

## Estratigrafía y paleontología del Grupo Cabullona (Campaniano-Maastrichtiano), noreste de Sonora. Síntesis para una excursión a la Cuenca Cabullona

### *Stratigraphy and paleontology of the Cabullona Group (Campanian-Maastrichtian), northeastern Sonora. Synthesis for an excursion to the Cabullona Basin*

González-León, Carlos M.<sup>1,\*</sup>; Serrano-Brañas, Claudia Inés<sup>2</sup>;  
Villanueva-Amadoz, Uxue<sup>1</sup>; Scott, Robert W.<sup>3</sup>; Duarte Bigurra, Rubén<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus UNISON, 83000, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>2</sup> Benemérita Escuela Normal de Coahuila, Calzada de los Maestros 858, Zona Centro Poniente, Saltillo, Coahuila, 25000, México.

<sup>3</sup> Precision Stratigraphy Associates, 149 West Ridge Road, Cleveland OK, 74020.

<sup>4</sup> Inglaterra 4, Residencial Breña, Hermosillo, Sonora, México, 83148.

\* [cmgleon@unam.mx](mailto:cmgleon@unam.mx)

#### Resumen

La Cuenca Cabullona, ubicada en el noreste de Sonora, se formó como una depresión cortical asociada a la falla Cabullona, la cual a su vez formó al levantamiento de la Sierra Anibacachi-Cerro Cabullona. Su relleno sedimentario fue asignado al Grupo Cabullona por Taliaferro (1933), quien también nombró a las formaciones Arenisca Camas, Lutita Packard y Lomas Coloradas para la parte más joven del Grupo. Posteriormente González-León y Lawton (1995) reconocieron a las formaciones Conglomerado El Cemento y Corral de Enmedio. La sucesión sedimentaria del Grupo Cabullona alcanza un espesor mínimo de 4.5 km y consiste de lutita, arenisca y conglomerado que fueron depositadas en ambientes de abanicos aluviales, ríos, lagos y deltas, y también registra una breve incursión marina en calizas de la Formación Corral de Enmedio. La edad del Grupo Cabullona, del Campaniano al Maastrichtiano temprano indicada por algunos de sus fósiles, coincide con su edad U-Pb de entre  $81.9 \pm 0.7$  a  $69.8 \pm 0.7$  Ma obtenida del fechamiento isotópico de capas de rocas volcánicas intercaladas en los sedimentos. Las rocas de este grupo contienen una diversidad de restos fósiles de organismos terrestres y acuáticos que incluyen a dinosaurios, peces, tortugas, lagartijas, cocodrilos, plantas (madera, impresiones de hojas, carofitas y polen), bivalvos, gasterópodos y en menor abundancia microfósiles de origen marino. De acuerdo a los ambientes interpretados en que fueron depositadas estos sedimentos y por los fósiles que contienen, se puede inferir que, a finales del Período Cretácico, en esta región de Sonora prevalecían climas húmedos, existían grandes ríos y lagos, y una abundante vegetación que sostenía a vertebrados de tamaños grandes entre los que destacaban los dinosaurios herbívoros y carnívoros. Esta región se localizaba también en una posición cercana a las costas de un mar que se encontraba hacia el oriente, cubriendo gran parte del norte de México.

**Palabras clave:** Cretácico Tardío, Cuenca Cabullona, dinosaurios, Museo de Fronteras, Sonora.

**Cómo citar / How to cite:** González León, C.M., Serrano-Brañas, C.I., Villanueva-Amadoz, U., Scott, R.W. & Duarte Bigurra, R. (2022). Estratigrafía y paleontología del Grupo Cabullona (Campaniano-Maastrichtiano), noreste de Sonora. Síntesis para una excursión a la Cuenca Cabullona. *Paleontología Mexicana*, 11 (2), 87-110.

Manuscrito recibido: Octubre 4, 2022.

Manuscrito corregido: Noviembre 4, 2022.

Manuscrito aceptado: Noviembre 8, 2022.



## Abstract

The Cabullona Basin, located in northeastern Sonora, was formed as a crustal depression associated with the Cabullona fault, which in turn formed the Sierra Anibacachi-Cerro Cabullona uplift. Its sedimentary fill was assigned to the Cabullona Group by Taliaferro (1933), who also named the Camas Sandstone, Packard Shale and Lomas Coloradas Formation for the youngest part of the Group. Subsequently, González-León and Lawton (1995) recognized the El Cemento Conglomerate and the Corral de Enmedio formations. The sedimentary succession of the Cabullona Group reaches a minimum thickness of 4.5 km and consists of shales, sandstones, and conglomerates that were deposited in environments of alluvial fans, rivers, lakes, and deltas. A brief marine incursion is also represented in limestones of the Corral de Enmedio Formation. The age of the Cabullona Group, from Campanian to early Maastrichtian indicated by some of its fossils, coincides with the U-Pb age between  $81.9 \pm 0.7$  to  $69.8 \pm 0.7$  Ma obtained from isotopic dating of volcanic rocks interbedded in the sediments. The rocks of this group contain a diversity of fossil remains of terrestrial organisms that include dinosaurs, fish, turtles, lizards, crocodiles, plants (wood, leaf impressions, charophytes and pollen), bivalves, gastropods and, to a lesser extent, marine microfossils. According to the interpreted environments in which these sediments were deposited and the fossils they contain, it can be inferred that by the end of the Cretaceous Period, in this region of Sonora prevailed humid climates, large rivers and lakes, and an abundant vegetation that was able to support large-sized vertebrates, among which herbivorous and carnivorous dinosaurs stood out. This region was also located in a position close to the coasts of a sea that located to the east, covering much of northern Mexico.

**Keywords:** Late Cretaceous, Cabullona Basin, dinosaurs, Museum of Fronteras, Sonora.

## 1. Introducción

La Cuenca Cabullona (Figura 1), en el noreste de Sonora, fue una depresión tectónica formada durante la última parte del Período Cretácico y en ella se acumularon los sedimentos del Grupo Cabullona, los cuales tienen un espesor regional estimado en al menos 4.5 km. De acuerdo a la distribución de los afloramientos de este grupo, se trata de una cuenca de forma alargada en dirección NW-SE, con una longitud aproximada de 70 km y una anchura máxima de 30 km (Figura 1). Las rocas que forman al Grupo Cabullona se presentan mejor expuestas en la parte norte de la cuenca, mientras que hacia la parte sur se encuentran parcialmente cubiertos por rocas volcánicas y sedimentarias del Cenozoico y por aluviones cuaternarios.

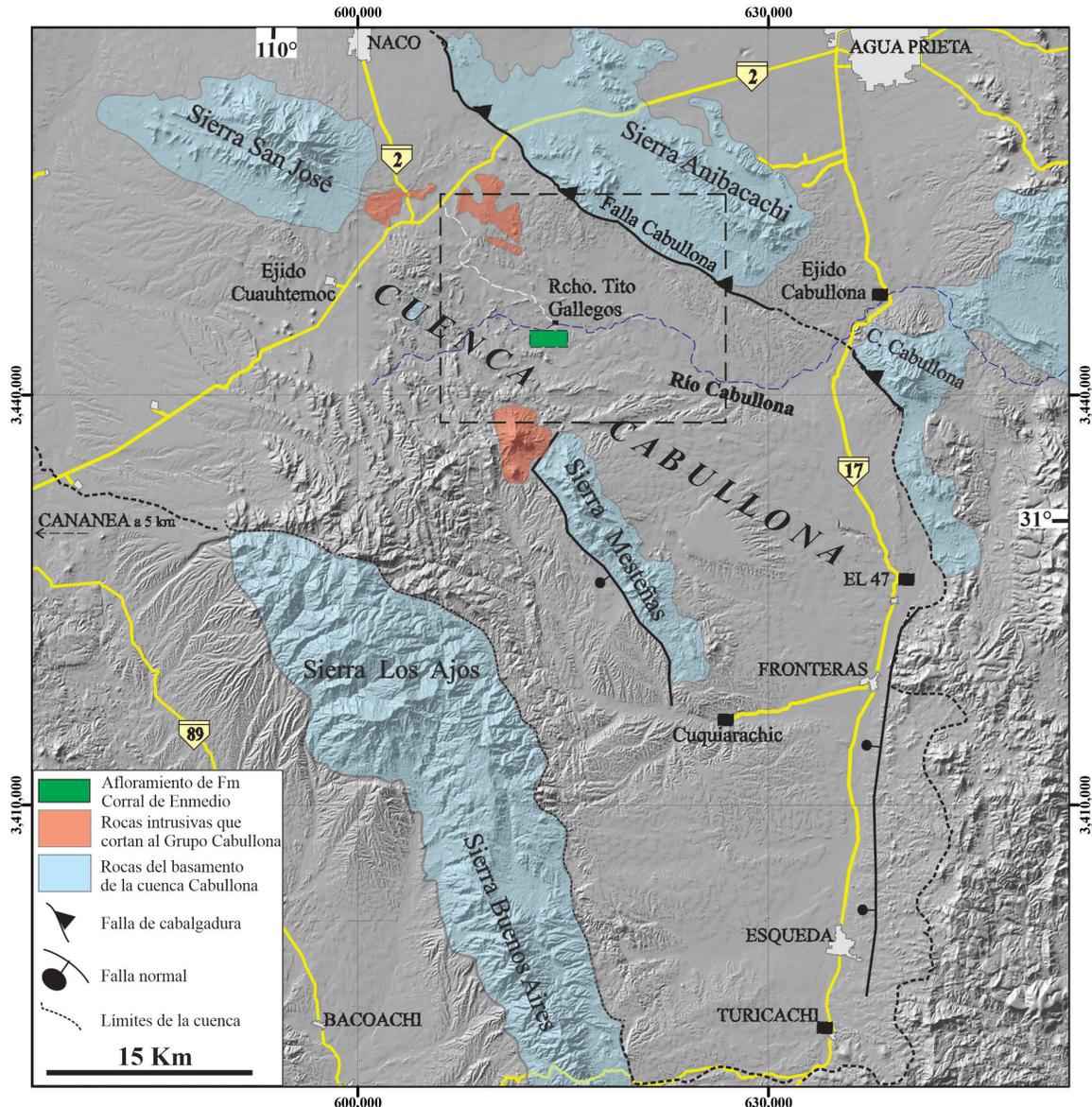
La Cuenca Cabullona se delimita al oriente por la Sierra Anibacachi y el Cerro Cabullona y al oeste por la Sierra Los Ajos (Figuras 1 y 2). Hacia el norte, las rocas del Grupo Cabullona afloran en la parte sur de la Sierra San José donde sobreyacen discordantemente a las rocas sedimentarias del Grupo Bisbee del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, y pudieran continuarse más al norte debajo de los sedimentos aluviales, para correlacionarse con la Formación Fort Crittenden que es considerada como su equivalente lateral en el sureste de Arizona (Hayes, 1987). Hacia la parte sur de la cuenca, los afloramientos del Grupo Cabullona se extienden hasta la región de Fronteras-Esqueda donde se interdigitan con la Formación Tarahumara (González-León *et al.*, 2017), y también están en contacto por falla y/o cubiertos por rocas volcánicas de edad Eoceno-Mioceno, por lo que los límites de la cuenca se pudieron haber extendido más hacia el sur durante el Cretácico Tardío. Los afloramientos del Grupo Cabullona no son continuos ya que en algunas partes están cortados por intrusivos

graníticos y por fallas del sistema de Sierras y Valles Paralelos, como las que forman el levantamiento de la Sierra Las Mestañas (Figura 2), y en parte están cubiertos por sedimentos aluviales recientes.

Taliaferro en su trabajo de 1933 reconoció y nombró a la cuenca y al Grupo Cabullona e identificó restos de dinosaurios que le permitieron asignarle una edad Cretácico Tardío. El trabajo de Taliaferro se restringió al área ubicada al oeste de la Sierra Anibacachi (Figura 2) donde cartografió y reconoció a las formaciones Snake Ridge, Arenisca Camas, Lutita Packard, Capas Rojas Superiores (*Upper Red Beds*) y Toba Riolítica (*Rhyolite tuff*) como parte del Grupo Cabullona, para el cual consideró un espesor de ~2800 m en esa localidad. Taliaferro también consideró a estas formaciones como de origen continental, excepto a la Lutita Packard que la consideró de origen marino, e infirió que los sedimentos fueron acumulados en lagos y pantanos de terrenos costeros bajos, donde el mar incursionaba de forma ocasional. Del mismo modo reconoció que las intercalaciones de capas de ceniza volcánica dentro del Grupo Cabullona indicaban la existencia de actividad volcánica contemporánea en áreas cercanas.

González-León (1994) y González-León y Lawton (1995) modificaron la nomenclatura estratigráfica del Grupo Cabullona en la localidad estudiada por Taliaferro, reconociendo a las formaciones: Corral de Enmedio, Arenisca Camas, Lutita Packard y su equivalente lateral, el Conglomerado El Cemento (Figura 3). La unidad Toba Riolítica de Taliaferro (1933) fue fechada con una edad de  $34.5 \pm 0.04$  millones de años (Ma) por Lucas *et al.* (1995), por lo cual quedó asignada al Eoceno tardío.

El origen de la Cuenca Cabullona ha sido relacionado al levantamiento tectónico de la Sierra Anibacachi, el cual está formado por rocas del basamento regional

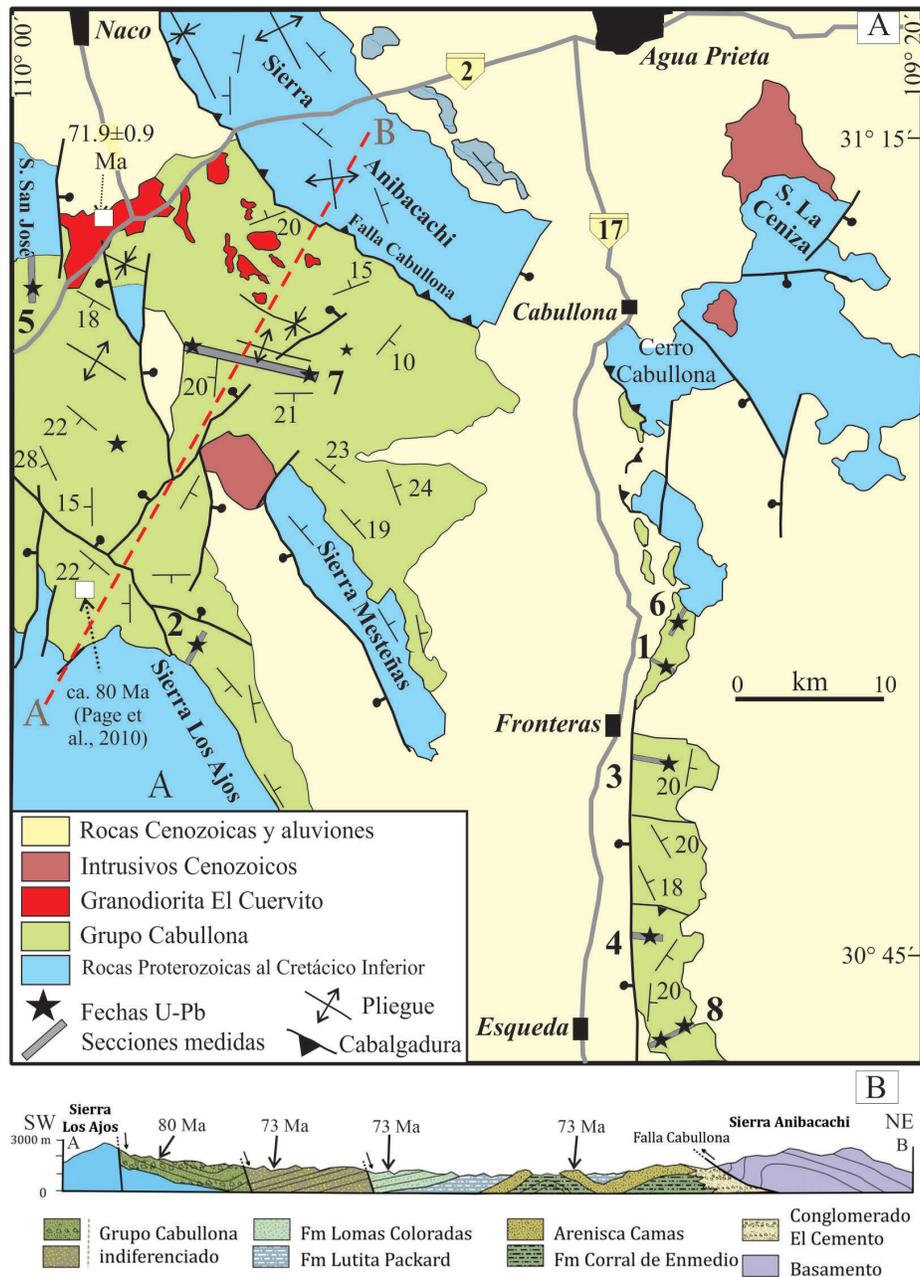


**Figura 1.** Imagen en relieve de la parte noreste de Sonora indicando límites inferidos de los afloramientos de los sedimentos depositados en la Cuenca Cabullona, las rocas que forman el basamento de dicha cuenca y algunas estructuras tectónicas mencionadas en el texto. Las áreas en gris que están fuera de los límites de la cuenca contienen afloramientos de rocas más jóvenes que cubren al Grupo Cabullona. El cuadro de línea negra punteada en parte norte del mapa muestra el área que fue originalmente estudiada por Taliaferro en 1933. El cuadro verde indica el área de afloramiento de la Formación Corral de Enmedio que se visitará en esta excursión y la línea blanca discontinua indica el camino de terracería de acceso a ella desde la carretera.

constituido por el Esquisto Pinal de edad Precámbrica (1600 a <1700 Ma) (Anderson y Silver, 2005; Page *et al.*, 2010; Solari *et al.*, 2018), por una secuencia de rocas Paleozoicas y por las rocas del Grupo Bisbee (González-León y Lawton, 1995). El levantamiento ocurrió por el transporte de estas rocas hacia el suroeste, a lo largo de la falla de cabalgadura Cabullona que se localiza en el límite occidental de la Sierra Anibacachi y del Cerro Cabullona (Figuras 1 y 2). Esta falla es una estructura de bajo ángulo que delimita y superpone a las rocas del basamento sobre el Grupo Cabullona. De acuerdo a esta idea, la cuenca se formó

como una depresión causada por la carga litostática de las rocas transportadas, y en ella se acumularon de manera sintectónica los sedimentos del Grupo Cabullona. Posterior al depósito del Grupo Cabullona, sus rocas se plegaron tal como se indica en la sección A-B (Figura 2B).

