abrasión de grado 1 e intemperismo en etapa 2 (Figura 53), lo que indica que sufrieron poco arrastre y un tiempo de exposición al ambiente de al menos 6 años (etapa 2 de Behrensmeier, 1978). Del mismo modo y el hecho de que la Formación Corral de Enmedio no contengan una representación importante de los GV II Y GV III, parecería indicar que ésta solo registra paleocanales de corrientes distales, poco energéticas y quizá secundarios de sistemas fluviales más importantes (pero no registrados en la columna estratigráfica del área) y que consecuentemente no fueron capaces de transportar a los huesos de mayor densidad. Según Wood et al. (1988), en un ambiente fluvial es en los sedimentos que pertenecen a los canales de río donde mejor se encuentran preservados los vertebrados fósiles, tal como ocurre en la Formación Judith River, del Campaniano de Alberta, Canadá, que ellos estudiaron, y ese es un aspecto que parece estar en concordancia con el material fósil encontrado en los canales fluviales de la Formación Corral de Enmedio.

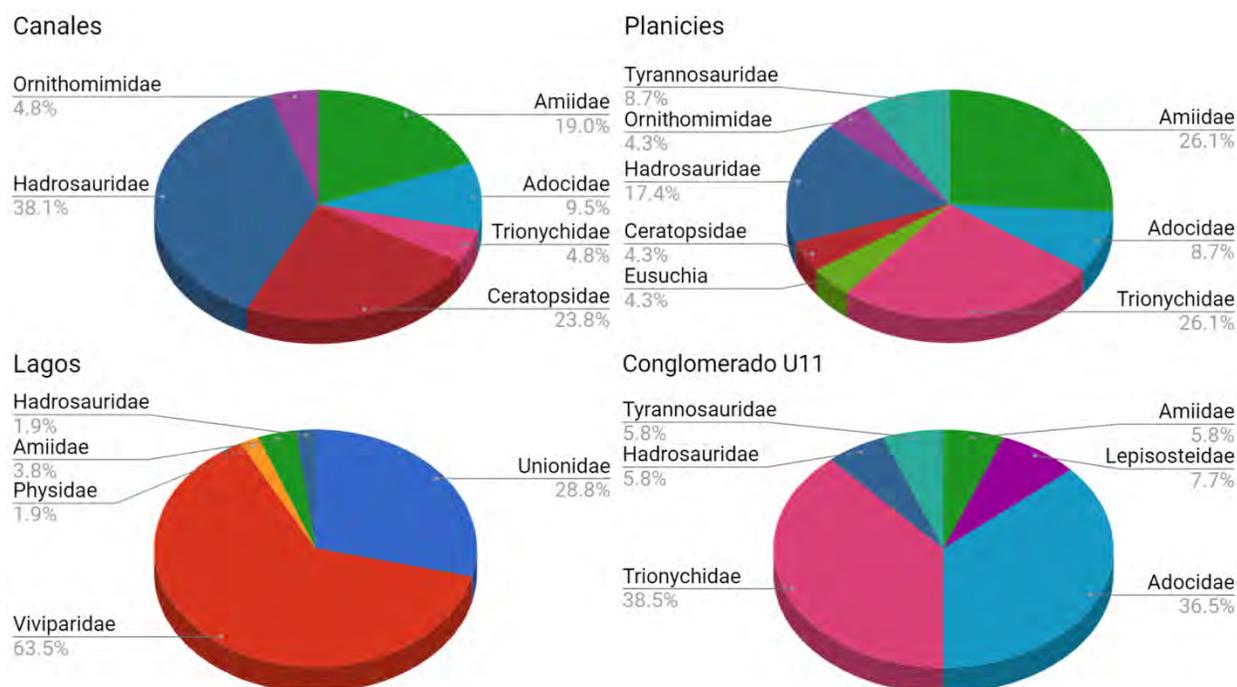


Figura 52. Abundancia de familias identificadas en los diferentes ambientes sedimentarios identificados en la Formación Corral de Enmedio: canales fluviales, planicies de inundación, lagos y la "bone bed" de la Unidad 11.

En la unidad 9 se encontró un fémur (ERNO-360) bien preservado dentro de limolitas de la parte superior de las areniscas basales fluviales que representan bordos de canal. Este hueso sufrió modificaciones menores durante el proceso de transporte en el canal fluvial y probablemente perteneció a un dinosaurio que murió en la planicie aluvial, de donde fue integrado a la corriente. Antes de esto, los restos del animal fueron atacados por carroñeros, como lo indican las marcas de mordidas en el fémur y posteriormente permanecieron en la planicie expuestos por un período de tiempo corto cuando sufrió intemperismo de etapa 1 a 2. Otras características tafonómicas observadas en este hueso son fracturas perpendiculares que se formaron por compactación durante la etapa de enterramiento.

En los estratos fosilíferos de limolitas/lutitas que representan depósitos de planicie de inundación, se identificaron ocho familias taxonomicas: Amiidae, Adocidae, Trionychidae, Eusuchia, Ceratopsidae, Hadrosauridae, Ornithomimidae y Tyrannosauridae. En este ambiente, los restos más abundantes son los de los peces ámidos y las tortugas trioníquidas, seguidos por los hadrosáuridos. Este material es principalmente fragmentario y corresponde a una variada fauna de vertebrados acuáticos, semiacuáticos y terrestres, tanto carnívoros como herbívoros. Se interpreta que estos formaron una paleocomunidad donde posiblemente predominaban los dinosaurios de carácter juvenil y sub-adultos dado la presencia común en los arcos neurales no fusionados de sus vértebras. En estos ambientes seguramente existían altas tasas de depredación y carroñerismo, mientras que otros organismos sufrieron una mortalidad atricial. El hecho de que se presenten restos de cocodrilos y peces podría indicar que estos organismos fueron sacados de los lagos por depredadores, o por carroñeros que los llevaron a las planicies de inundación adyacentes, donde sus restos fueron esparcidos.