Otras interpretaciones sobre el origen de la Cuenca Cabullona es que ésta se formó como una depresión tectónica producida por la falla La Bellota, una estructura de tipo normal cuya traza coincide aproximadamente con la de la falla Cabullona (McKee *et al.*, 2005), mientras que Taliaferro (1933) y Rangin (1977) consideraron



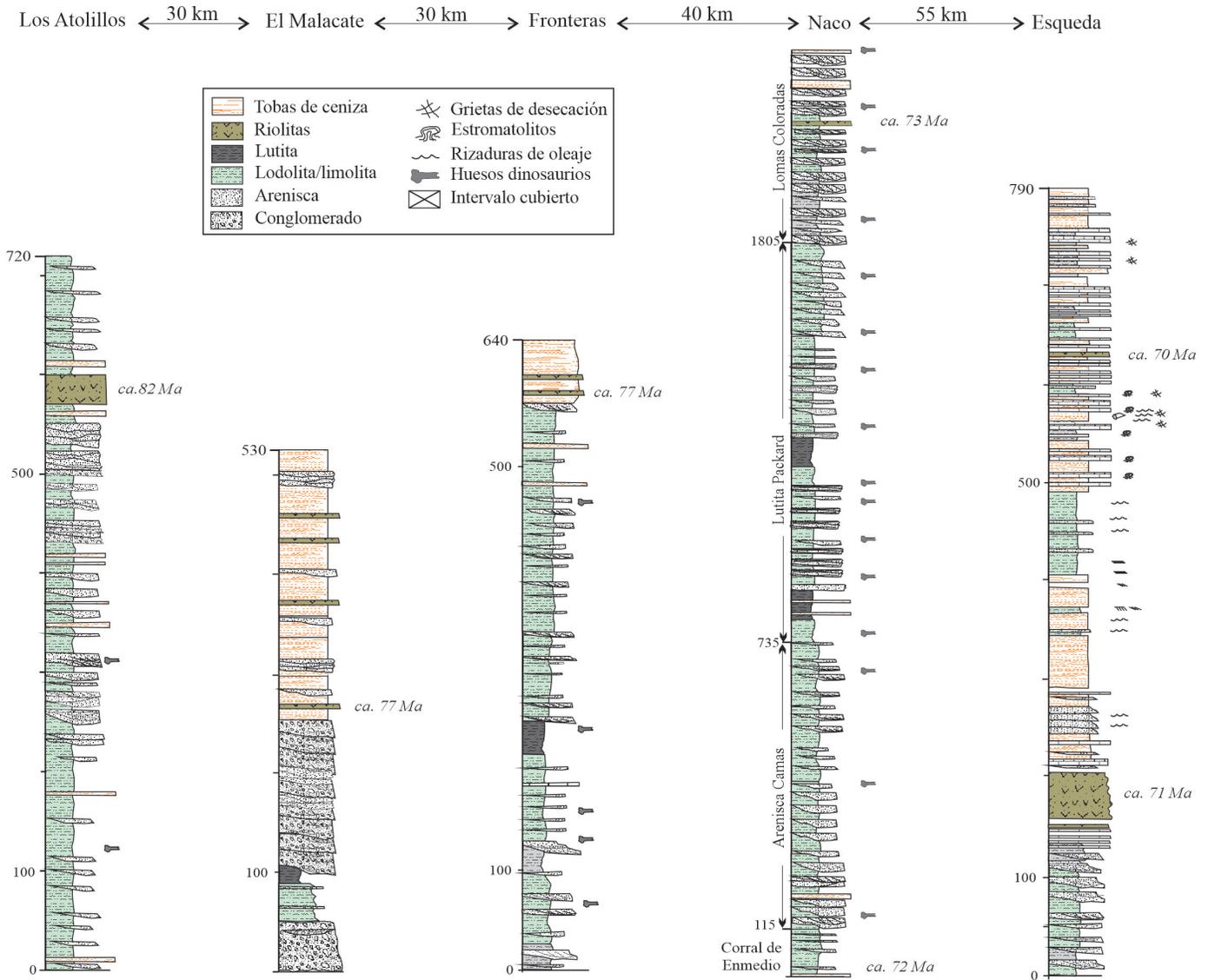
**Figura 2. A)** Mapa geológico mostrando afloramientos de las rocas del Grupo Cabullona en la cuenca del mismo nombre, así como de las rocas más antiguas y más jóvenes en sierras adyacentes. Las barras de color gris indican la ubicación de las columnas sedimentarias que fueron medidas en el Grupo Cabullona por González-León et al. (2017), algunas de las cuales se muestran en la Figura 4. Estas se encuentran numeradas y corresponden a las columnas 1) Rancho Los Atolillos, 2) El Malacate, 3) Fronteras, 4) Ejido Ruíz Cortines, 5) Ejido Cuauhtémoc, 6) San Joaquín, 7) Naco y 8) Esqueda. B) Sección geológico-estructural a lo largo de la línea discontinua roja A-B, indicada en A, que muestra la falla Cabullona con dirección de movimiento hacia el suroeste, el plegamiento del Grupo Cabullona y edades isotópicas de algunas de sus formaciones en esta parte de la cuenca.

que la falla Cabullona es una estructura de falla inversa que se formó posteriormente al depósito del Grupo Cabullona.

El relleno sedimentario que aflora en la parte sur de la cuenca se asigna también al Grupo Cabullona (González-León et al., 2017). En esa región se reconocen sus estratos más antiguos y sus edades se han determinado por el fechamiento ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , circones) de rocas

volcánicas que se intercalan dentro de las columnas sedimentarias (Figura 3). Estas columnas aparecen como afloramientos discontinuos en esta parte de la cuenca.

En general, las rocas del Grupo Cabullona se componen de limolitas y lodolitas dentro de las cuales se intercalan capas de areniscas. Las primeras se interpretan como sedimentos que fueron acumulados en amplias



**Figura 3.** Columnas estratigráficas que muestran partes incompletas del Grupo Cabullona en cinco localidades de la cuenca; la ubicación de ellas se muestra en la Figura 2. Se indican los niveles fosilíferos y las edades U-Pb obtenidas por el fechamiento de rocas volcánicas intercaladas dentro de sus rocas sedimentarias. En la parte superior izquierda de las columnas se muestra su espesor en metros.

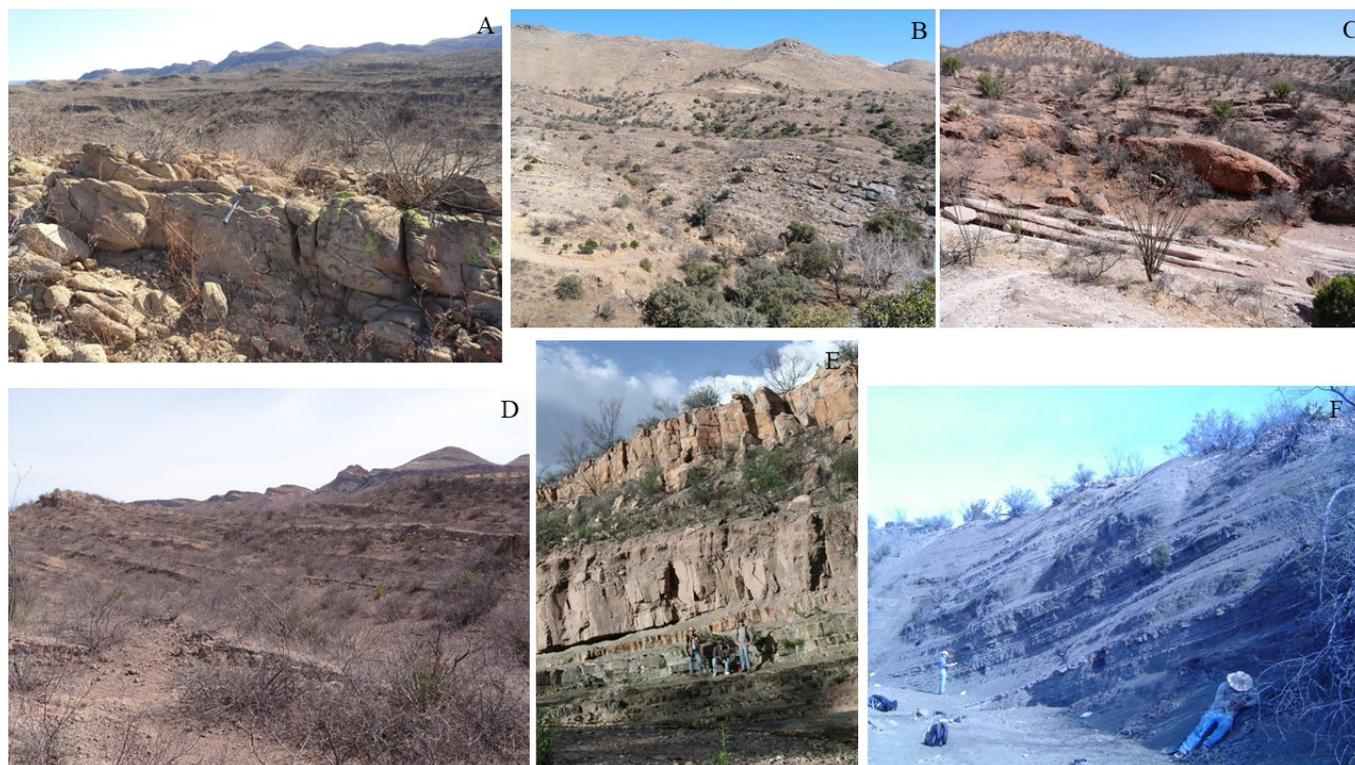
planicies de inundación de ríos y los cuerpos de areniscas se interpretan como rellenos de los canales de los ríos. En algunas columnas se intercalan niveles de decenas de metros de espesor, de lutitas grises a negras, que se interpretan como depósitos que fueron acumulados en ambientes lacustres, así como capas de tobas de cenizas y derrames volcánicos riolíticos que indican la presencia de actividad volcánica cercana. A continuación, se describen de forma general algunas de las columnas sedimentarias en base al trabajo de González-León *et al.* (2017) cuya ubicación se muestra en la Figura 2. Las formaciones del Grupo Cabullona en Naco y las columnas de Fronteras y Esqueda contienen los estratos más fosilíferos del grupo (Figura 3). De esas localidades

se han reportado foraminíferos, moluscos, diversos fragmentos y partes completas de vertebrados, icnitas de dinosaurios y restos de plantas (palinomorfos, algas, macroflora y troncos).

## 2. Estratigrafía

### 2.1. Columna Rancho Los Atolillos

La secuencia más antigua del Grupo Cabullona es la del Rancho Los Atolillos (Figuras 2, 3 y 4A) que tiene un espesor de 720 m, aunque su base y su cima no afloran por estar falladas y cubiertas por rocas más jóvenes,



**Figura 4.** Afloramientos del Grupo Cabullona. A) Capas de areniscas dentro de niveles de lodolitas y limolitas de la columna Rancho Los Atolillos. B) Panorámica de secuencia de conglomerados, areniscas y rocas volcánicas de la columna del Rancho El Malacate. C) Conglomerados y areniscas del Grupo Cabullona en afloramientos cercanos al poblado de Cuquiarchic. D) Areniscas, lodolitas y limolitas interestratificadas en la columna Fronteras. E) Capas potentes de areniscas intercaladas con limolitas de la Formación Arenisca Camas en afloramientos de la columna Naco. F) Secuencia de lutitas de color gris oscuro, masivas a estratificadas de la formación Lutita Packard en afloramientos de la columna Naco.

respectivamente. Consiste de limolitas y lodolitas masivas a laminadas, de colores café rojizos, verdes y gris claro dentro de las cuales se intercalan capas de areniscas que forman niveles de hasta 25 m de grueso (Figura 4A). Esta sucesión sedimentaria se interpreta como de origen fluvial y en menor proporción tiene capas de tobas de ceniza y derrames riolíticos. Una muestra de una capa de riolita de la parte superior de la columna dio una edad de  $81.9 \pm 0.7$  Ma (González-León *et al.*, 2017).

#### 2.1.1. Paleontología

Hay escasos fragmentos de huesos de vertebrados, posiblemente pertenecientes a dinosaurios.

### 2.2. Columna Rancho El Malacate

La secuencia del rancho El Malacate (Figuras 2, 3 y 4B) tiene un espesor de 530 m, sobreyace discordantemente a rocas precámbricas del Esquisto Pinal a lo largo del lado oriental de la Sierra Los Ajos y su cima no se conoce al estar cubierta por rocas más jóvenes. Los 200 m más inferiores de esta columna consisten de conglomerados que gradúan hacia arriba a intercalaciones de conglomerados y areniscas dentro de los cuales se tiene

un nivel de 5 m de espesor de lutitas negras y calizas delgadas que contienen pelecípodos. La parte superior de la columna consiste de intercalaciones de capas de tobas de ceniza de colores amarillentos, capas de riolitas y areniscas tobáceas de colores rojizos. Una muestra fechada de una de capa de riolita de la parte media de la columna reportó una edad de  $77.5 \pm 0.7$  Ma (González-León *et al.*, 2017).

#### 2.2.1. Paleontología

Se registran pelecípodos lacustres asociados al tramo de 5 m con niveles de calizas en estratos delgados a la cima de los primeros 200 m de la columna (González-León *et al.*, 2017).

### 2.3. Columna Fronteras

Esta secuencia que fue medida justo al oriente del poblado de Fronteras tiene 640 m de espesor y consiste en lodolitas y limolitas masivas, localmente laminadas, de colores gris claro a verde claro intercaladas con capas delgadas de areniscas rojizas de grano fino a medio, comúnmente bioturbadas y cuerpos de areniscas lenticulares de grano grueso, a fino, que alcanzan hasta 10 m de espesor (Figura 2 y 4D). En

conjunto, estas litologías se interpretan como depósitos acumulados en ambientes fluviales, mientras que un nivel de 30 m de lodolitas masivas a laminadas, de color gris oscuro, con capas de caliza con bivalvos y gasterópodos en la parte media de la columna, representa ambientes lacustres. En su parte superior esta columna contiene capas de tobas de ceniza y riolita, de las cuales se fechó con una muestra que dio una edad de  $76.7 \pm 0.7$  Ma (Figura 2).

### 2.3.1. Paleontología

De esta secuencia, Duarte Bigurra (2013) ilustró e identificó moluscos (bivalvos y gasterópodos de agua dulce), restos de peces, una vértebra de cocodrilo, fragmentos de huesos y carapachos de tortugas, madera fósil (Figura 3 de Duarte Bigurra, 2013), así como dos esqueletos parciales de hadrosaurios, de dos niveles estratigráficos distintos, a los cuales les asignó las claves H1 y H2. El ejemplar H1 fue localizado, desenterrado y colectado por el M.C. René Hernández Rivera y el primer autor de este trabajo en el año 2010 (Figuras 5C y 5D), y el ejemplar H2 fue descubierto y colectado por el M.C. René Hernández Rivera y Rubén Duarte Bigurra en el año 2011. Algunos de los fósiles que se han colectado de estos depósitos están en exhibición en el Museo de Dinosaurios del Municipio de Fronteras (Figuras 5A y 5B) aunque algunos no han sido estudiados en detalle. Del ejemplar H1, que resultó ser el más completo, Duarte Bigurra (2013) reportó tres vértebras cervicales,

nueve torácicas, una caudal, seis centros incompletos de vértebras torácicas, nueve espinas neurales, una tibia parcial, trece costillas parciales, el ilion izquierdo, y los pares correspondientes de isquion y pubis (Figuras 6 y 7). La Figura 7 muestra las partes de la cadera de H1. Los huesos del ejemplar H2, que fue también reportado por Duarte Bigurra (2013) incluyen una vértebra torácica, cinco espinas neurales fragmentadas, una diapófisis izquierda, una costilla torácica y otros huesos no identificados. Este material que está ilustrado e identificado en Duarte Bigurra (2013) se encontró desorganizado y algo fragmentado, pero con estado aceptable de conservación (Figura 6O).

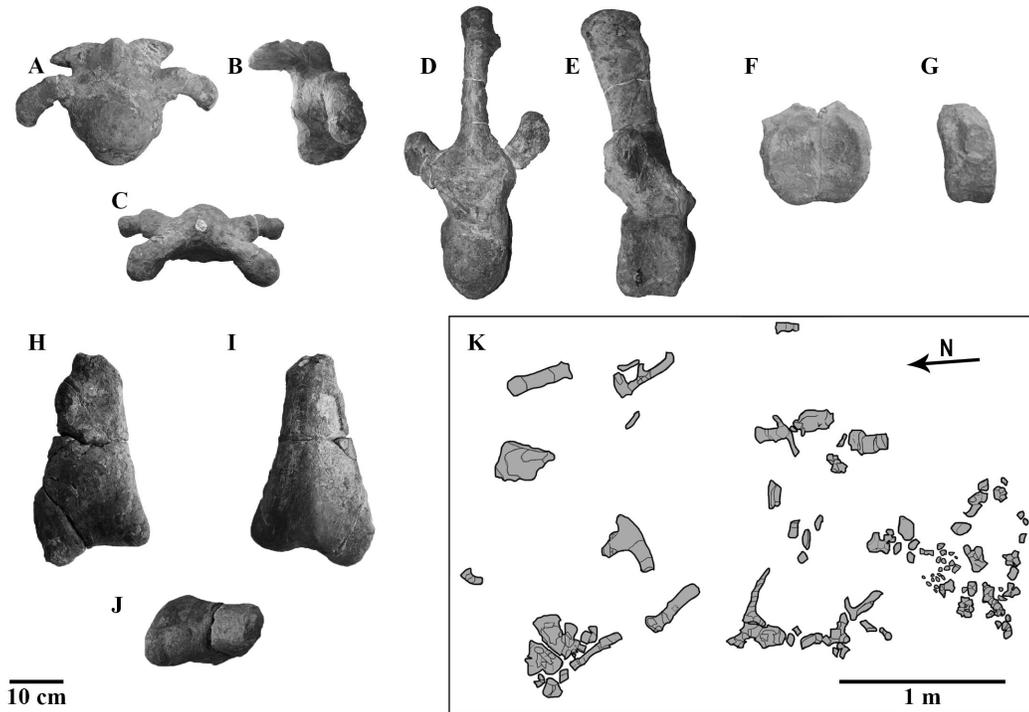
De la parte inferior y media de la secuencia sedimentaria de Fronteras también se han reportado carofitas de la especie fósil *Lychnothamnus tenuis* que indican que estas rocas se depositaron en ambientes lacustres de agua dulce (Vicente *et al.*, 2020) (Figuras 8A–8E). Otros estudios paleobotánicos en esta columna incluyen los troncos de cipreses fósiles (*Cupressinoxylon manuelii*) de hasta 3 metros de longitud (Ríos-Santos *et al.*, 2020) (Figura 8F) que fueron encontrados dentro de areniscas lenticulares de grano fino a grueso de la parte media superior de la columna.

### 2.4. Columna Naco

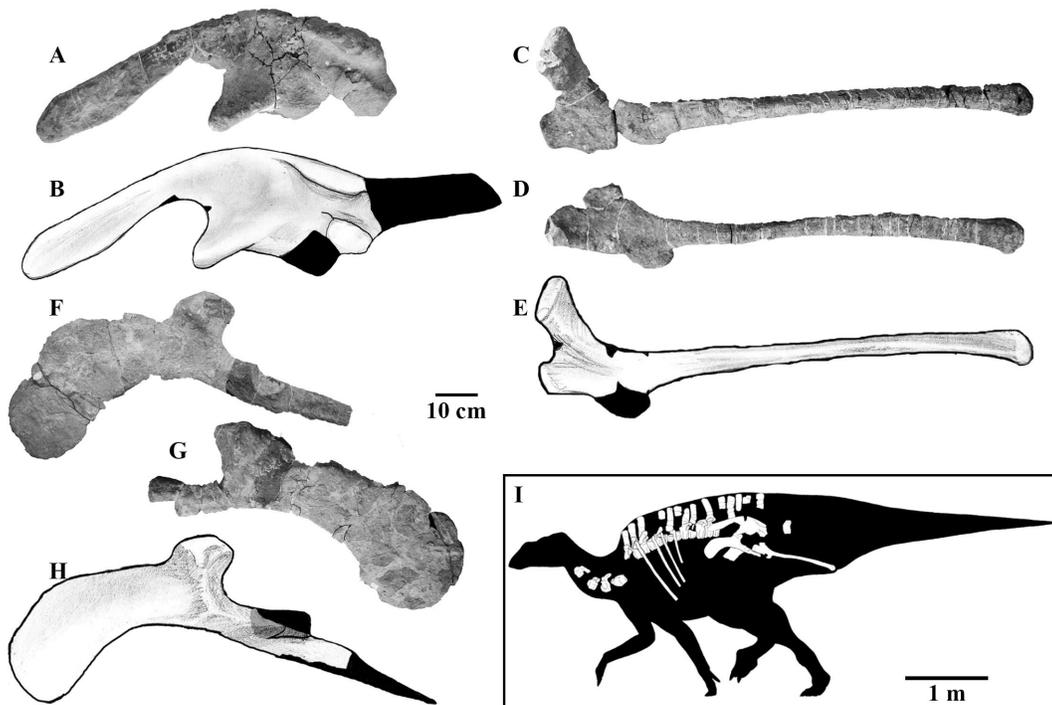
Las columnas estratigráficas más jóvenes del Grupo Cabullona son las de Naco y Esqueda. La columna Naco



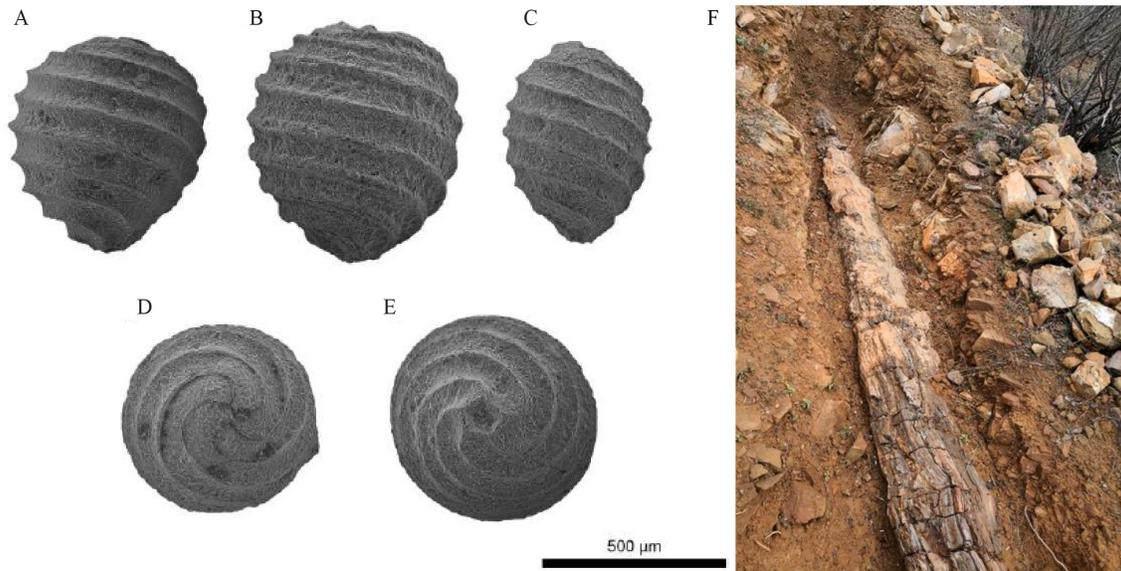
**Figura 5.** A) Museo de dinosaurios del poblado de Fronteras, Sonora donde se exponen B) los restos de dinosaurios colectados en el área de Fronteras ubicada en lomeríos que están justo al oriente del pueblo; la edad de esta secuencia es de ca. 77 Ma, por lo cual los dinosaurios y otros fósiles que contiene son de esa misma edad. C) Fotografía indicando posición de algunos de los huesos del espécimen de hadrosaurio H1 al momento de su excavación y D) preparación de los mismos en férulas de yeso para su levantamiento por el M.C. René Hernández Rivera, con ayuda de jóvenes voluntarios del poblado.



**Figura 6.** A–J) Huesos del ejemplar de hadrosaurio H1. A–C) Vértebra cervical H1-02, en vista craneal (A), lateral derecho (B) y dorsal (C). D–E) Vértebra torácica H1-09, en vista craneal (D), lateral derecho (E). F–G) Vértebra caudal H1-04 en vista craneal (F) y lateral derecho (G). H–J) Parte distal de tibia derecha H1-36, en vista medial (H), vista lateral (I) y ventral (J). En todas las figuras se muestra la escala en centímetros. K) Disposición de huesos del ejemplar de hadrosaurio H2 como fueron encontrados en su afloramiento. Se indica escala. Figuras tomadas de Duarte Bigurra (2013).



**Figura 7.** Partes de la cadera de hadrosaurio H1 tomadas de Duarte Bigurra (2013) con reconstrucción de partes faltantes (en negro) realizadas por el mismo autor. A) Ilion izquierdo en vista lateral, con reconstrucción en dibujo (B). C–E) Isquion izquierdo en vista lateral (C), isquion derecho en vista medial (D), con reconstrucción en dibujo (E). F–H) Par de pubis en matriz de roca, pubis izquierdo en vista lateral (F), pubis derecho en vista lateral (G), con reconstrucción en dibujo (H). I) Reconstrucción del cuerpo del hadrosaurio H1 con algunos de los huesos identificados según Duarte Bigurra (2013). Se indica escala.



**Figura 8.** Vegetales fósiles de la columna de Fronteras. A–E: Imágenes de microscopio electrónico de barrido de la carofita *Lychnothamnus tenuis* (nivel Fro.c-10a). A–C, vista lateral; D, vista apical; E, vista basal (tomado de Vicente *et al.*, 2020). F: Imagen de tronco fósil de *Cupressinoxylon manuelii* de unos 3 m de longitud (IGM-PB-1368) proveniente del tramo correspondiente con los niveles de arenisca con estratificación cruzada de la parte media superior de la columna mostrada en la Figura 3).

que aflora en la parte norte de la cuenca corresponde al área que fue estudiada por Taliaferro (1933) y contiene las secciones tipo de las formaciones que componen a este grupo. Esta secuencia, cuya base no aflora y su cima está cubierta por rocas volcánicas Terciarias, tiene un espesor de 2.5 km. Es una secuencia relativamente fosilífera, lo cual junto a los fechamientos isotópicos que se han realizado de rocas volcánicas en algunas de sus formaciones han permitido asignarle una edad del Campaniano al límite Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano (Lucas *et al.*, 1995; González-León *et al.*, 2017). En la parte inferior de esta secuencia se tiene a la Formación Corral de Enmedio, la cual está sobreyacida por la Arenisca Camas y estratigráficamente siguen hacia arriba la Lutita Packard y la Formación Lomas Coloradas. El Conglomerado El Cemento es una unidad que es lateralmente equivalente a estas formaciones y aflora debajo de la falla Cabullona, adyacente al levantamiento de la Sierra Anibacachi (Figuras 2). A continuación, se describen de forma general estas formaciones, a excepción de la Corral de Enmedio que se describe con más detalle por ser uno de los objetivos a visitar en esta excursión.

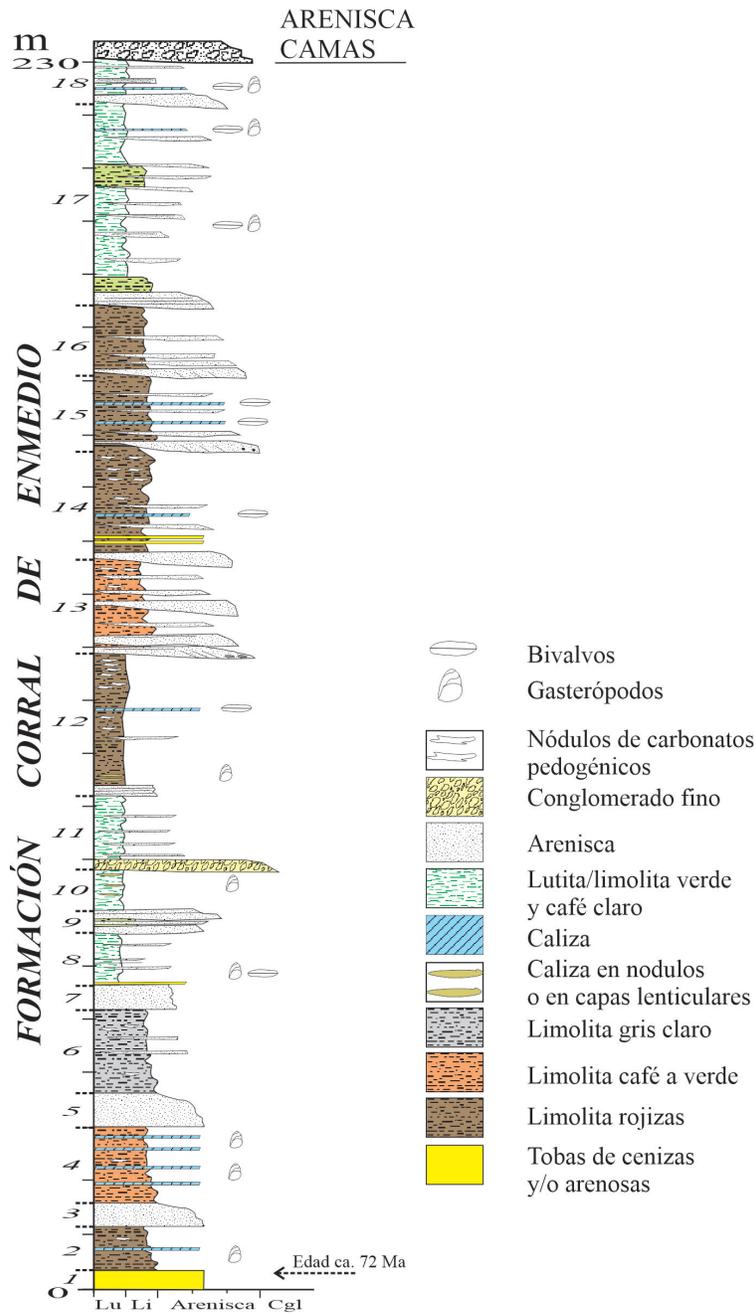
#### 2.4.1. Formación Corral de Enmedio

El único afloramiento que se conoce de la Formación Corral de Enmedio se encuentra en la parte central de un anticlinal abierto ubicado en el área de la sección Naco. Es un afloramiento pequeño, comparado al de las otras formaciones del Grupo Cabullona y consiste principalmente de lodolitas y limolitas, dentro de las cuales se intercalan capas de areniscas, calizas y escasos conglomerados. Tiene un espesor de 230 m y Duarte

Bigurra (2019) la dividió en las siguientes unidades, que de la base a la cima son (Figura 9):

#### Unidad Espesor Litología

1. 3 m. Nivel masivo de tobas de ceniza volcánica arenosa, de color blanco a gris claro.
2. 9 m. Limolitas masivas de color café rojizo con escasas intercalaciones de capas de arenisca lenticular de hasta 30 cm de espesor y escasas capas delgadas de caliza arcillosa de color café rojizo con gasterópodos (Figura 10A).
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, de color gris claro en superficie fresca que contienen bivalvos (Figura 10B).
5. 6 m. Nivel de capas de areniscas de color café rojizo que alcanzan hasta 1 m de espesor y presentan afinamiento de grano medio en su base a grano fino hacia la cima.
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 fragmentos finos de plantas. Algunos niveles de limolitas de color gris claro contienen nódulos carbonatados de posible origen pedogénico. Se intercalan escasas areniscas de grano fino en capas menores de 30 cm que se acuñan lateralmente en



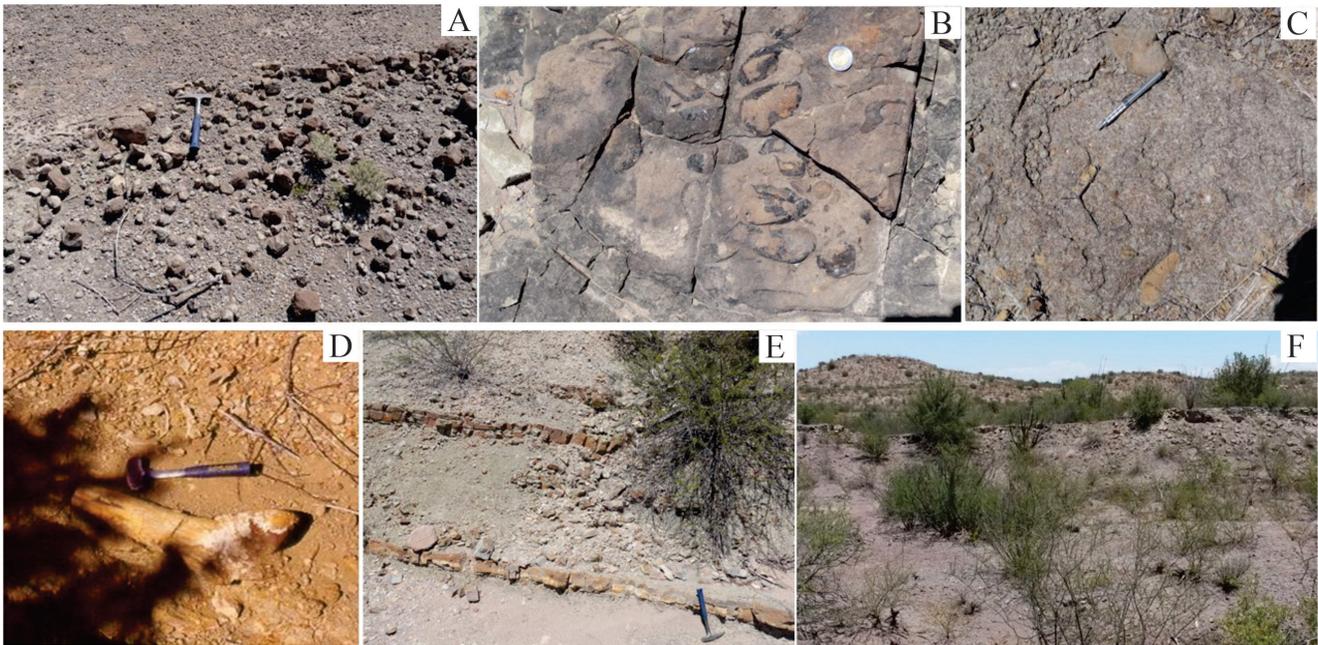
**Figura 9.** Columna estratigráfica de la Formación Corral de Enmedio dividida en 18 unidades litológicas. La mayoría de las unidades contienen restos de vertebrados desarticulados y retrabajados, gasterópodos y bivalvos que por lo general están bien preservados y restringidos a niveles de calizas. Se indica la posición estratigráfica de los moluscos. Figura modificada de Duarte Bigurra (2013).