Al igual que en los ambientes de paleocanal, en las planicies de inundación se tiene una mayor proporción de elementos de GV I, que de GV II y III. Estos elementos presentan también poca o nula abrasión, que va de grado 1 y en menor proporción alcanza grado 2. Del mismo modo están afectados por intemperismo menor que se clasifica entre las etapas 0 a 2, mientras que muy pocos huesos presentan intemperismo extremo (Figura 53). El hecho de que se presente una mayor proporción de elementos GV I, en este ambiente, pudiera deberse simplemente a que son los más abundantes en los esqueletos de estos organismos, y/o porque los escasos afloramientos de esta formación no descubrieron los elementos más grandes. El diente de tiranosáurido encontrado en la unidad 14 muestra bastantes modificaciones por intemperismo, lo cual no es muy común en este tipo de elementos que son muy resistentes (Argast et al., 1987). Su intemperismo es de etapa 2, graduando a 3 y está muy fracturado, por lo que debió haber permanecido expuesto al medio por un tiempo prolongado (de 2 a 6 años, etapa 2 de Behrensmeier,

1978). Algunos de estos ejemplares tienen también encostramiento calcáreo que pudiera indicar que fueron reelaborados.

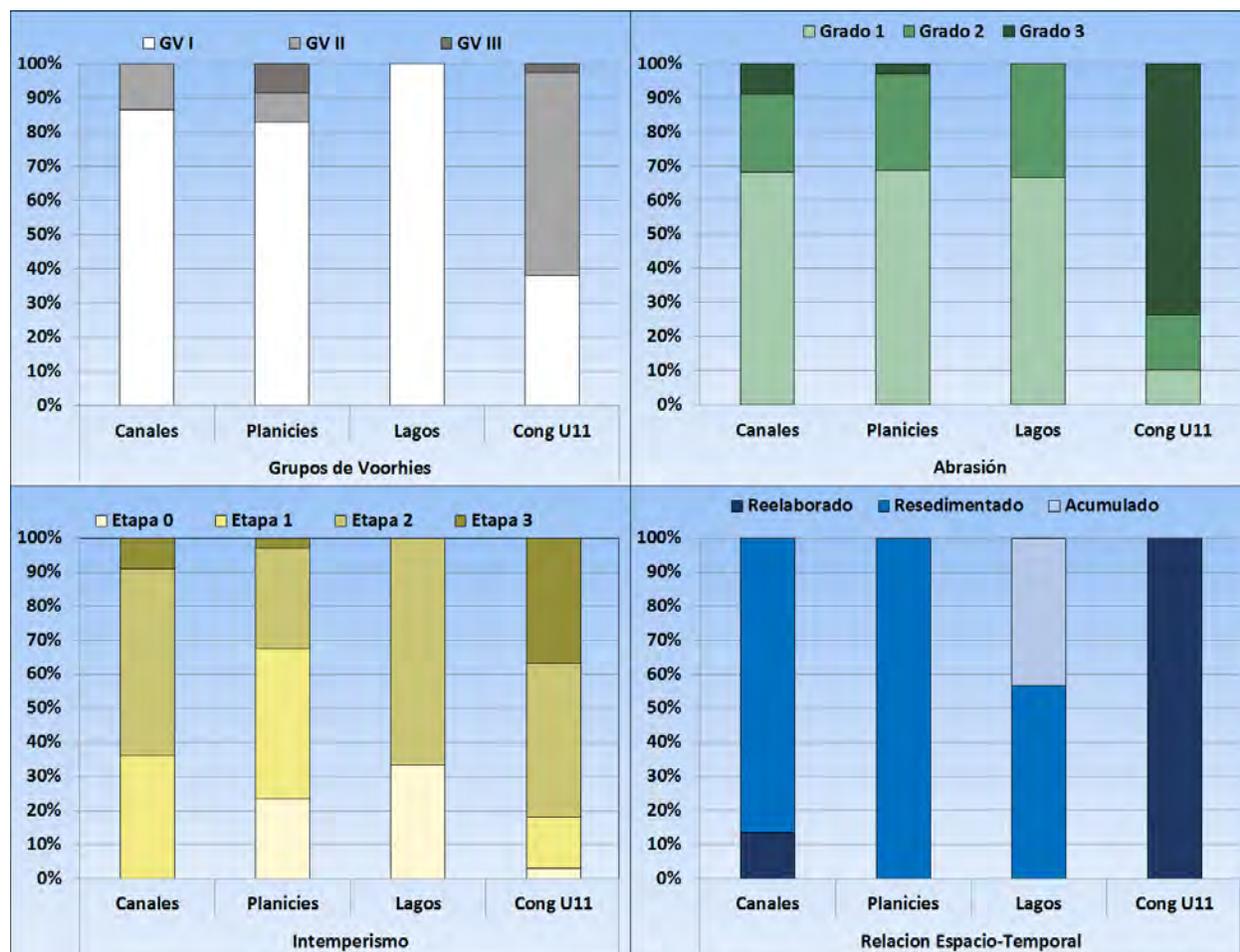


Figura 53. Comparación porcentual de modificaciones tafonómicas de los organismos en relación a los Grupos de Voorhies, Abrasión, Intemperismo y relación Espacio-Temporal en los diferentes ambientes identificados en la Formación Corral de Enmedio. Los Grupos de Voorhies y la meteorización indicada para los fósiles encontrados en los ambientes lacustres solo se refieren a los de vertebrados.

Los niveles de calizas que representan ambientes lacustres, tienen espesores delgados por lo que se interpreta que fueron acumuladas en lagos someros y de corta duración temporal. En estos estratos se encontró la menor diversidad taxonómica que incluye cinco familias: Unionidae, Viviparidae, Physidae, Amiidae y Hadrosauridae. Los moluscos fueron encontrados exclusivamente en estos depósitos y más del 90% de ellos corresponden a Viviparidae y Unionidae. Los géneros *Viviparus* y *Mesolanistes* aquí encontrados han sido también reportados de ambientes de planicie deltaica y lacustres de la Formación Cerro del Pueblo de Coahuila (Perrillat et al., 2008). La mayoría de los bivalvos presentan conchas articuladas y casi completas y abrasión de grado 1, mientras que las conchas de los gasterópodos muestran una mayor abrasión de grado 2 a 3 (Figura 54). La mayor abrasión mostrada por los

gasterópodos pudo haberse producido por retrabajamiento de las conchas de estos organismos epifaunales, una vez que murieron y quedaron expuestos a la energía del fondo de los lagos. En algunos casos se observó aplastamiento de estas conchas, lo que ocurrió por compresión durante el enterramiento y de igual manera, la disolución que presentan pudo haber ocurrido durante el enterramiento y/o cuando permanecieron expuestas a la intemperie, adheridas a los estratos. En estos ambientes únicamente se tienen los cuerpos vertebrales ERNO-8640 de Amiidae y 8654 de Hadrosauridae, como fósiles que forman parte de los GV I.