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, localmente lamina-das, de color verde y café claro, con escasas intercalaciones de limolitas, arenisca de grano fino y

calizas con gasterópodos y bivalvos en capas de hasta 30 cm de espesor. Las lodolitas tienen detritos finos de plantas.

9. 4.3 m. Unidad formada por tres ciclos superpuestos, cada uno formado por arenisca rojizas de grano grueso, granodecrecientes, en su parte inferior, que gradúan hacia arriba a limolitas/lodolitas de color café verdoso que se presentan en capas de hasta 30 cm de grueso. Estos ciclos van de 1 a 2 metros de espesor. Las capas de arenisca alcanzan



**Figura 10.** Fotos de afloramientos de la Formación Corral de Enmedio. A) Capa delgada de caliza arcillosa con abundantes gasterópodos de la unidad 2; martillo de escala. B) Bivalvos dentro de capa delgada de caliza arcillosa de la unidad 4; moneda de 10 pesos de escala. C) Fémur de hadrosaurio encontrado in situ dentro de limolitas de la unidad 9 (ilustrado también en la Figura 12). D) Acercamiento de la capa de conglomerado polimíctico de la parte inferior de la unidad 11 mostrando clastos de caliza de hasta 15 cm de largo. E) Limolitas/lodolitas de la unidad 14 intercaladas con capas delgadas de tobas de ceniza volcánica. F) 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; en la parte superior y al fondo de la foto se observa la Arenisca Camas en su parte inferior.

hasta 1 m de grueso y tienen estratificación cruzada de cuenca. Dentro de las limolitas se encontró un fémur de hadrosáurido (Figura 10C).

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, y hacia arriba le siguen lodolitas de color verde amarillento claro, con niveles tobáceos. Dentro de las lodolitas se intercalan escasas 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, 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 10. Este es un conglomerado polimíctico compuesto por intraclastos mal clasificados de lodolitas, calizas, nódulos calcáreos pedogénicos, fragmentos de huesos, dientes de dinosaurios y abundantes escamas de peces. Los intraclastos alcanzan hasta 15 cm de diámetro

(Figura 10D) y muchos contienen restos de huesos de vertebrados. Su matriz la forman granos de cuarzo, rocas volcánicas y fragmentos de feldspatos potásico de hasta 3 cm de largo que están cementados por calcita. Algunas capas de caliza micrítica de esta unidad contienen foraminíferos planctónicos y carófitas (Figura 13), los cuales también están presentes dentro de los clastos de calizas del conglomerado.

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 arenisca en capas de 10 a 30 cm de grueso, que son de grano fino y afinan hacia su cima a limolitas. El resto de esta unidad la forman limolitas/lodolitas masivas, de color rojizo. En la parte inferior del paquete de limolitas/lodolitas se intercalan escasas capas lenticulares de caliza arcillosa con bivalvos; en la parte media del mismo se tienen dos capas de 30 cm de espesor de calizas arcillosas nodulares, con bivalvos, de color café rojizo, así como una capa lenticular de arenisca de grano fino de 35 cm de grueso; en la parte superior de la unidad se intercalan capas de hasta 50 cm de grueso formados por nódulos carbonatados pedogénicos que se hacen más abundantes hacia la cima del paquete.
13. 18 m. Paquete que contiene dos ciclos sedimentarios granodecrecientes que empiezan con arenisca y gradúan a limolitas y lodolitas hacia su

cima. El espesor de cada uno de ellos es de 9 m. Las capas de areniscas son lenticulares y se acuñan lateralmente en una distancia de aproximadamente 100 m; tienen espesores de hasta 2 m de grueso y forman niveles de hasta 4 m. Son de grano grueso, tienen bases erosivas y niveles lenticulares delgados de conglomerado fino. Tienen además estratificación cruzada planar, laminaciones paralelas y hacia su cima desarrollan ocasionalmente estratificación cruzada de pequeña escala. 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 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 granodecreciente. 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. Le siguen limolitas/lodolitas rojizas y verdosas, masivas (Figura 10E), que tienen intercalaciones escasas de capas de arenisca de grano fino lenticulares y 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 con bivalvos. Las limolitas de la parte superior de esta unidad tienen abundantes nódulos calcáreos pedogénicos.
15. 14 m. Secuencia granodecreciente que su parte inferior la forma una arenisca de grano grueso, con lentes de conglomerados finos y de 3 m de espesor. Es una arenisca lenticular con base erosiva sobre limolitas de la unidad 14 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 con laminaciones paralelas, estratificación cruzada de rizaduras de corriente y tienen hasta 50 cm de espesor. También se intercalan escasas capas de caliza arcillosa y nodular de color rojizo que contienen bivalvos.
16. 13 m. En la base se tiene una capa de arenisca de 2 m de espesor, de grano grueso, con estratificación cruzada planar, que gradúa a grano fino hacia su cima. Su base es erosiva sobre 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

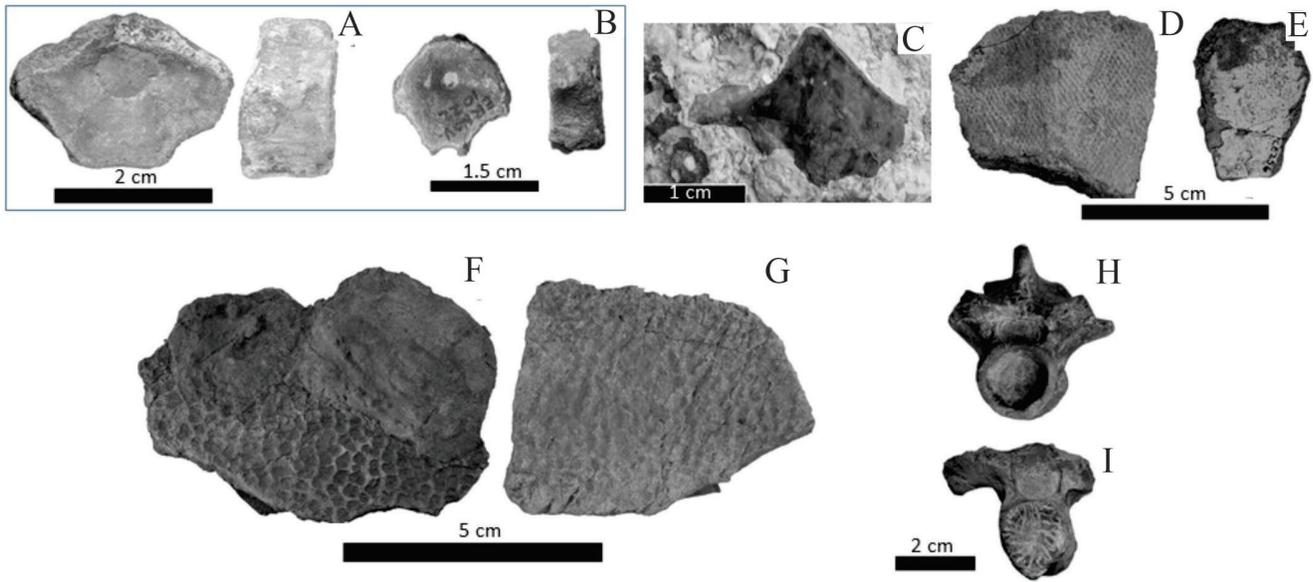
de 3 m de capas de areniscas superpuestas, de base erosiva, con espesores de 40 a 60 cm (Figura 10F). Son de grano grueso a fino y muestran estratificación cruzada planar y laminaciones paralelas. La sobreyacen lodolitas y limolitas masivas de colores verde claro, amarillento y rojizo, que ocurren en niveles masivos de hasta 4 m de grueso. Tienen intercalaciones de capas de limolitas de 15 a 40 cm con laminaciones paralelas y estratificación cruzada de pequeña escala producida por rizaduras de corriente. Se tienen también escasos niveles tobáceos de hasta 2 m, una capa de 20 cm de caliza arcillosa con bivalvos, e intercalaciones de capas de arenisca de grano fino con estratificación cruzada y de hasta 40 cm de grosor.

18. 8 m. Unidad de espesor incompleto al estar sobreyacida en contacto erosional por areniscas conglomeráticas de la Arenisca Camas. En su parte inferior se tiene un nivel de 3 m de capas superpuestas de areniscas granodecrecientes. Son capas de base erosiva 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.

#### *Paleontología*

De la Formación Corral de Enmedio se ha reportado una fauna diversa de huesos de vertebrados que incluye restos aislados de dinosaurios pertenecientes a las familias Ceratopsidae, Hadrosauridae, Ornithomimidae y Tyrannosauridae, de tortugas de las familias Adocidae y Trionychidae, de eusúquidos y de peces de las familias Amiidae y Lepisosteidae (Lucas et al., 1995; Serrano-Brañas et al., 2017; Duarte Bigurra, 2019). Duarte Bigurra (2019) ilustró varios centros de vértebras de Amiidae que asignó al género *Melvius* sp., escamas de Lepisosteidae, huesos fragmentarios de tortugas de las familias Trionychidae y Adocidae, estos últimos probablemente representando al género *Adocus*, así como vértebras cervicales y otros fragmentos de cocodrilos Eusuchia (Figura 11).

Los restos de dinosaurios que son más abundantes corresponden a hadrosaurios y otros más escasos son de ceratópsidos, ornitomímidos y tiranosáuridos (Figura 12). Lucas et al. (1995) los reportaron de todas las formaciones de la columna Naco donde encontraron huesos fragmentarios y aislados, hasta otros más completos donde se identifican centros de vértebras, húmeros, fémur, dientes de tiranosáuridos, mientras que Duarte Bigurra (2019) los reportó también de la Formación Corral de Enmedio. De esta misma formación, Serrano-Brañas et al. (2014, 2017) reportaron ejemplares de dientes de terópodos pertenecientes a la Familia Tyrannosauridae. La Figura 12 ilustra algunos de



**Figura 11.** Huesos de peces, tortugas y cocodrilos de la Formación Corral de Enmedio. A-B) Vértices de pez identificado como *Melvius* sp.; ejemplares ERNOV-1023 y ERNO-1022, respectivamente. C) Escamas ganoideas de pez de la familia Lepisosteidae. D-E) Dos fragmentos de huesos de tortuga ?*Adocus*; ejemplares ERNO-8646 y ERNO-8630, respectivamente. F-G) Fragmentos de placas pleurales en vista dorsal, con el patrón de fosas y crestas típico de la familia Trionychidae; ejemplares ERNO-8591 y ERNO-8592, respectivamente. H-I) Vértices cervicales de cocodrilos Eusuchia; ejemplares ERNO-8642 y ERNO-8643, respectivamente. Figuras tomadas de Duarte Bigurra (2019).

estos ejemplares encontrados en la Formación Corral de Enmedio.

De calizas de la unidad 11 de la Formación Corral de Enmedio, Duarte Bigurra (2019) reportó los foraminíferos planctónicos *Pithonella* sp., *Hedbergella* sp., *Globigerinelloides bollii* y *Pithonella sphaerica* que fueron identificados por el Dr. Robert W. Scott (comunicación personal del 30 de octubre del 2017) y algas calcáreas de las familias Characeae y Porocharacea (Figura 13) que fueron identificadas por la Dra. Alba Vicente.

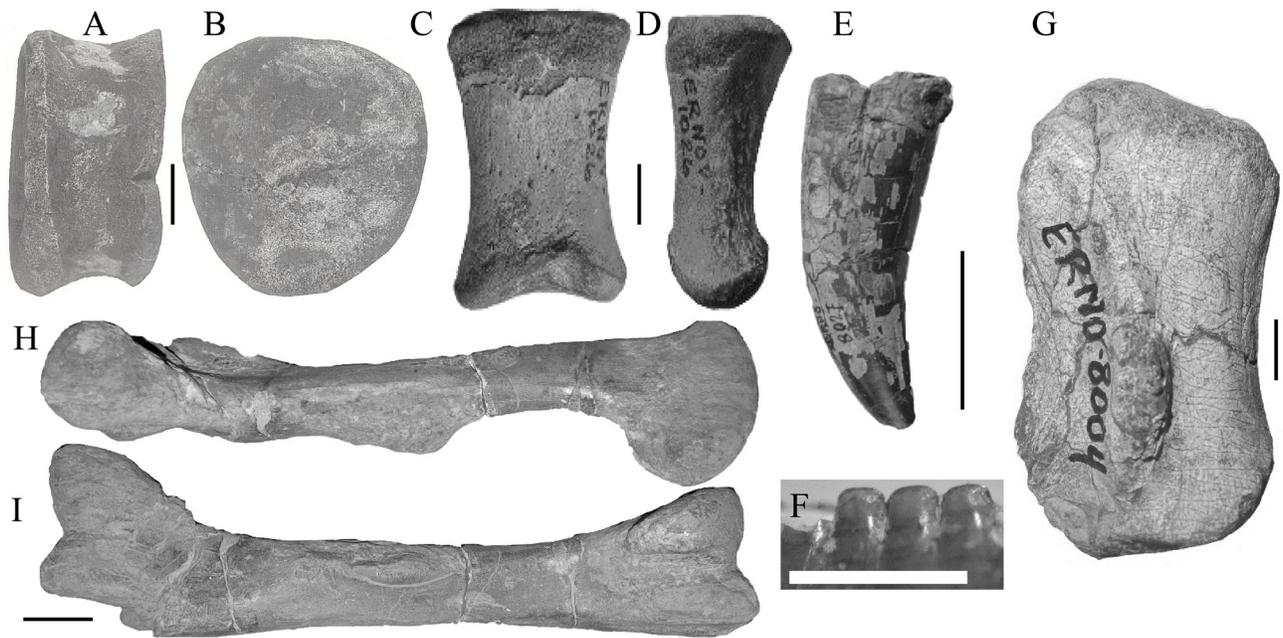
Los moluscos son abundantes, aunque poco diversos en niveles de calizas de las Formación Corral de Enmedio y también se tienen en la Formación Lutita Packard donde son menos abundantes (Figura 14). Lucas *et al.* (1995) reportaron las siguientes 12 taxa, incluyendo dos nuevas especies. Estos corresponden a los gasterópodos *Viviparus australis*, *Campeloma* aff. *C. vetula*, *Lioplacodes?* sp., *Physa* aff. *P. copei* y *Mesolanistes reesidei* y a los bivalvos *Plesielliptio sonoraensis*, *P. aff P. brachyopisthus*, *P. sp. 1*, *P.?* sp. 2, *P. sp. 3*, *Unio?* *stantoni* y *Sphaerium* sp.

López-Higuera *et al.* (2008) identificaron una asociación mal conservada con baja diversidad constituida por esporas (*Cyathidites minor*), algas (*Chomotriletes fragilis*, *Ovoidites* sp.) y granos de polen de gimnospermas (predominio de *Classopollis* y en menor medida de *Araucariacites* sp., *Cycadopites* sp., *Inaperturopollenites* sp.) y angiospermas (*Retitricolpites* sp.).

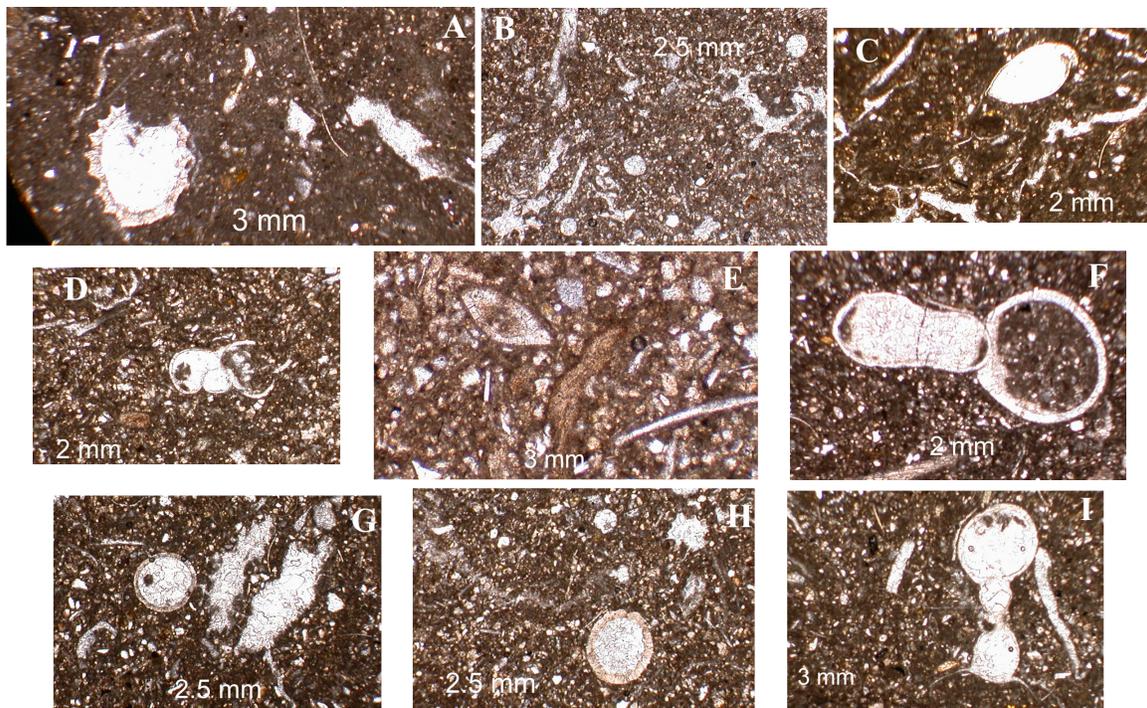
En Noriega-Ruiz (2017) se reportan las siguientes especies fósiles de esporas y polen mal conservados a lo largo de toda la columna: a) algas: *Pediastrum* sp.; b) esporas:

*Aequitriradites verrucosus* Cookson y Dettmann 1961, *Apiculatisporites* sp., *Biretisporites potoniaei* Delcourt y Sprumont 1955, *Biretisporites* sp., *Cibotiumspora juncta* (Kara-Murza 1954) Singh 1983, *Cibotiumspora jurienensis* (Balme 1957) Filatoff 1975, *Cicatricosisporites* sp., *Cingultriletes* sp., *Cyathidites minor* Couper 1953, *Deltoidospora psilostoma* Rouse 1959, *Dictyophyllidites harrisii* Couper 1958, *Gleicheniidites senonicus* Ross, 1949, *Leptolepidites* sp., *Matonisporites* sp., *Stereisporites* sp.; c) polen de gimnospermas: *Alisporites* sp., *Araucariacites australis* Cookson 1947, *Classopollis* sp., *Cycadopites* sp., *Exesipollenites tumulus* Balme 1957, *Inaperturopollenites* sp., *Perinopollenites elatoides* Couper 1958, *Taxodiaceapollenites hiatus* (Potonié 1954) Kremp 1949, *Undulatisporites undulapulus* Brenner 1963; d) polen de angiospermas: *Aquilapollenites* sp., *Arecipites tenuixinous* Leffingwell 1970, *Retimonocolpites* sp., *Tricolpopollenites* sp.

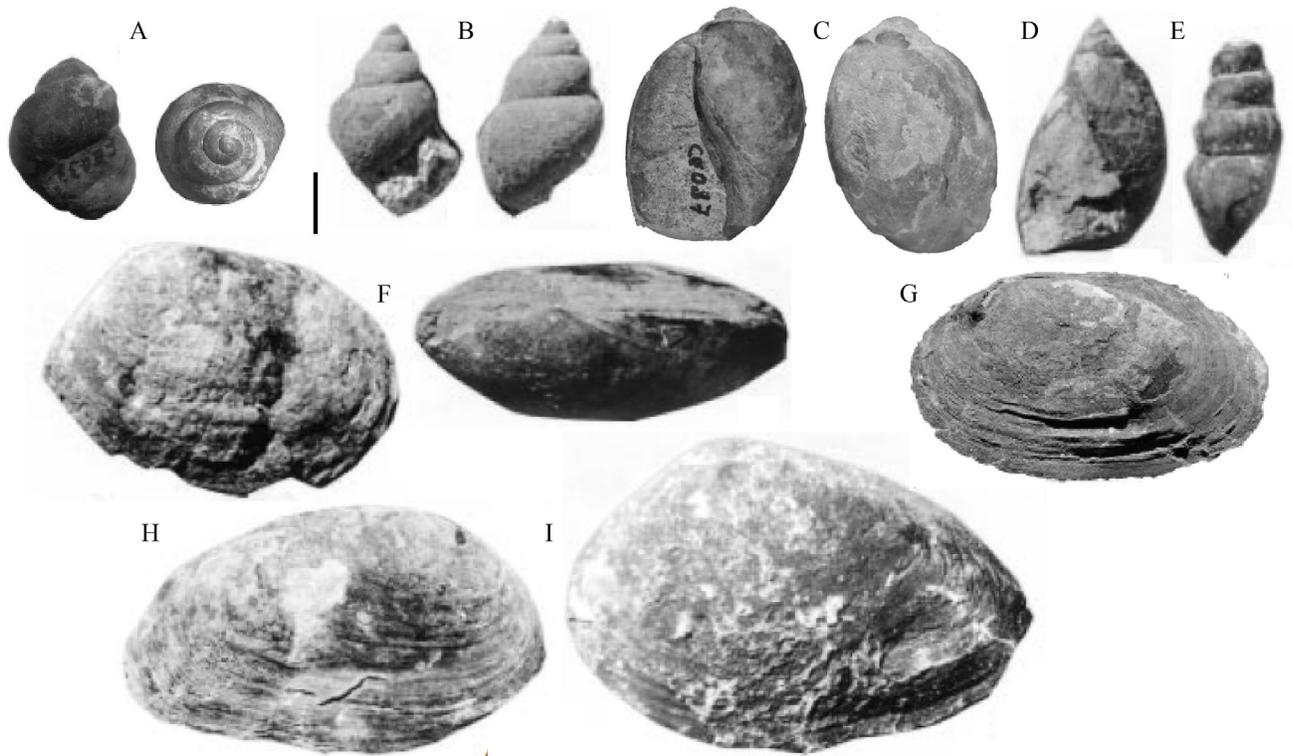
Por su contenido fósil y su litología, la Formación Corral de Enmedio ha sido interpretada como un depósito sedimentario que fue acumulado en ambientes lacustres y fluviales (González-León, 1994). Su fauna fósil que está representada por restos de dinosaurios, tortugas, cocodrilos, peces, gasterópodos y bivalvos se interpreta también de origen continental (Lucas *et al.*, 1995, Duarte Bigurra, 2019). Las lodolitas de la unidad 11, sin embargo, tienen intercalaciones de calizas micríticas con foraminíferos planctónicos y carofitas que indican un origen marino marginal. La capa lenticular de conglomerado en la unidad 11 se interpreta como el relleno de un canal fluvial que ingreso al ambiente



**Figura 12.** Restos fragmentarios de dinosaurios encontrados en la Formación Corral de Enmedio. A–B) Centro de vértebra de ceratópsido (ERNO-314), en vistas lateral (A) y posterior (B). C–D) falange I, posiblemente del dígito III (ERNOV-1026) de hadrosaurio. E–F) diente de tiranosáurido (ERNO-8027) y detalle de los denticulos (F). G) Vértebra caudal posiblemente de ornitomímido (ERNO-8004). H–I) Fémur izquierdo de hadrosaurio (ERNO-360) en vista media (H) y posterior (I). Escalas A, B, C, D y G corresponden con 1 cm; F corresponde con 2 mm; E, H e I corresponden con 5 cm. Imágenes A, B, H e I tomadas de Lucas y González-León (1996) y C–F tomadas de Duarte Bigurra (2019).



**Figura 13.** Microfósiles de las calizas de la unidad 11 de la Formación Corral de Enmedio. A) Alga calcárea de Characeae Agard, 1824. B) ?*Pythonella* sp. C) ostrácodo. D) foraminífero planctónico no identificado, con cámaras rotas, E) ostrácodos y conchas delgadas indeterminadas, F, I) foraminífero planctónico *Globigerinelloides bollii* Pessagno, 1967, G) *Pithonella sphaerica* Kaufmann, 1865, H) alga calcárea de Porocharacea Grambast, 1962. La longitud de cada microfotografía está indicada en milímetros dentro de cada una de ellas. Figuras tomadas de Duarte Bigurra (2019). Foraminíferos identificados por el Dr. Robert W. Scott y carofitas identificadas por la Dra. Alba Vicente (comunicación personal, 2018).



**Figura 14.** Moluscos del Grupo Cabullona. Gasterópodos: A) *Viviparus australis* Kues 1995 (ERNO-8658). B) *Campeloma* aff. *C. vetula* (Meek y Hayden) (IRGNM-15). C) *Mesolanistes reesidei* (Stanton). E) *Lioplacodes?* sp. (IRGNM-117). D) *Physa* cf. *P. copei* (IRGNM-118). Bivalvos: F) *Plesielliptio* aff. *P. brachyopisthus* (White) (IRGNM-90). G) *Plesielliptio* sp. (ERNO-8637). H) *Unio?* *stantoni* White, 1905 (IRGNM-94). I) *Plesielliptio sonoraensis* Kues, 1995 (IRGNM-78). Barra de escala 1 cm. Imágenes A, C y G tomadas de Duarte Bigurra (2019), imágenes B, D, E, F, H e I tomadas de Lucas *et al.* (1995).

marino donde se acumulaban sedimentos finos de dicha unidad. Los intraclastos de lodolita y de caliza de este conglomerado contienen los mismos microfósiles de las capas de calizas, sugiriendo que fueron arrancados por las corrientes fluviales de los márgenes del canal para ser redepositados en él. Los fragmentos de vertebrados, los nódulos pedogénicos y los clastos de rocas volcánicas que también contiene el conglomerado, sugieren que la corriente del canal atravesó la planicie fluvial para luego desembocar en un mar somero y costero.

De una muestra de una arenisca tobácea de la parte inferior de la Formación Corral de Enmedio se fecharon circones detríticos que dieron una edad U-Pb de ca. 72 Ma (límite Campaniano-Maastrichtiano) (González-León *et al.*, 2017), la cual se interpreta como la edad máxima de depósito de esta unidad.

#### 2.4.2. Arenisca Camas

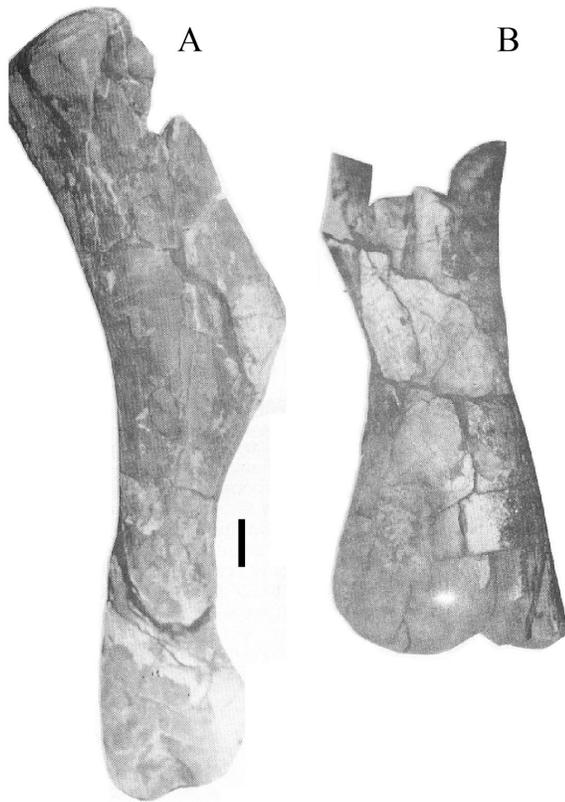
La Arenisca Camas consiste de areniscas, limolitas y lodolitas que se organizan en secuencias granodecrecientes con espesores de 3 a 18 m (Figura 4E). En la parte inferior de la formación, las areniscas forman cuerpos lenticulares de capas superpuestas, son de grano grueso a conglomeráticas finas y presentan estratificación cruzada. Las lodolitas/limolitas son masivas, tienen

intercalaciones de capas delgadas de areniscas finas, niveles localizados con nódulos calcáreos de origen pedogénico, rizolitos y bioturbación. Se tienen también capas ocasionales de lodolitas gris oscuro con abundantes restos finos de plantas y raramente se encuentran bivalvos y pelecípodos mal preservados. Esta formación tiene 620 m de espesor y se interpreta que fue depositada en ambientes de ríos.

#### Paleontología

Se encontraron restos fragmentarios de huesos de dinosaurios hadrosaurios (Lucas y González-León, 1996; Figura 15).

Almeida y Martínez (1982) identificaron las siguientes dos asociaciones de palinomorfos mal conservados las cuales asignaron a la Formación Snake Ridge de la terminología de Taliaferro (1933): a) Miembro inferior: *Cyathidites minor*, *Chomotriletes fragilis*; b) Miembro medio: *Steriosporites* sp., *Palambages* sp., *Sporopollis* sp., *Eucommiidites* sp., *Retitricolpites minutus*, *Cedripites* cf. *parvus*, *Araucariacites* sp., *Pityosporites elongatus*, *Monocolpopollenites* sp., *Botryococcus* sp. Estos mismos autores reportaron restos del dinosaurio *Trachodon mirabilis* en el miembro superior. Además, indicaron la presencia de *Stereisporites* cf. *S. antiquasporites*, *Circulina parva* y esporas trilete no identificadas de las muestras



**Figura 15.** Restos fragmentarios de dinosaurios del Grupo Cabullona de la Arenisca Camas. A) Húmero izquierdo de hadrosaurio. B) Terminación final de un húmero izquierdo de hadrosaurio. Barra de escala 4 cm. Imágenes tomadas de Lucas y González-León, 1996.

estudiadas sin indicar la unidad a la cual pertenecen. Sin embargo, se considera que estos palinomorfos descritos corresponden con la Formación Arenisca Camas ya que el autor principal de esta guía de excursión los acompañó al campo durante el muestreo, a finales de los años 70's del siglo pasado, en un tiempo cuando la revisión estratigráfica del Grupo Cabullona (González-León y Lawton, 1995) no se había aún realizado. López-Higuera *et al.* (2008) indican que la Arenisca Camas es la unidad más rica y con mejor preservación de todas las descritas en el área de Naco con granos de polen (*Aquilapollenites*, *Azonia*, *?Cranwellia*, *Mancicorpus*, *Fibulapollis*), esporas y dinoquistes sugiriendo ambientes de lagunares a fluviales de edad Campaniana.