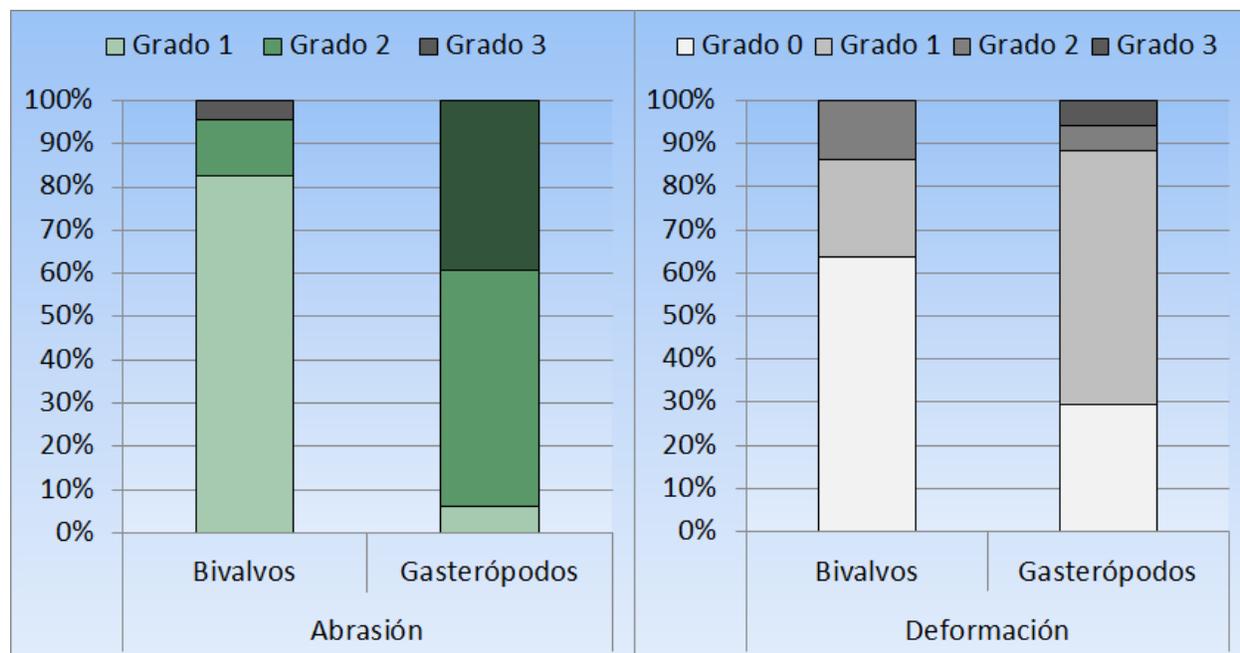


Figura 54. Comparación porcentual de la Abrasión y Deformación en los bivalvos y gasterópodos encontrados en los diferentes depósitos de lago.

El relleno del paleocanal basal de la unidad 11 que lo forman en gran parte intraclastos de caliza y de lodolitas, representa un evento fluvial catastrófico que mezcló clastos derivados de la misma cuenca con granos extracuenca que forman la matriz del conglomerado. Este canal claramente atravesó la planicie aluvial, tal como lo prueban los clastos de nódulos pedogénicos que contiene, derivados de ella, y tuvo la suficiente energía como para llegar a depositar su carga de sedimento dentro del ambiente marino de la unidad 11. Durante su curso, la corriente de este canal también arrastró restos de vertebrados variados que incluyen Amiidae, Lepisosteidae, Adocidae, Trionychidae, Hadrosauridae y Tyrannosauridae. La gran mayoría de los elementos identificados pertenecen al GV II (Figura 52) son fragmentos que parecen pertenecer a huesos largos de extremidades. Más del 70% de los restos presentan una abrasión mayor que la que presentan los restos encontrados en las planicies de inundación, o en los canales de río (Figura 53), la cual haber ocurrido durante el transporte en el derrumbe fluvial, el

cual fue de características más densas y abrasivas. De acuerdo a Wood et al. (1988), este conglomerado puede considerarse como una “bone bed” del tipo 3, correspondiente a un “sitio de microvertebrados” (Figura 55).