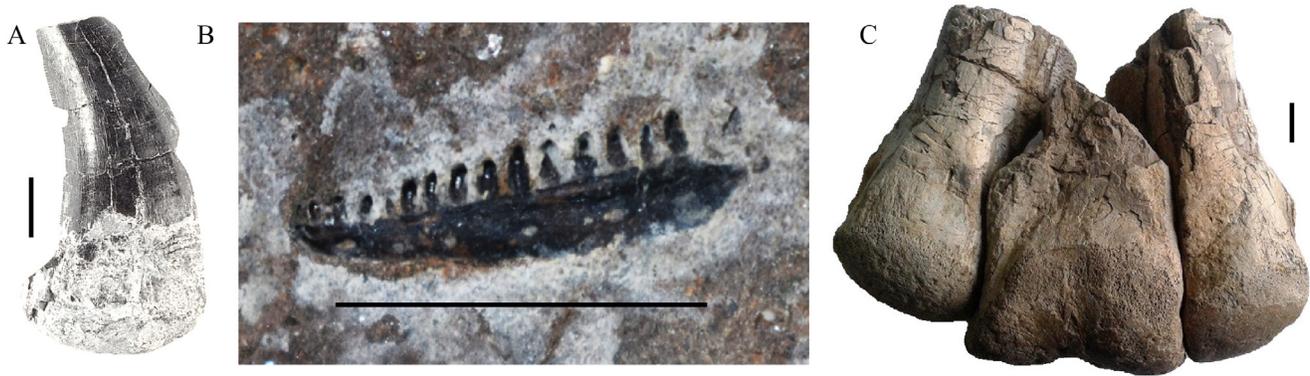
#### 2.4.3. Lutita Packard

La Lutita Packard tiene un espesor de 1070 m y se divide en ocho miembros numerados que se interpreta representan la acumulación de dos ciclos complejos de depósitos lacustres y deltaicos superpuestos (González-León, 1994). Los miembros 1 al 4 representan al primer ciclo, y los miembros 5 a 8 representan al segundo; a continuación, se describe las características de los miembros del primer ciclo. El miembro inferior 1 está formado por

limolitas y lodolitas bioturbadas de colores café, amarillentos y rojizos claros que tienen intercalaciones de capas de areniscas bioturbadas, lenticulares y de grano fino, y capas de calizas delgadas con bivalvos y gasterópodos. El espesor de este miembro varía de 10 a 40 m y se interpreta que fue depositado en un ambiente lacustre marginal. El miembro 2 tiene un espesor de 92 m y sus 15 más inferiores los forman lutitas laminadas (Figura 4F) de colores gris oscuro que hacia la parte superior del miembro se le intercalan capas de limolitas y areniscas de grano fino que tienen estructuras de corriente en sus planos basales de estratificación. El ambiente de depósito de este miembro se interpreta como lacustre abierto con intercalaciones de turbiditas que están relacionadas a la construcción deltaica que representa el miembro 3 suprayacente. El miembro 3 es de 103 m de espesor y consiste de areniscas y de lodolitas y limolitas de color gris oscuro, masivas a laminadas y con abundantes fragmentos de plantas. En la parte inferior del miembro predominan las lodolitas y limolitas, mientras que en su parte superior predominan las capas de arenisca que son de grano medio a grueso, lenticulares, con bases erosivas y estratificación cruzada y convoluta. Su ambiente de depósito se interpreta como un complejo de frente deltaico fluvial. El miembro 4 tiene 160 m de espesor y en su parte inferior consiste de lodolitas y limolitas masivas a laminadas de color gris oscuro, con intercalaciones de areniscas lenticulares de grano fino a medio y de calizas arenosas con gasterópodos. En la parte superior de este miembro los cuerpos de areniscas son de hasta 6 m de grueso, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada y convoluta y forman ciclos granodecrecientes al estar sobreyacidas por niveles de hasta 27 m de lodolitas/limolitas masivas, bioturbadas, de colores verdes a café amarillento donde se intercalan capas lenticulares de caliza arcillosa con gasterópodos, bivalvos y carofitas. Su ambiente de depósito se interpreta como planicie deltaica cortada por canales distributarios. El miembro 5 de la Lutita Packard tiene un espesor de 68 m y consiste de limolitas y lodolitas bioturbadas a localmente laminadas, de colores verdes y café con abundantes fragmentos finos de plantas y con algunas intercalaciones de calizas delgadas con gasterópodos y pelecípodos. Este miembro se interpreta como un depósito lacustre marginal que siguió al ahogamiento del delta del primer ciclo, debido a una expansión, o transgresión lacustre cuyos depósitos más profundos están representados por las lutitas laminadas de color gris oscuro que forman la parte inferior del miembro 6.

#### Paleontología

De la formación Lutita Packard se han identificado escamas de Lepisosteidae, carapachos de Trionychidae y un fragmento de mandíbula de lagartija con dientes (Lucas *et al.*, 1995; Lucas y González-León, 1996) (Figura 16B-C). Varios ejemplares de dientes de terópodos pertenecientes a la Familia Tyrannosauridae han sido reportados por



**Figura 16.** Restos fragmentarios de dinosaurios de la Lutita Packard del Grupo Cabullona. A) Diente incompleto de Tyrannosauridae (tomado de Lucas y González-León, 1996). B) Fragmento dentario derecho de una lagartija asignado a *Chamops segnis* (IRGNM-205) (reportado en Lucas *et al.*, 1995). C) Vista dorsal de un conjunto de metatarsos articulados del ornitómimido *Tototlmimus packardensis* (ERNO 8553; reportados en Serrano-Brañas *et al.*, 2016). Barra de las escalas equivalen a 1 cm.

Lucas *et al.* (1995) (Figura 16A) y por Serrano-Brañas *et al.* (2014, 2017). Asimismo, Serrano-Brañas *et al.* (2016) describieron un esqueleto parcial de ornitómimido que asignaron al nuevo género y especie *Tototlmimus packardensis* (Figura 16C).

López-Higuera *et al.* (2008) describieron una palinofacies constituida por materia orgánica amorfa y fitoclastos fundamentalmente con una asociación palinológica mal preservada con poca diversidad de granos de polen bisacados indeterminados.

#### 2.4.4. Formación Lomas Coloradas

La Formación Lomas Coloradas (*Upper Red Beds* de Taliaferro, 1933) sobreyace de forma transicional al miembro 8 de la formación Lutita Packard y está cubierta discordantemente por riolitas de edad Eoceno (*Rhyolite tuff* de Taliaferro, 1933; Lucas *et al.*, 1995). Aflora con un espesor de 700 m y consiste de areniscas, limolitas y lodolitas que se organizan en una superposición de ciclos granodecrecientes, interpretados como de origen fluvial. Las areniscas forman cuerpos lenticulares de hasta 15 m de grueso, tienen superficies de reactivación interna y varían de grano grueso a conglomeráticas con estratificación cruzada de gran escala a areniscas de grano fino con estratificación de rizaduras de corriente; también presentan estratificación convoluta. Las limolitas/lodolitas son masivas a localmente laminadas, con algo de bioturbación, de colores gris rojizo, café rojizo, naranja y amarillento y tienen intercalaciones de capas delgadas de arenisca de grano fino bioturbadas. Dentro de las lodolitas son comunes los nódulos carbonatados de origen pedogénico y en algunos otros niveles se encontraron gasterópodos y ostrácodos. Esta formación contiene huesos de dinosaurios y madera fósil. Una arenisca tobácea de la parte superior de la Formación Lomas Coloradas dio una edad (U-Pb en circones) máxima de depósito de 72.5 Ma.

#### Paleontología

Lucas y González-León (1996) y Lucas *et al.* (1995) identificaron centros de vértebras de cocodrilos Eusuchia,

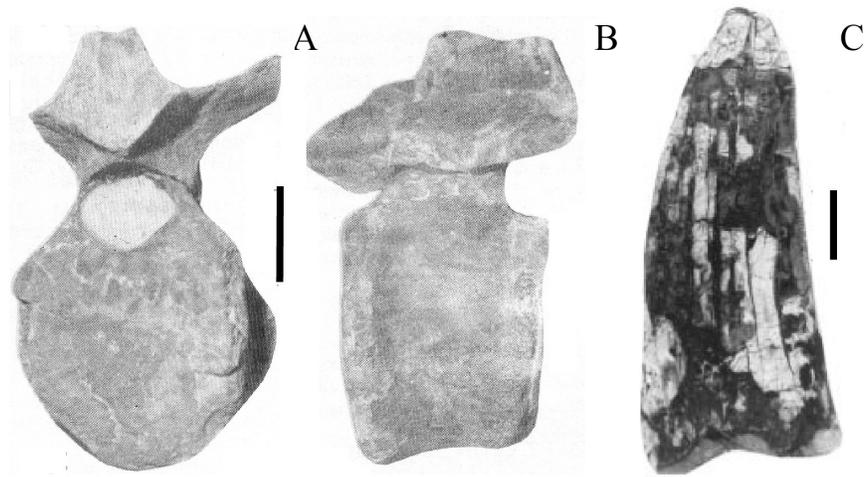
una vértebra de hadrosaurio (Figuras 17A y 17B), dos vértebras de la Familia Ceratopsidae y un diente de terópodos pertenecientes a la Familia Tyrannosauridae (Figura 17C). Serrano-Brañas *et al.* (2014, 2017) estudiaron exhaustivamente varios ejemplares de dientes de terópodos de la Familia Tyrannosauridae de la Formación Lomas Coloradas.

#### 2.5. Columna Esqueda

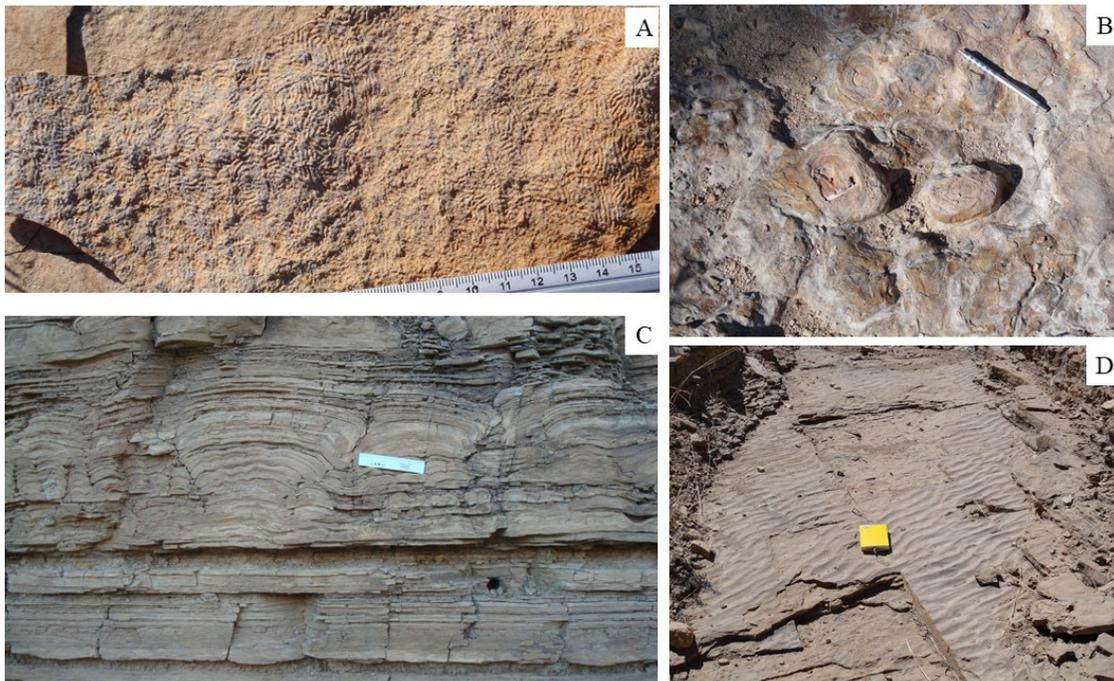
La sucesión estratigráfica que aflora en la localidad de Esqueda es la más joven del Grupo Cabullona y tiene un espesor incompleto de 790 m ya que su base no aflora y su cima está cubierta por rocas volcánicas del Terciario. Un fechamiento (U-Pb en circones) de una muestra de un derrame riolítico de la parte inferior de esta secuencia dio una edad de  $70.6 \pm 0.5$  Ma, mientras que otro de la parte superior dio edad de  $69.8 \pm 0.7$  Ma por lo que su edad se considera entre  $\sim 71$  y 69 Ma. Esta secuencia está compuesta por capas y niveles de lodolitas y limolitas tobáceas, capas de areniscas, capas delgadas a medianas de calizas arcillosas, niveles de tobas de ceniza volcánica, y en menor proporción se encuentran capas de riolitas. Es común que las rocas en la columna de Esqueda tengan fragmentos e impresiones de plantas (principalmente de gimnospermas) y en algunos niveles se tienen rizaduras de oleaje y de corrientes, estratificación convoluta, grietas de desecación, estromatolitos laminados y dómicos, tapetes algales (Figura 18), y rastros y huellas de dinosaurios que fueron estudiadas por Servín Pichardo (2013).

##### 2.5.1. Paleontología

En la secuencia estratigráfica de Esqueda se han encontrado rastros y huellas aisladas de dinosaurios, y éstas han sido reportadas y estudiadas por Servín Pichardo (2013). Dicho autor reportó un total de 35 dinosauriñitas de localidades *in situ*, así como ejemplares ubicados en colecciones privadas. Los grupos taxonómicos



**Figura 17.** Restos fragmentarios de dinosaurios de la Formación Lomas Coloradas del Grupo Cabullona. A) Vista lateral y B) vista posterior de una vértebra dorsal de hadrosaurio (IRGNM-215), escala 4 cm. C) Diente de cf. *Albertosaurus* (IRGNM-210), escala 1 cm (imágenes tomadas de Lucas y González-León, 1996).

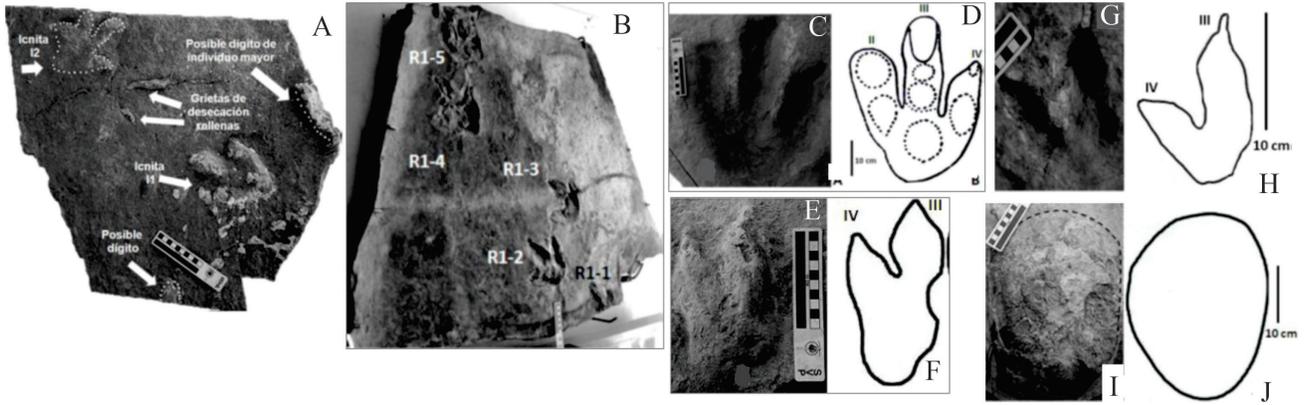


**Figura 18.** Algunas estructuras sedimentarias del Grupo Cabullona en la columna de Esqueda. A) Tapete algal de la parte superior de la columna. B) Estromatolitos dómicos, C) Estromatolitos dómicos y laminares y D) Rizaduras de oleaje en arenisca de grano fino de la parte media de la secuencia.

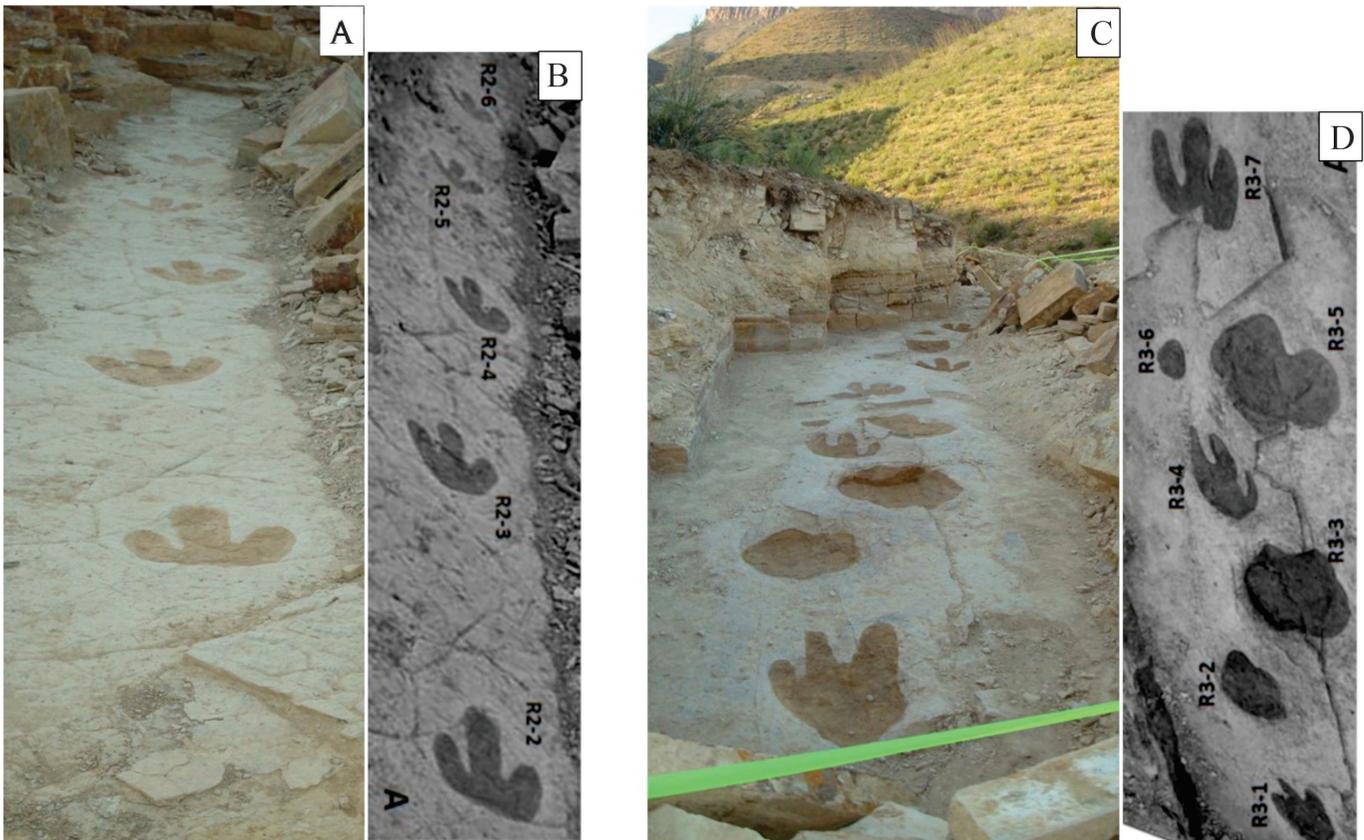
representados por estas icnitas, donde se incluyen tres rastros, corresponden a Theropoda indet., Ornithomimidae, Tyrannosauridae, Troodontidae, Dromaeosauridae, Titanosauria y Hadrosauridae, haciendo de esta una de las faunas de dinosaurios más diversas de México. La Figura 19 muestra algunas de los ejemplares reportados por Servín Pichardo (2013). La Figura 20 muestra fotografías de los rastros 2 y 3 tomadas días después de su descubrimiento por ejidatarios del poblado de Esqueda y a un lado de ellas se presenta la

interpretación realizada por Servín Pichardo (2013). Igualmente, la Figura 21 muestra dos rastros de icnitas de hadrosaurios de la localidad conocida como Ojo de Agua, o Rastro 2, que fueron descubiertos posteriormente al trabajo de Servín Pichardo y no han sido estudiadas.

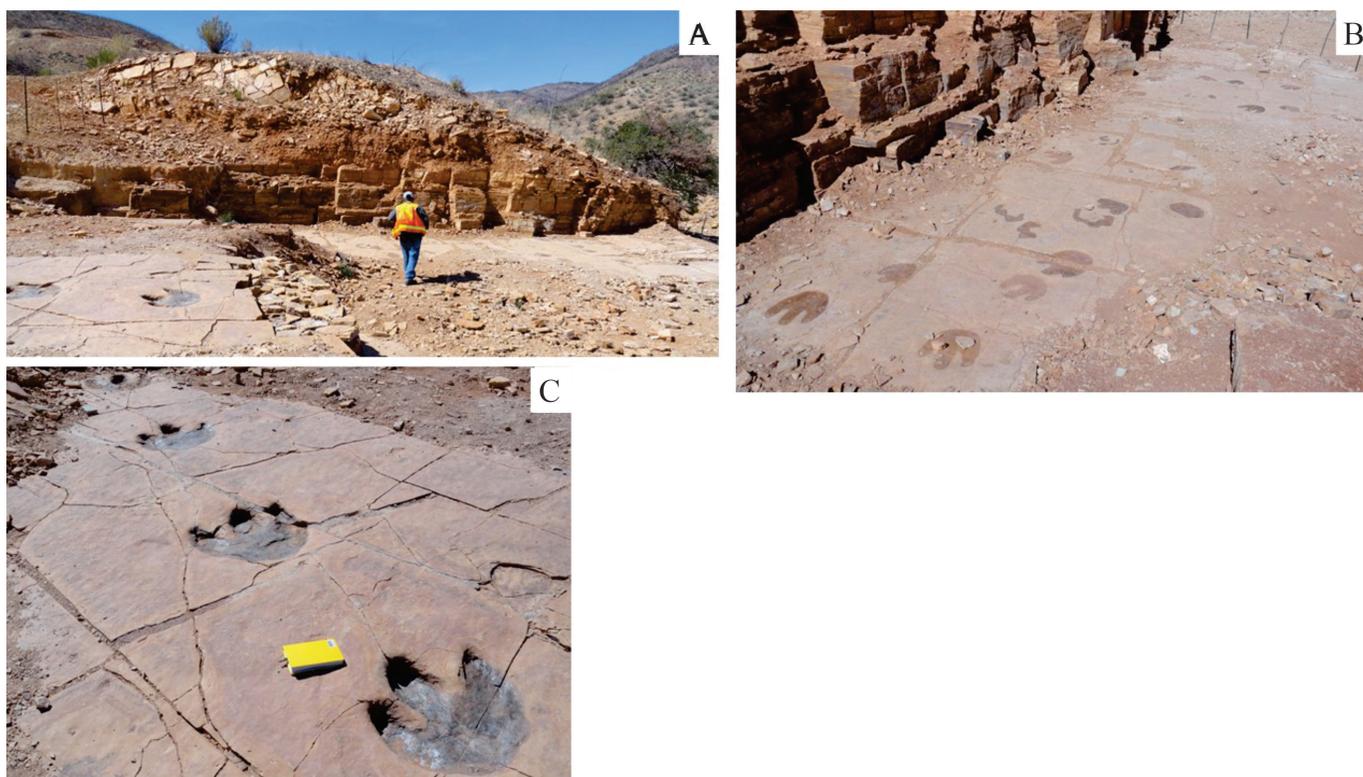
En capas de calizas de la secuencia de Esqueda se han encontrado también impresiones y permineralizaciones de plantas, especialmente de pináceas del género fósil *Pinus* del cual se han identificado dos nuevas



**Figura 19.** A) Laja mostrando icnitas I1 e I2 de terópodo indeterminado otras icnitas incompletas en un sustrato de lodolita con grietas de desecación. B) Laja con rastro R1 de ornitomímido en un sustrato de lodolita tobácea. Esta laja está en exhibición en la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología UNAM en Hermosillo. C) Fotografía de icnita I3 de tiranosaurio grande con D) diagrama interpretativo de su morfología indicando posibles cojinetes con líneas punteadas. E) Icnita I5 de Dromaeosauridae y F) esquema interpretativo de su morfología. G) Fotografía de icnita I4 de Troodontidae y H) Diagrama interpretativo de su morfología. I) Fotografía de la laja que contiene a la icnita I7 que se interpreta fue producida por un saurópodo de edad joven; J) Esquema interpretativo de su morfotipo. Escalas en centímetros. Imágenes e interpretaciones tomadas de Servín Pichardo, 2013.



**Figura 20.** Rastros de dos individuos de hadrosaurios, encontrados sobre lodolitas con grietas de desecación en el sitio conocido como Sendero 1 (o Carro Quebrado), de la secuencia de Esqueda. A y C muestran fotografías tomadas pocos días después de su descubrimiento por ejidatarios de Esqueda y B y D son imágenes de los rastros con las huellas resaltadas y clasificadas por Servín Pichardo (2013). De acuerdo a la descripción de Servín Pichardo, el Rastro 2 (en A-B) presenta 8 icnitas podiales consecutivas (5 derechas y 3 izquierdas) pertenecientes a un mismo individuo bípedo. El Rastro 3 (C-D), está compuesto por 14 icnitas consecutivas de un mismo individuo: 6 podiales derechas, 5 podiales izquierdas y 3 manuales izquierdas. El rastro 2 está actualmente protegido y techado, pero en pobre estado de preservación. El Rastro 3 ha desaparecido por erosión y actividad humana.



**Figura 21.** A) Dos rastros de icnitas de hadrosaurios en la localidad conocida como Ojo de Agua, o Sendero 2 que fueron descubiertos posteriormente al trabajo de Servín Pichardo (2013). El rastro que se muestra con más detalle en B), se localiza en un nivel estratigráfico ubicado a 70 cm por debajo del rastro que se muestra en C). El primer rastro ya no se preserva.

especies, *Pinus enochii* y *Pinus uxui* (Huerta-Vergara y Cevallos-Ferriz, 2018) (Figuras 22A, 22B y 22C). Desde la base de la columna hasta los niveles donde están las huellas dinosaurios se observa un registro de granos de polen y esporas, predominando los granos de polen de angiospermas (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2013) (Figuras 22.1–22.11).

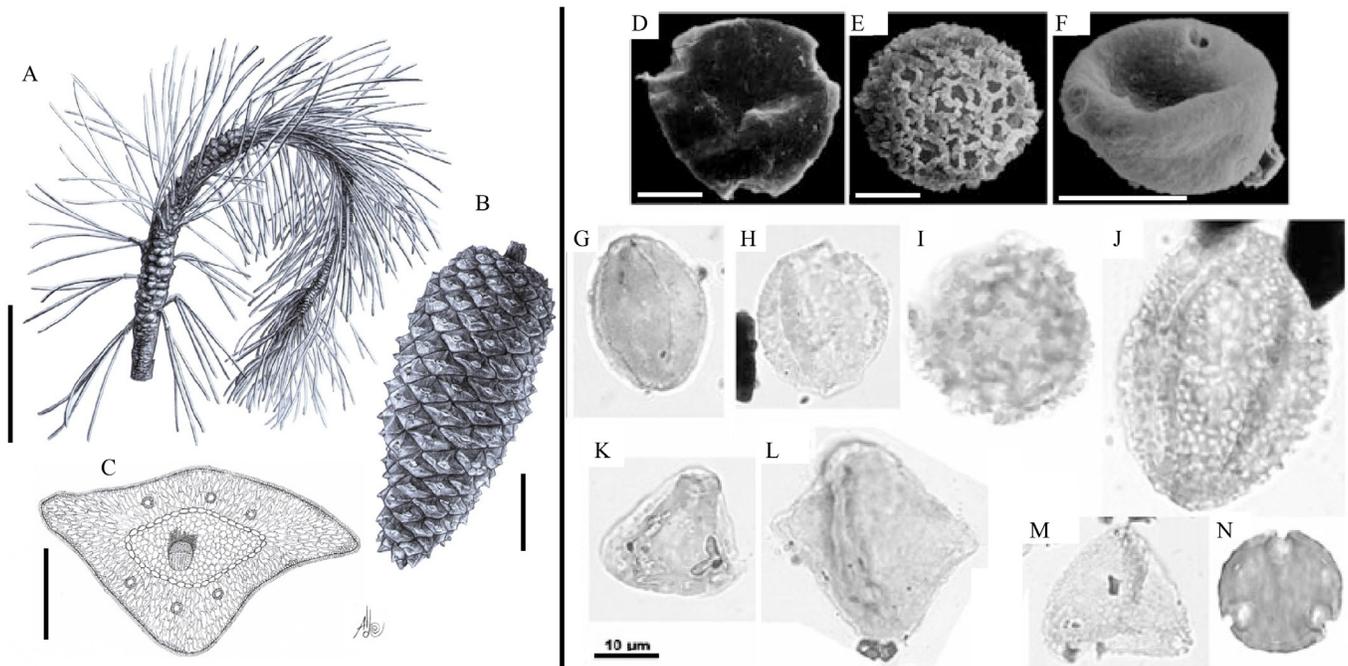
### 3. Edad del Grupo Cabullona

La secuencia sedimentaria que compone al Grupo Cabullona tiene una edad que va de principios del Campaniano al Maastrichtiano temprano, de acuerdo con fechamientos U-Pb que se han realizado en circones separados de muestras de rocas volcánicas que se intercalan en algunas de sus columnas estudiadas (González-León *et al.*, 2017). Sin embargo y dado que la base y cima del grupo no son conocidas, la edad más antigua y más joven de la Cuenca Cabullona tampoco se ha precisado. La edad de  $81.9 \pm 0.7$  Ma obtenida de una riolita de la secuencia del Rancho Los Atolillos es la más antigua conocida para el grupo y para la cuenca, mientras que la edad de  $69.8 \pm 0.7$  Ma obtenida de una riolita de la parte superior de la columna Esqueda es la más joven. Otras secciones estratigráficas del Grupo Cabullona que han

sido fechadas (González-León *et al.*, 2017) dentro de la cuenca, como la Cuauhtémoc, Ruíz Cortines y San Joaquín tienen edades de 75, 74 y 70 Ma, respectivamente. A pesar del variado contenido paleontológico del Grupo Cabullona, los pocos fósiles que han sido identificados a nivel de especie y que tienen valor bioestratigráfico provienen de las columnas Naco y Esqueda. La asociación de palinomorfos reportados de la Arenisca Camas del área de Naco por López-Higuera *et al.* (2008) y de la columna estratigráfica de Esqueda por Villanueva-Amadoz *et al.* (2014), sugieren una edad del Campaniano tardío al Maastrichtiano tardío. Del mismo modo, el reptil teíido *Chamos segnis* de la Lutita Packard tiene un rango de edad del Campaniano tardío al Maastrichtiano tardío (Lucas *et al.*, 1995), mientras que los foraminíferos *Hedbergella* sp. y *Pithonella sphaerica* de la Formación Corral de Enmedio tienen un amplio rango de edad cretácica, aunque *Globigerinelloides bollii* está restringido del Coniaciano al Maastrichtiano.

### 4. Paleogeografía

La Cuenca Cabullona empezó a formarse hace aproximadamente 83 Ma, justo al tiempo que en Sonora empezaban a incrementarse un evento de volcanismo



**Figura 22.** A-C.- Reconstrucciones de *Pinus enochii* y *P. uxui* de la columna de Esqueda realizadas por Aldo Domínguez de la Torre (tomado de Huerta-Vergara y Cevallos-Ferriz, 2018). A.- Rama frondosa de *P. enochii*, escala = 1 cm. B.- Cono con semillas de *P. uxui*, escala = 1 cm. C.- Diagrama de *P. enochii*, escala = 0.1 cm. D-N.- Registro palinológico del depósito de la columna de Esqueda. D: *Momipites* sp.; E, J: *Erdtmanipollis* sp.; F: *Triporopollenites plektosus*; G: *Fraxinopollenites variabilis*; H: *Rousea* sp.; I: *Striatopollenites paranea*; K: *Alnipollenites trina*; L: *Aquilapollenites* sp.; M: *Tschudypollis retusus*; N: cf. *Libopollis* sp. Escala imágenes 1-11 = 10  $\mu$ m (tomado de Villanueva-Amadoz *et al.*, 2014).

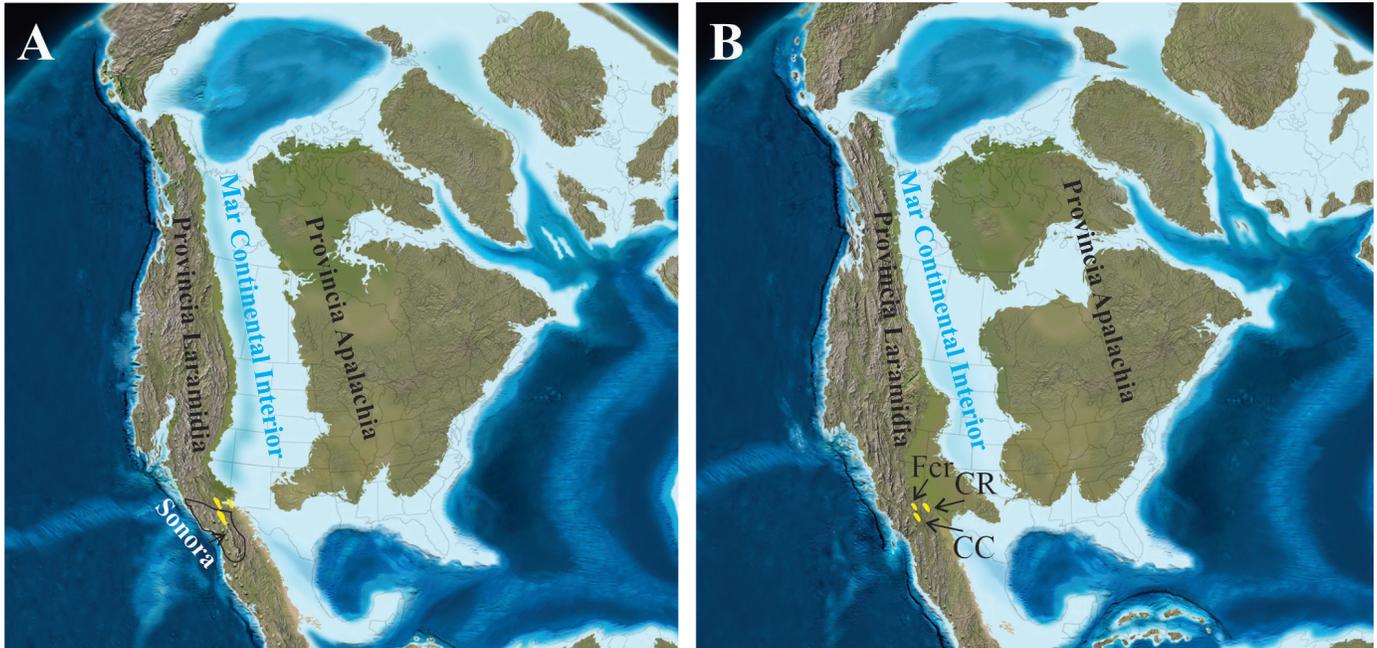
y de deformación tectónica regional que había empezado hace cerca de 90 Ma, a principios del Cretácico Tardío. Este evento volcánico se extendió por la margen occidental de México, desde el Arizona y hasta el sur de México, y en Sonora empezó a desarrollarse en la región costera y gradualmente fue migrando hacia el oriente, dentro del continente, hasta llegar a Chihuahua. El evento volcánico concluyó hace cerca de 50 Ma, durante el Eoceno, mientras que el evento de deformación culminó un poco antes de esa Época.