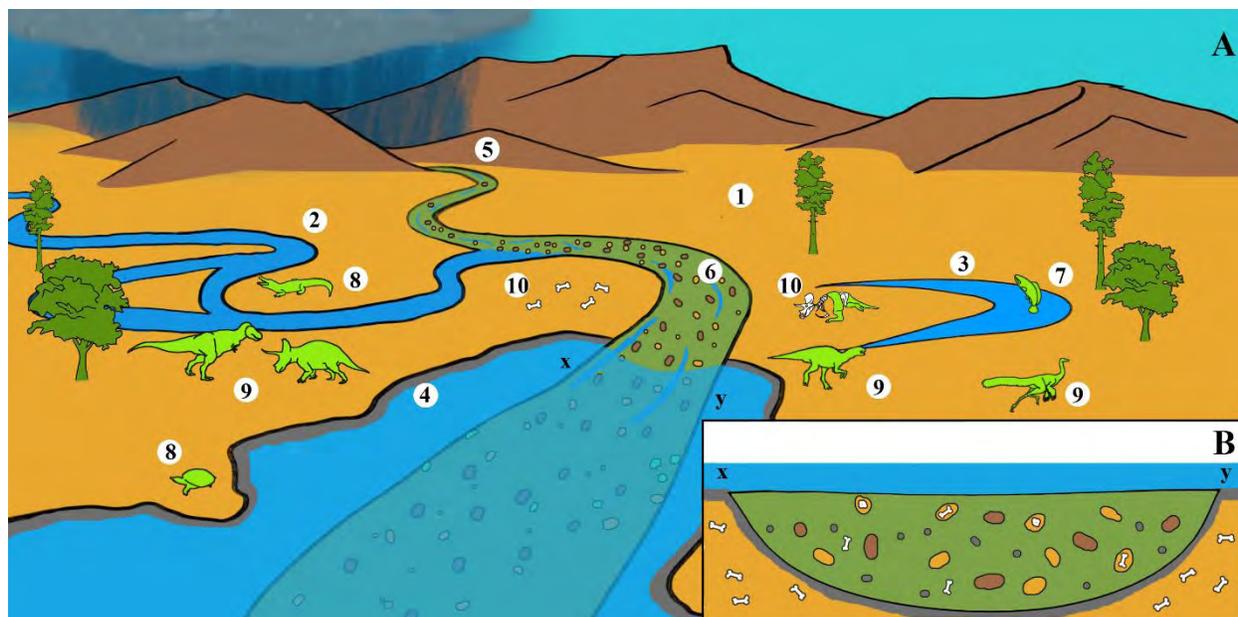


Figura 55. (A) Interpretación paleogeográfica de los ambientes de la Formación Corral de Enmedio durante el depósito de la unidad 11. 1) Planicie de inundación. 2) ríos, 3) lagos someros; 4) ambiente marino marginal; 5) avenida catastrófica que incorporó clastos de la planicie de inundación, fragmentos de huesos y clastos de caliza marina dentro del conglomerado; 6) flujo de detritos que formó al conglomerado polimíctico de la unidad 11; 7) peces; 8) vertebrados anfibios como cocodrilos y tortugas; 9) poblaciones de los diversos grupos de dinosaurios como ceratópsidos, hadrosáuridos, tiranosáuridos y ornitomímidos; 10) restos de organismos expuestos y/o desarticulados. (B) Sección esquemática del paleocanal entrando al ambiente marino somero y depositando el conglomerado polimíctico con extraclastos de roca volcánica derivada de las montañas (fuera de la cuenca), intraclastos de lodolita, nódulos pedogénicos y fragmentos de huesos derivados de la misma cuenca y clastos de caliza del ambiente marino somero.

IX.3. Paleoclima

El clima que prevaleció durante el depósito del Grupo Cabullona ha sido interpretado como caliente y tropical, con grandes ríos y lagos tal como lo prueba su fauna de vertebrados, así como el grueso depósito lacustre y deltaico de la Lutita Packard de dicho grupo (González-León y Lawton, 1995). La Formación Corral de Enmedio se acumuló durante ese escenario paleoclimático de finales del Campaniano.

Varias unidades de la columna estratigráfica de la Formación Corral de Enmedio presentan nódulos carbonatados pedogénicos en ambientes de planicie de inundación (por ejemplo unidades 6, 11, 12, 13 y 14). Finkelstein, et al. (2005) estudiaron la aridez de la Formación Fort Crittenden, del suroeste de Arizona, E. U., donde también identificaron nódulos carbonatados, al igual que “pseudoslickensides”, coloración moteada y estructuras de peds en lodolitas de ambientes de humedales cercanos a los ambientes de lago. Estos son indicadores de procesos formadores de suelo durante las fases más secas de los ciclos húmedos y secos (por ejemplo Mack y James, 1992; Retallack, 2001). Finkelstein, et al. identificaron un patrón de períodos húmedos y áridos en dicha formación. Tomando en cuenta que la Formación Fort Crittenden es correlacionable y vecina con la Formación Corral de Enmedio, apoya la inferencia de que ésta última registra el mismo patrón paleoclimático de períodos húmedos y áridos alternantes. Por otra parte, en Nuevo México, Mack (1992) estudió los paleosuelos del suroeste de ese estado del Aptiano al Campaniano temprano, donde observó un cambio de clima de árido o semiárido a húmedo o subhúmedo hacia el Cretácico Tardío, lo cual concuerda con la inferencia de que el clima durante la acumulación de la Formación Corral de Enmedio fue predominantemente húmedo.

Las vértebras de *Melvius* sp. colectadas en ambientes de canales fluviales, planicies de inundación y lagos de la Formación Corral de Enmedio indican una disponibilidad suficiente de agua para mantener poblaciones de estos organismos, incluso durante las temporadas secas. El tamaño de estos peces nos puede dar una idea de la profundidad que debieron alcanzar los cuerpos de agua para mantener estas poblaciones de peces. Las vértebras de mayor longitud encontradas alcanzan 2 cm. Bryant (1987), realizó una estimación del tamaño del pez *Melvius thomasi* Bryant, 1879, de la Formación Hell Creek, del Cretácico Tardío de Montana y Wyoming basándose en la correlación de mediciones de las vértebras de *Amia calva*, un pez actual de la misma familia. En el presente trabajo se aplicó el método de Bryant (1987) a las vértebras de *Melvius* de la Formación Corral de Enmedio, donde se pudo estimar que estos peces pudieron alcanzar una longitud de 2 m, medida desde la punta del hocico hasta la base de la aleta caudal, de acuerdo al tamaño máximo de las vértebras encontradas (Figura 56).

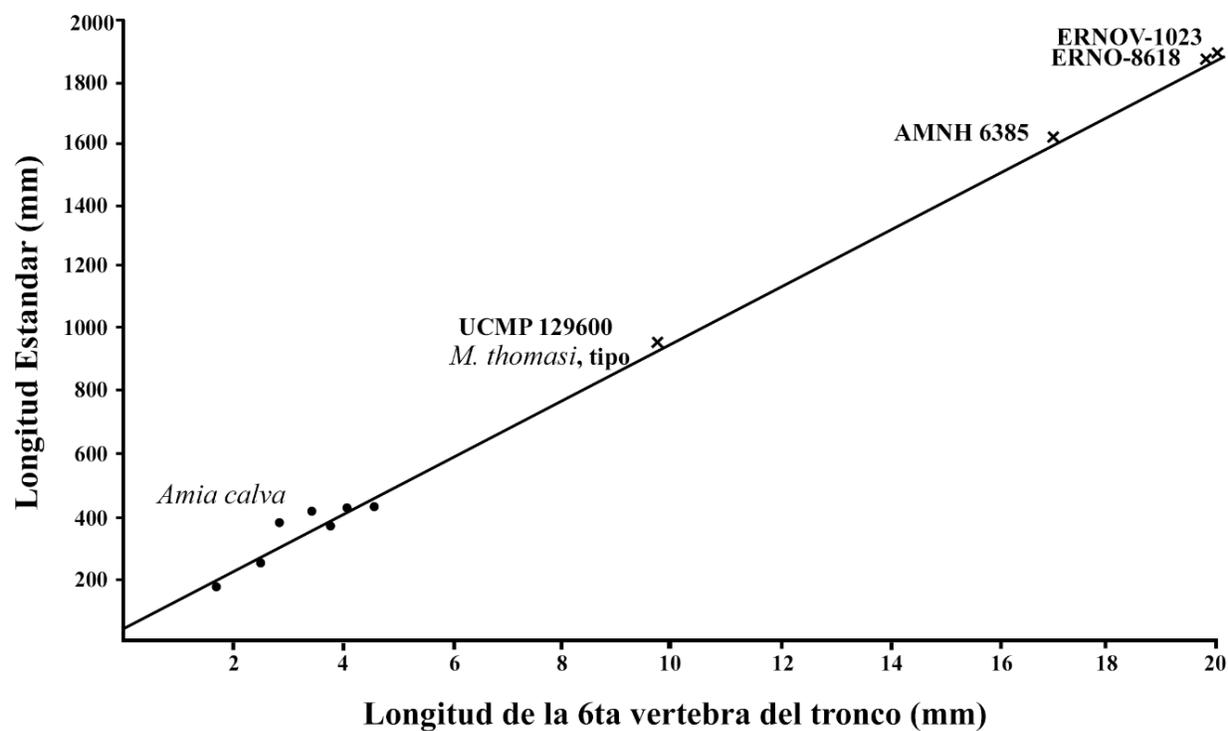


Figura 56. Estimación de la longitud estándar (punta del hocico hasta la base de la aleta caudal) de *Melvius* sp. de acuerdo con mediciones del pez actual *Amia calva* Linnaeus, 1766, y de las vértebras UCMP 129600 y AMNH 6385 de *Melvius thomasi* Bryant, 1879, de la Formación Hell Creek, del Cretácico Tardío de Montana y Wyoming, según Bryant (1987). Se indica el tamaño de las vértebras ERNOV-1023 y ERNO-8618 y el tamaño aproximado de *Melvius* sp. de la Formación Corral de Enmedio. Diagrama modificado de Bryant (1987).

X. CONCLUSIONES

- La Formación Corral de Enmedio es una unidad del Grupo Cabullona que tiene una edad de entre 73 y 72 Ma. El Grupo Cabullona, al igual que otros grupos y formaciones del Cretácico Tardío de Norteamérica representa un paquete de sedimentos continentales con influencia marina que se acumuló en las planicies aluviales y costeras localizadas entre el continente Laramidia y el Mar Interior Cretácico de Norteamérica.
- La columna sedimentaria de la Formación Corral de Enmedio, que tiene un espesor de 230 m, está formada por secuencias cíclicas superpuestas que empiezan en la base con cuerpos de areniscas, seguidos hacia arriba por niveles de limolitas y lodolitas. Estas secuencias se interpreta que fueron formados por sistemas fluviales donde están representados los canales de los ríos y sus planicies de inundación con el desarrollo de lagos someros y de breve duración. Sin embargo, las unidades 10 y 11 de esta formación representan una rápida transgresión marina.
- La fauna identificada en la Formación Corral de Enmedio es muy parecida a la que ha sido reportada de las formaciones vecinas Fort Crittenden y Ringbone, lo que sugiere que constituyó una paleocomunidad regional. Estas tres unidades corresponden en edad con la Edad de Vertebrados Terrestres Edmontoniana. La Formación Corral de Enmedio es también de la misma edad que la Formación Cerro del Pueblo de Coahuila que es continental y marina, donde uno de los eventos transgresivos que registra incursión hasta Sonora a finales del Campaniano.
- Aunque los fósiles de la Formación Corral de Enmedio no son tan abundantes, estos si representan una considerable diversidad faunística de vertebrados terrestres y acuáticos, así como de invertebrados. Los vertebrados están representados principalmente por material fragmentario y desarticulado que muestra diversos grados de modificación tafonómica.
- La mayor diversidad de estos fósiles se tiene dentro de lodolitas y limolitas que se asignan a ambientes de planicies de inundación donde se identificaron especímenes que provienen de ocho familias diferentes. Entre estos se tienen representadas cuatro familias de dinosaurios (Ceratopsidae, Hadrosauridae, Ornithomimidae y Tyrannosauridae), dos familias de tortugas (Adocidae y Trionychiae), un eusúquido, *Melvius* sp. y un gasterópodo no identificado. Los hábitats de estos organismos se interpreta que fueron las planicies de inundación, y los peces pudieron haber sido sacados de los ríos y/o lagos por depredadores o carroñeros.
- Dentro de los depósitos que representan ambientes de canal fluviales se encontraron huesos que pertenecen a seis familias de vertebrados siendo abundantes los restos de tortugas y la frecuencia de los hadrosáuridos. Esto se debe a que los canales de río reelaboran el material de las planicies de inundación y lo incorporan a estos depósitos.