Al mismo tiempo que en la mayor parte de Sonora ocurría el volcanismo del Cretácico Tardío, en la región cercana de Chihuahua se tenían las costas de un mar somero que se extendía desde el Golfo de México hasta el Océano Ártico, atravesando el continente Norteamericano. Dicho mar, conocido con el nombre de Mar Interior Occidental (*Western Interior Seaway*), se había formado desde hace ~105 Ma y dividió a Norte América en dos grandes provincias continentales llamadas Apalachia al oriente, y Laramidia al occidente (Figura 23). El Mar Interior Occidental fue gradualmente reduciéndose en tamaño hasta perder su conexión intracontinental hace casi 72 Ma. De esta manera, durante su desarrollo, entre 83 y 69 Ma, la cuenca Cabullona se situó sobre Laramidia y en una región cercana a la amplia planicie costera del Mar Interior Occidental en el occidente de Chihuahua. Una incursión de ese mar que alcanzó a la cuenca Cabullona hace casi 73-72 Ma, dejó su registro en los microfósiles de la

unidad 11 de la Formación Corral de Enmedio antes de retirarse de forma rápida.

Durante el Período Cretácico, que abarcó desde 145 a 66 Ma, el clima terrestre era más cálido y húmedo que el actual y las regiones polares, en vez de estar cubiertas por hielo como lo están actualmente, estaban cubiertas por bosques donde vivían dinosaurios. La Cuenca Cabullona se formó y evolucionó a finales del Período Cretácico (entre 83 y 69 Ma) y los sedimentos que en ella se acumularon sabemos que fueron depositados en ambientes de grandes ríos y lagos, lo cual concuerda en que se trataba de una región donde existía abundante agua y lluvias. Del mismo modo, los fósiles que se han encontrado en las rocas del Grupo Cabullona son por lo general representativos de animales y plantas que solo pudieron vivir en una región tropical, con abundante vegetación y agua. Entre los fósiles de dinosaurios encontrados se tiene una importante diversidad de ellos, que incluyen a los vegetarianos como los hadrosaurios, ceratópsidos y titanosaurios y a los carnívoros como los tiranosaurios y los ornitómimidos, siendo los primeros que servían de alimentos para los segundos.

Los fósiles de peces, cocodrilos y tortugas que son comunes en las rocas del Grupo Cabullona indican también que la región debió haber tenido condiciones climáticas de tipo tropical y abundante agua para poder soportar la vida de estos organismos. La presencia de carofitas (*Lychnothamnus tenuis*) junto con bivalvos y gasterópodos en



**Figura 23.** Interpretación de la paleogeografía de Norteamérica en el Cretácico Tardío, durante el desarrollo de la Cuenca Cabullona de acuerdo a mapas tomados de Blakey, (©2014 Colorado Plateau Geosystems Inc.). El Mar Interior Occidental dividía a Norteamérica en las provincias Apalachia y Laramidia. En A) se muestra la paleogeografía de hace 85 Ma con la ubicación aproximada del estado de Sonora y en B) se muestra la paleogeografía de hace 75 Ma, indicando la posición de la Cuenca Cabullona (CC) y las cuencas vecinas contemporáneas de Fort Crittenden (Hayes, 1987; McCord *et al.*, 2001) (Fcr) en el sur de Arizona y Ringbone (Basabilvazo, 2000) (CR) en el suroeste de Nuevo México.

algunas de las localidades estudiadas indica igualmente la existencia de ambientes lacustres, mientras que la presencia de grandes troncos de cupresáceas (*Cupressinoxylon manuelii*) en cuerpos de areniscas fluviales de la secuencia de Fronteras (Ríos-Santos *et al.*, 2020) indica la existencia de canales de ríos con abundante agua en avenidas ocasionales. La macroflora paraautóctona registrada en la secuencia de Esqueda indica una gran abundancia de coníferas del género fósil *Pinus* que incluso se presentan permineralizadas (Huerta-Vergara y Cevallos-Ferriz, 2018), lo cual contrasta con la abundancia y diversidad de granos de polen de angiosperma observado en la microflora (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2014). La edad de 77 Ma obtenida para las rocas de la columna de Fronteras, y la de 73–72 Ma para las de Naco, indica que los dinosaurios encontrados en la primera localidad vivieron ~4 millones de años antes que los de Naco. Del mismo modo, la edad más joven obtenida para las rocas de la columna estratigráfica de Esqueda, que es de 69 Ma, indica que las icnitas que en ella se encuentran pertenecieron a una fauna de los últimos dinosaurios que existieron, dado que ese grupo se extinguió a los ~66 Ma.

### Agradecimientos

Agradecemos mucho la colaboración del Sr. Heriberto López Guerrero, Presidente del Ejido Naco y a

los ejidatarios del mismo, por permitirnos llevar la excursión dentro de sus propiedades, al igual que al Sr. Lorenzo (Tito) Gallegos Morales por darnos el permiso de entrar a su rancho y realizar el caminamiento dentro del mismo Ejido. De la misma manera agradecemos a las autoridades del H. Ayuntamiento de Fronteras por las facilidades que nos han otorgado para visitar los museos municipales, especialmente a la Ing. Ana Rosa Peñuelas Martínez, Directora de Turismo, Cultura y Deportes, al Sr. Enrique Trujillo Chávez, Encargado del Museo Paleontológico, a la Profesora Claudia Hernández Hernández y a Luis Francisco López Alday del Ejido Esqueda por toda su ayuda y atenciones que nos brindaron durante la excursión. Agradecemos las revisiones y valiosas observaciones de los dos revisores del trabajo.

### Referencias

- Almeida, L. & Martínez-Hernández, E. (1982). Estudio palinológico preliminar del Cretácico Superior de la Cuenca Cabullona, Sonora, México (resumen). En: *III Congreso de Paleobotánica y Palinología*. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México, 213–227.
- Anderson, T.H. & Silver, L.T. (2005). The Mojave-Sonora megashear-field and analytical studies leading to the conception and evolution of the hypothesis. *Geological Society of America Special Paper*, 393, 1–50. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2393-0.1>

- Basabilvazo, G.T. (2000). The Upper Cretaceous Ringbone Formation, Little Hatchet Mountains, southwestern New México. *New México Geological Society*, 203–210.
- Duarte Bigurra, R. (2013). *Descripción de dos esqueletos parciales de Hadrosauridae (Dinosauria: Ornithischia) del Cretácico Superior de la región de Fronteras, Sonora, México*. Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, tesis de licenciatura, 97 pp.
- Duarte Bigurra, R. (2019). *Estratigrafía y tafonomía de la Formación Corral de En medio, Grupo Cabullona, noreste de Sonora, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 119 pp.
- González-León, C.M. (1994). *Stratigraphy, depositional environments, and origin of the Cabullona Basin, northeastern Sonora, Mexico*. Tucson, Arizona, The University of Arizona, tesis de doctorado, 143 p.
- González-León, C.M. & Lawton, T.F. (1995). Stratigraphy, depositional environments, and origin of the Cabullona basin, northeastern Sonora. *Geological Society of America Special Paper*, 301, 121–142.
- González-León, C.M., Solari, L.A. & 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*, 80, 494–511.
- Hayes, M.J. (1987). Depositional history of Upper Cretaceous Fort Crittenden Formation in southeastern Arizona. *Arizona Geological Society Digest*, 18, 315–325.
- Huerta-Vergara, A.R. & Cevallos-Ferriz, S.R.S. (2018). Vegetative and reproductive organs of late cretaceous *Pinus* spp. from Esqueda, Sonora, Mexico. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 259, 134–141.
- Kaufmann, F.J. (1865). Polythalamien des Seewerkalkes. En: Heer, O. (Ed.), *Die Urwelt der Schweiz*. Schulthess, Zurich, 194–199.
- López-Higuera, A., Martínez-Hernández, E. & González-León, C.M. (2008). Upper Cretaceous Pollen from the Cabullona Basin, Northeastern Sonora, México - preliminary results. En: *12<sup>th</sup> International Palynological Congress, 8<sup>th</sup> International Organisation of Paleobotany Conference: Terra Nostra*, Bonn, Alemania, 172 pp.
- Lucas, S.G. & González-León, C.M. (1996). Dinosaurios del Cretácico Tardío del Grupo Cabullona, Sonora. *Geología del Noroeste*, 1 (2), 20–25.
- Lucas, S.G., Kues, B.S. & González-León, C.M. (1995). Paleontology of the Upper Cretaceous Cabullona Group, northeastern Sonora. *Geological Society of America Special Paper*, 301, 143–165.
- McCord R.D., Tegowski, B.J. & Scarborough, R. (2001). Ongoing research in the Late Cretaceous Fort Crittenden Formation, southeastern Arizona: the non-dinosaurian vertebrate fauna. *Mesa Southwest Museum Bulletin*, 8, 65–71.
- McKee, J.W., McKee, M.B. & Anderson, T.H. (2005). Mesozoic basin formation, mass gravity sedimentation, and inversion in northeastern Sonora and southeastern Arizona. En: Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W. & Steiner, M.B. (Eds.). *The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*. Geological Society of America Special Paper, 393, 481–507. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2393-0.481>
- Noriega-Ruiz, H.A. (2017). *Estudio palinológico de la Formación Corral de Enmedio (Cretácico Superior), noreste de Sonora, México*. Sonora, México, Departamento de Geología, Hermosillo, Universidad de Sonora, Tesis Profesional, 78 pp.
- Page, W.R., Gray, F., Iriondo, A., Miggins, D., Blodgett, R.B., Maldonado, F. & Miller, R.J. (2010). Stratigraphy and Mesozoic–Cenozoic tectonic history of northern Sierra Los Ajos and adjacent areas, Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 557–571. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.11.008>.
- Pessagno, E.A. (1967). Upper Cretaceous planktonic foraminifera from the western Gulf Coastal Plain. *Palaeontographica Americana*, 5, 245–445.
- Rangin, C. (1977). Tectónicas sobrepuestas en Sonora septentrional. *Revista del Instituto de Geología*, 1, 44 - 47.
- Ríos-Santos, C., Cevallos-Ferriz, S.R.S. & Pujana, R.R. (2020). Cupressaceous woods in the Upper Cretaceous Cabullona Group in Fronteras, Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 104, 102756. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102756>.
- Serrano-Brañas, C.I., Torres, E., Reyes-Luna, P.A., González, I. & González-León, C.M. (2014). Tyrannosaurid teeth from the Lomas Coloradas Formation, Cabullona Group (Upper Cretaceous). *Cretaceous Research*, 49, 163–171.
- Serrano-Brañas, C.I., Torres, E., Reyes-Luna, P.A., González, I. & González-León, C.M. (2016). A new ornithomimid dinosaur from the Upper Cretaceous Packard Shale Formation (Cabullona Group) Sonora, Mexico. *Cretaceous Research*, 58, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.08.013>
- Serrano-Brañas, C.I., Gutiérrez-Blando, C., Duarte Bigurra, R. & González-León, C.M. (2017). First occurrence of tyrannosaurid theropods from the Corral de Enmedio Formation (Upper Cretaceous) Sonora, México. *Cretaceous Research*, 75, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2017.03.015>
- Servín Pichardo, R. (2013). *Descripción e interpretación del primer registro de dinosauricnitas en el Grupo Cabullona (Cretácico Superior) de Esqueda, Municipio de Fronteras, Sonora*. Ciudad de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Licenciatura, 142 pp.
- Solari, L.A., González-León, C.M., Ortega-Obregon, C., Valencia-Moreno, M. & Rascón-Heimpel, M.A. (2018). The Proterozoic of NW Mexico revisited: U-Pb geochronology and Hf isotopes of Sonoran rocks and their tectonic implications. *International Journal of Earth Sciences*, 107, 845–861. <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1517-2>
- Taliaferro, N.L. (1933). An occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern Sonora, Mexico. *Journal of Geology*, 41 (1), 12–37.
- Vicente, A., Sanjuan, J., Eaton, J. & Villanueva-Amadoz, U. (2020). The oldest record of North American *Lychnothamnus* (northeastern Sonora, Mexico): Implications for the evolution, ecology, and paleogeographic distribution of the genus. *Aquatic Botany*, 167, 103271. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103271>
- Villanueva-Amadoz, U., González-León, C.M., Solari, L.A., Calvillo-Canadell, L. & Cevallos-Ferriz, S.R.S. (2013). Dating the uppermost part of the Cabullona Group in Esqueda (Sonora, Mexico). En: Rocha, R., Pais, J., Kullberg, J. & Finney, S. (eds.). *STRATI 2013*. Springer, Cham, 1207–1209.
- Villanueva-Amadoz, U., Calvillo-Canadell, L. & Cevallos-Ferriz, S.R.S. (2014). Síntesis de los trabajos paleobotánicos del Cretácico en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1), 97–121.

## XVII Congreso Nacional de Paleontología de la Sociedad Mexicana de Paleontología

Itinerario de la excursión pre-congreso: Estratigrafía y paleontología del Grupo Cabullona, noreste de Sonora.

Fecha de la excursión: viernes 18 al domingo 20 de noviembre, 2022.

### *Recomendaciones generales para los participantes:*

El clima del mes de noviembre en el noreste de Sonora, en general presenta temperaturas que varían de 13 a 24°C, pero puede ser impredecible ante la llegada de frentes fríos que pueden provocar lluvias y nevadas. Se sugiere consultar predicciones del clima cercano a la fecha, para llevar la ropa adecuada. Durante el segundo día se hará una caminata de aproximadamente 6 km por terreno de topografía suave, que no excede los 100 m de diferencia de altitud y con vegetación espinosa, por lo cual se recomienda llevar botas, ropa de campo apropiada y líquidos suficientes para hidratación. Las altitudes regionales por donde se realizará la excursión en el noreste de Sonora, varían de 1,800 a 1,100 msnm.

### *Viernes 18 de noviembre, 2022*

13:00 HRS. Salida de instalaciones de la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología, UNAM en Hermosillo, para iniciar viaje de excursión.

13:20 HRS. Salida de Hermosillo tomando la carretera internacional 15 hacia el norte, hasta llegar al poblado de Imuris ubicado a 215 km.

16:00 HRS. Llegada a Imuris para tomar la carretera 2 hacia el nororiente con rumbo a la ciudad de Cananea, ubicada a 80 km.

17:30 HRS. Llegada al Hotel Santa Fe, en Cananea, para hospedarse.

19:00 HRS. Cena en restaurant del mismo hotel, o a elección individual.

### *Sábado 19 de noviembre, 2022*

6:30 HRS. Desayuno en el restaurant del Hotel Santa Fe.

7:30 HRS. Salida al área a visitar, manejando sobre carretera federal 2 hacia el oriente (Figura 1 del libretto guía). En este tramo se estará viajando sobre aluviones recientes que cubren a las rocas del Grupo Cabullona. Del lado norte de la carretera, gradualmente se empezará a observar la Sierra San José formada

por el Conglomerado Glance, Formación Morita y Caliza Mural del Grupo Bisbee, esta última formando un sinclinal que se observa desde la carretera mientras se viaja. Hacia el sur se tiene a la Sierra Los Ajos donde aflora el basamento regional de edad Precámbrica formado por el Esquisto Pinal y granitos de ca. 1400 Ma que lo cortan, y una secuencia sedimentaria del Paleozoica que lo sobreyace.

8:00 HRS. Después de viajar por 43 km desde Cananea, en este punto se encuentran puertas de acceso para ingresar hacia el sur, al Ejido Naco, por un camino de terracería de 14 km para llegar al rancho Tito Gallegos (Figura 1 del libretto guía). Sobre este camino aparecen afloramientos de la Lutita Packard y de la Arenisca Camas.

8:30 HRS. Llegada al rancho, donde se dejan los vehículos, y se sale a una caminata de ~6 km (ida y vuelta), en dirección al sureste, llevando suficiente agua, lonche y equipo de campo. En este trayecto se observarán buenos afloramientos de la Arenisca Camas y de la Formación Corral de Enmedio.

17:00 HRS. Llegada de regreso al rancho para abordar los vehículos y regresar a la carretera Federal 2, para viajar 40 km rumbo al oriente y llegar a la ciudad de Agua Prieta (Figura 1).

18:00 HRS. Llegada al Hotel La Hacienda en Agua Prieta para hospedarse. Cena en el restaurant del mismo hotel, o con opción individual.

### *Domingo 20 de noviembre, 2022*

7:00 HRS. Desayuno en restaurant del Hotel La Hacienda.

8:00 HRS. Salida de Agua Prieta hacia el sur, tomando la carretera 17 para manejar 53 km y llegar al poblado de Fronteras (Figura 1). Allí se visitará el Museo de Dinosaurios que expone huesos del hadrosaurio H1 y otros fósiles (Figura 13 del libretto guía) colectados de la columna Fronteras.

11:00 HRS. Salida de Fronteras hacia el sur, por la carretera 17 y llegada al poblado de Esqueda localizado a 20 km.

11:20 HRS. Traslado a los sitios de canteras del Ejido Esqueda ubicados entre 5 y 10 km al suroriente del poblado para visitar las localidades "Ojo de Agua" (Rastro 2) y "Carro Quebrado" (Rastro 1) que tienen rastros de dinosaurioicnitas y realizar caminamientos cortos para observar litologías y estructuras sedimentarias de la columna Esqueda.

14:00 HRS. Salida de Esqueda y de regreso a Hermosillo. De Esqueda se viajan 125 km hacia el sur, por la carretera 17, hasta llegar al poblado de Moctezuma.

16:00 HRS. De Moctezuma se toma la carretera 14 y se viaja hacia el poniente por 180 km.

18:30 HRS. Llegada a Hermosillo con entrega al lugar de hospedaje de cada uno de los participantes en la excursión.