- En las calizas que representan ambientes lacustres dentro de los sedimentos de planicie de inundación, se identificaron restos de cinco familias (Hadrosauridae, Amiidae, Physidae, Unionidae y Viviparidae), donde las especies de moluscos identificadas son exclusivos de este ambiente. En estas rocas se presentan casi exclusivamente unioides y vivíparos y solo algunas vertebras de amiidos y hadrosáuridos.
- La “Bone bed” de la unidad 11 es rica en fragmentos que incluyen a la mayoría de las familias de vertebrados que se tienen en la Formación Corral de Enmedio, como tortugas, dinosaurios, peces, amiidos y lepisostéidos. El 76% de los fósiles colectados muestran un grado de abrasión 2, debido a las características abrasivas del flujo de detritos.
- Los ejemplares fósiles estudiados sufrieron diferentes procesos y grados de modificación tafonómica, dependiendo del ambiente donde fueron depositados. En las planicies de inundación los fósiles fueron resedimentados y presentan desgaste, redondeamiento y rompimiento por transporte y quizá también por aplastamiento de otros organismos, procesos que son comunes en este tipo de ambientes. Los fósiles encontrados en las areniscas que forman los rellenos de canales de río, aparte de presentar resedimentación y los procesos mencionados para las planicies de inundación, también fueron modificados hidráulicamente cuando el río los arrastró desde las mismas planicies. Los fósiles de los ambientes lacustres, mayormente los bivalvos y gasterópodos, sufrieron procesos tafonómicos menores debido a que al parecer se trató de lagos someros y de baja energía.
- Las condiciones paleoclimáticas al momento de la depositación de la Formación Corral de Enmedio debieron haber sido húmedas o semihúmedas, con abundante agua para mantener la presencia de un ecosistema con poblaciones de organismos variados y de gran tamaño como eran los dinosaurios. Sin embargo, esta región debió haber sufrido períodos menores y ocasionales de sequía tal como lo sugieren las capas o niveles delgados con nódulos carbonatados, pedogénicos que se intercalan dentro de los sedimentos de las planicies de inundación.
- La Formación Corral de Enmedio registra una rápida incursión marina, representada por las unidades 10 y 11, la cual está indicada por la presencia de foraminíferos planctónicos mezclados con restos de carofitas continentales dentro de calizas micritas. Esta fauna mezclada indica un ambiente transicional entre continental y marino para la parte media de esta formación.

XI. LITERATURA CITADA

- Alcalá-Martínez, L. 1994. Macromamíferos neógenos de la fosa de Alambra-Teruel. Instituto de Estudios Turolenses (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España.
- Almeida, L. y Martínez, E. 1982. Estudio palinológico preliminar del Cretácico Superior de la Cuenca de Cabullona, Sonora, México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Congreso de Paleobotánica y Palinología, México, D. F., Memoria, 3: pp 213-227.
- Anderson, B. G., Lucas, S. G., Barrick, R. E., Heckert, A. B. y Basabivazo, G. T. 1998. Dinosaur skin impressions and associated skeletal remains from the Upper Campanian of southwestern New Mexico; New data on the integument morphology of hadrosaurs. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18: pp 739-445.
- Argast, S., Farlow, J. O., Gabet, R. M. y Brinkman, D. L. 1987. Transport-induced abrasion of fossil reptilian teeth: Implications for the existence of Tertiary dinosaurs in the Hell Creek Formation, Montana. *Geology*, 15(10): pp 927-930.
- Basabivazo, G. T. 1991. Stratigraphy, depositional environments, and sediment dispersal pathways of the Upper Cretaceous Ringbone Formation in the Little Hatchet Mountains of Southwestern New Mexico (Tesis Doctoral). New Mexico State University.
- Basabivazo, G. T. 2000. The Upper Cretaceous Ringbone Formation, Little Hatchet Mountains, southwestern New Mexico. *New Mexico Geological Society*, pp 203-210.
- Behrensmeyer, A. K. 1975. The Taphonomy and Paleocology of Plio-Pleistocene Vertebrate Assemblages East of Lake Rudolf, Kenya (Tesis Doctoral). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, Harvard University*, 145 (10): pp 473-574.
- Behrensmeyer, A. K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4(2), 150 -162.
- Behrensmeyer, A. K. 2007. Bonebeds through time en Rogers et al., *Bonebeds: Genesis, analysis, and paleobiological significance*. The University of Chicago Press, 65-102.
- Blakey, R. 2011. Paleogeography and geologic evolution of North America. On-line Accesible: <http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/nam.html>.
- Bryant, L. J. 1987. A new genus and species of Amiidae (Holostei: Osteichthyes) from the Late Cretaceous of North America, with comments on the Phylogeny of the Amiidae. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 7(4): pp 349-361.
- Clark, J., Beerbower, J. R. y Kietzke, K. K. 1967. Oligocene sedimentation, stratigraphy and paleoclimatology in the Big Badlands of South Dakota. *Fieldiana Geology*, 5.
- Clinkscapes, C. A. y Lawton, T. F. 2014. Timing of Late Cretaceous shortening and basin development, Little Hatchet Mountains, Southwestern New Mexico, USA - Implications for Regional Laramide Tectonics: *Basin Research*, pp 1-20.

- Cobban, W. A. y Reeside, J. B. 1952. Correlation of the Cretaceous formations of the Western Interior of the United States. *Geological Society of America Bulletin*, 63: pp 1011-1044.
- Damuth, J. 1982. Analysis of the preservation of community structure in assemblages of fossil mammals. *Paleobiology*, 8: pp 434-446.
- Dodson, P. 1971. Sedimentology and taphonomy of the Oldman formation (Campanian), dinosaur provincial park, Alberta (Canada). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 10(1), 21-74.
- Drewes, H. 1971. Mesozoic Stratigraphy of the Santa Rita Mountains, southeast of Tucson, Arizona. US Geological Survey Professional Paper.
- Duarte-Bigurra, R. 2013. Descripción de dos esqueletos parciales de Hadrosauridae (Dinosauria: Ornithischia) del Cretácico Superior de la región de Fronteras, Sonora, México (Tesis de Licenciatura). Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Eberth, D. A., Delgado-de Jesus, C. R., Lerbekmo, J. F., Brinkman, D. B., Rodríguez-de la Rosa, R. A. y Sampson, S. D. 2004. Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin southern Coahuila, Mexico: reference sections, age, and correlation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(3): pp 335-352.
- Eberth, D. A. y Currie, P. J. 2005. Vertebrate taphonomy and taphonomic modes. En: Currie, P.J., Koppelhus, E.B. (eds.), *Dinosaur Provincial Park: A Spectacular Ecosystem Revealed*. Indiana University Press, pp. 453-477.
- Efremov, I. A. 1940. Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*. 74: pp 81-93.
- Fernández-López, S. 1984. Nuevas perspectivas de la tafonomía evolutiva: tafosistemas y asociaciones conservadas. *Estudios Geol.*, 40: pp 215-224.
- Finkelstein, D. B., Pratt, L. M., Curtin, T. M., y Brassell, S. C. 2005. Wildfires and seasonal aridity recorded in Late Cretaceous strata from south-eastern Arizona, USA. *Sedimentology*, 52(3), pp 587-599.
- Fiorillo, A. R. 1988. Taphonomy of Hazard Homestead Quarry (Ogallala Group), Hitchcock County, Nebraska. *Rocky Mountain Geology*, 26(2): pp 57-97.
- Fowler, D. W. 2017. Revised geochronology, correlation, and dinosaur stratigraphic ranges of the Santonian-Maastrichtian (Late Cretaceous) formations of the Western Interior of North America. *PLoS ONE*, 12(11): e0188426.
- Francillon-Vieillot, H., de Buffrénil, V., Castanet, J., Géraudie, J., Meunier, F.J., Sire, J. Y., Zylberberg, L. y de Ricqlés, A. 1990. Microstructure and mineralization of vertebrate skeletal tissues. En: J.G. Carter (ed.), *Skeletal biomineralization: patterns, processes and evolutionary trends*, Vol. 1. Van Nostrand Reinhold, Nueva York, pp 471-530.
- Gates, T. A., Makovicky, P. J. y Rieppel, O. 2010. Microvertebrate fauna from the Maastrichtian (Late Cretaceous) "Sue" Quarry: Implications for microsite origination and fine-scaled Hell Creek Formation biodiversity. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 94.

- González-León, C. M. 1994. Stratigraphy, Depositional Environments and Origin of the Cabullona Basin, Northeastern Sonora, Mexico (Tesis Doctoral). University of Arizona.
- González-León, C. M. y Lawton, T. F. 1995. Stratigraphy, depositional environments, and origin of the Cabullona basin, northeastern Sonora. Geological Society of America, Special Paper, 301: pp 121-142.
- González-León, C., Solari, L., Madhavaraju, J., 2017, Stratigraphy, geochronology and regional tectonic setting of the Late Cretaceous (ca. 82-70 Ma) Cabullona basin, Sonora, Mexico: Journal of South American Earth Sciences, v. 80, p. 494-511
- Hayes, M. J. 1986. Sedimentology, stratigraphy, and paleogeography of the Fort Crittenden Formation (Upper Cretaceous), southeastern Arizona. Tesis de Maestría: Tucson, University of Arizona, 127.
- Hayes, M. J. 1987. Depositional history of Upper Cretaceous Fort Crittenden Formation in southeastern Arizona. Arizona Geological Society Digest, 18: pp 315-325.
- Heckert, A. B., Lucas, S. G. y Krzyzanowski, S. E. 2003. Vertebrate fauna of the late Campanian (Judithian) Fort Crittenden Formation, and the age of Cretaceous vertebrate fauna of southern Arizona. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlung, 227: pp 343-364.
- Huxley, T. H. 1875. On *Stagonolepis robertsoni*, and on the evolution of the Crocodilia. Quarterly Journal of the Geological Society, 31(1-4): pp 423-438.
- Jennings, G. R., Lawton, T. F. y Clinkscales, C. A. 2013. Late Cretaceous U-Pb tuff ages from the Skunk Ranch Formation and their implications for age of Laramide deformation, Little Hatchet Mountains, southwestern New Mexico, U.S.A. Cretaceous Research, 42: pp 18-25.
- Johnson, R. G. 1957. Experiments on the burial of shells. The Journal of Geology, 65: pp 527-535.
- Johnson, R. G. 1960. Models and methods for analysis of the mode of formation of fossil assemblages: Geological Society of America Bulletin, 71: pp 1075-1086.
- Lawrence, D. R. 1968. Taphonomy and information losses in fossil communities. Geological Society of America Bulletin, 79: pp 1315-1330.
- Lawton, T. F., Talling, P. J., Hobbs, R. S., Trexler Jr, J. H., Weiss, M. P. y Burbank, D. W. 1993. Structure and stratigraphy of Upper Cretaceous and Paleogene strata (North Horn Formation), eastern San Pitch Mountains, Utah; sedimentation at the front of the Sevier orogenic belt, 1787: pp II.
- Lehman, T. M. 2001. Late Cretaceous dinosaur provinciality. En D. H. Tanke y K. Carpenter. Mesozoic Vertebrate Life. Indiana University Press, Bloomington, 310-328.
- López-Higuera, A., Martínez-Hernández, E. y González-León, C. M. 2008. Upper cretaceous pollen from the Cabullona basin, northeastern Sonora, Mexico. En: 12th International Palynological Congress, 8th International Organisation of Paleobotany Conference. Abstract Volume, Bonn Germany, Terra Nostra, 424.
- Lucas, S. G., Basabivazo, G. y Lawton, T. F. 1990. Late Cretaceous dinosaurs from the Ringbone Formation, Southwestern New Mexico, U.S.A. Cretaceous Research, 11: pp 343-349.

- Lucas, S. G. y González-León, C. M. 1990. Reporte preliminar sobre dinosaurios del Cretácico Tardío de la Cuenca de Cabullona. Boletín Departamento Geología Universidad de Sonora, 7: pp 1-6.
- Lucas, S. G., Kues, B. S. y González-León, C. M. 1995. Paleontology of the Upper Cretaceous Cabullona Group, northeastern Sonora. En: Jacques-Alaya C., González-León C. y Roldán-Quintana J. (eds.) Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas. Geological Society of America Special Paper, 301: pp 143-150.
- Lucas, S. G. y González-León, C. M. 1996. Dinosaurios del Cretácico Tardío del Grupo Cabullona, Sonora. Geología del Noroeste, 1: pp 20-25.
- Lucas, S. G., Heckert, A. B. y Sullivan, R. M. 2000. Cretaceous dinosaurs in New Mexico. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 17: pp 83-90.
- Lucas, S. G. y Heckert, A. B. 2005. Distribution, age and correlation of Cretaceous fossil vertebrates from Arizona. New Mexico Museum of Natural History and Science, 29: pp 105-110.
- Lucas, S. G., Sullivan, R. M., Lichtig, A. J., Dalman, S. G. y Jasinski, S. E. 2016. Late Cretaceous dinosaur biogeography and endemism in the Western Interior Basin, North America: a critical re-evaluation. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 71: pp 195-213.
- Mack, G. H. 1992. Paleosols as an indicator of climatic change at the early-late Cretaceous boundary, southwestern New Mexico. Journal of Sedimentary Research, 62(3): pp 483-494.
- Mack, G. H. y James, W. C. 1992. Paleosols for Sedimentologists, Short Course Notes. Geological Society of America, Boulder, Colorado, pp 127.
- McCord, R. D., II. y Tegowski, B. J. 1996. Mesozoic vertebrates of Arizona II. Cretaceous. Fossils of Arizona Symposium, 4: pp 45-54.
- McCord, R. D., II. 1997. An Arizona titanosaurid sauropod and revision of the Late Cretaceous Adobe fauna. Journal of Vertebrate Paleontology, 17: pp 620-622.
- McCord R. D., II., Tegowski, B. J. y Scarborough, R. 2001. Ongoing research in the Late Cretaceous Fort Crittenden Formation, southeastern Arizona: the non-dinosaurian vertebrate fauna. Mesa Southwest Museum Bulletin, 8: pp 65-71.
- Miller, H. W. 1964. Cretaceous dinosaurian remains from southern Arizona. Journal of Paleontology, 38: pp 378-384.
- Miller, H. W. y Schwab, K. W. 1966. Microfossils from the Upper Cretaceous of Adobe Canyon, southern Arizona. Arizona Geological Society Digest, 8: pp 65-95.
- Myers, T. P., Voorhies, M. R. y Corner, R. G. 1980. Spiral fractures and bone pseudotools at paleontological sites. American Antiquity, 45(3): pp 483-490.
- Olson, E. C. 1952. The evolution of a Permian vertebrate chronofauna. Evolution, 6: pp 181-196.
- Perrilliat, C., Vega, F., Espinosa, B. y Naranjo-García, E. 2008. Late Cretaceous and Paleogene freshwater gastropods from northeastern Mexico. Journal of Paleontology, 82(2): pp 255-256.

- Ratkevicj, R. y Duffek, K. 1996. Small macro- and larger micro- vertebrate fauna of the Fort Crittenden Formation, southern Arizona. *Proceedings of the Fossils of Arizona Symposium*, 4: pp 15-120.
- Reid, R. E. H. 1996. Bone Histology of the Cleveland-Lloyd dinosaurs and of dinosaurs in general. Part I: Introduction to Bone Tissues. *Brigham Young University Geological Studies* 41: pp 25–71.
- Retallack, G. 1988. Down-to-earth approaches to vertebrate paleontology. *Palaios*, 3: pp 335-344.
- Retallack, G.J. 2001. *Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology*. Blackwell Science, Oxford.
- Rogers, R. R. y Kidwell, S. M. 2007. A Conceptual framework for the genesis and analysis of vertebrate skeletal concentrations en Rogers et al. *Bonebeds. Genesis, analysis and paleobiological significance*. The University of Chicago Press, pp 1-64.
- Russell, L. S. 1975. Mammalian faunal succession in the Cretaceous System of western North America. *Geological Association of Canada Special Paper*, 13: pp 137-161.
- Salgado-Murrieta, J. H. 2003. *Estratigrafía y paleontología de vertebrados de la Formación Corral de Enmedio del Cretácico Superior, Grupo Cabullona, noreste de Sonora (Tesis de Licenciatura)*. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Serrano-Brañas, C. I. y Reyes-Luna P. C. 2014. Paleobotánica forense: Una aproximación a la tafonomía de plantas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1): pp 25-39.
- Serrano-Brañas, C. I., Torres-Rodríguez, E., Reyes-Luna, P. C., González-Ramírez, I. y González-León, C. M. 2016. A new ornithomimid dinosaur from the Upper Cretaceous Packard Shale formation (Cabullona Group) Sonora, México, *Cretaceous Research*, 58: pp 49-62.
- Serrano-Brañas, C. I., Gutiérrez-Blando, C., Duarte-Bigurra, R. y González-León, C. M. 2017. First occurrence of tyrannosaurid theropods from the Corral de Enmedio Formation (Upper Cretaceous) Sonora, Mexico. *Cretaceous Research*, 75: pp 81-93.
- Shotwell, J. A. 1955. An approach to the Paleoecology of Mammals. *Ecology*, 36: pp 327-337.
- Sullivan, R. M. y Lucas, S. G. 2006. The Kirtlandian land-vertebrate “age”-faunal composition, temporal position and biostratigraphic correlation in the nonmarine Upper Cretaceous of western North America. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 35: pp 7-29.
- Taliaferro, N. L. 1933. An occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern Sonora, Mexico. *Journal of Geology*, 41: pp 12-37.
- Villanueva-Amadoz, U., González-León, C.M., Solari, L., Calvillo-Canadell, L. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2014. Dating of the Uppermost Part of the Cabullona Group in Esqueda (Sonora, Mexico). En: Rocha R. et al. (eds.), *STRATI 2013 Springer Geology 2014*, pp 1207-1209.
- Voorhies, M. 1969. Taphonomy and population dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska. *Universidad de Wyoming. Special Paper*, 1: pp 69.
- Walker, J. D., Geissman, J. W., Bowring, S. A. y Babcock, L. E. 2013. The Geological Society of America Geologic Time Scale. *The Geological Society of America Bulletin*, 125(3-4): pp 259-272.

Wood, J. M., Thomas, R. G. y Visser, J. 1988. Fluvial processes and vertebrate taphonomy: The Upper Cretaceous Judith River Formation, south-central Dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 66: pp 127-143.

Zeller, R. A., Jr. 1970. Geology of the Little Hatchet Mountains, Hidalgo and Grant counties, New Mexico. *New Mexico Bureau of Mines and Minerals Resources*, 96: pp 22.