

Trabajo Fin de Grado

Aproximación paleohistológica de los dinosaurios ornitópodos de la Formación Blesa (Barremiense, Teruel)

Autora

María Alegre Esteve

Directores

Blanca Bauluz Lázaro y José Ignacio Canudo Sanagustín

Facultad de Ciencias
2018/2019

Índice

1.	Abstract	2
2.	Resumen.....	2
3.	Introducción.....	3
3.1	Planteamiento y objetivos	3
4.	Antecedentes	3
5.	Contexto geográfico y geológico.....	4
5.1	Situación geográfica	4
5.2	Situación Geológica	4
5.2.2	Subcuenca de Oliete	4
5.2.3	Formación Blesa	5
6.	Metodología	6
6.1	Muestras estudiadas	6
6.2	Elaboración de láminas delgadas.....	6
6.3	Estudio por Microscopia electrónica de barrido de emisión e campo (FESEM)	6
7.	Nomenclatura paleohistológica	7
8.	Resultados	11
8.1	Descripción de las muestras	11
8.2	Estudio por microscopía óptica de luz transmitida	11
8.3	Estudio por microscopia electrónica de emisión de campo (FESEM).	17
9.	Discusión.....	19
10.	Conclusions	21
11.	Bibliografía	22
12.	Anexos	24

1. Abstract

This work consists of a paleohistological approximation of the small and middle size ornithopods remains from La Cantalera palaeontological site (Josa, Teruel) from lower Barremian (lower Cretaceous) in age.

The paleohistological approach has been carried out by the observation of ten thin sections under a petrographic microscope and analysing three of these thin sections by using FESEM. The thin sections belong to transversal and longitudinal areas from different ornithopod bone remains.

The results obtained by petrographic microscope have consisted of describing the thin sections indicating the different types of bone tissues observed, as well as the minerals that have been identified. The electron microscope part has consisted of making compositional analyzes of three of the studied samples.

The results indicate that the ornithopod remains belonged to individuals from varied ages being the juvenile ontogenetic stages the most predominant. Therefore, the analysis carried out with FESEM indicates that the bone remains diagenesis has suffered several stages, being distinguishable by the textural relations of the minerals.

2. Resumen

Este trabajo consiste en una aproximación paleohistológica de restos de ornitópodos pequeños y medianos procedentes del yacimiento de La Cantalera (Josa, Teruel) de edad barremiense inferior (Cretácico inferior).

La aproximación paleohistológica se ha realizado mediante el estudio de diez láminas delgadas en microscopio petrográfico y análisis de tres ellas mediante FESEM. Las láminas delgadas se han realizado en secciones transversales y longitudinales de distintos restos óseos de ornitópodos.

Los datos realizados mediante microscopio petrográfico han consistido en describir las láminas delgadas indicando los diferentes tipos de tejidos óseos observados, así como los minerales que se han podido identificar. El microscopio electrónico ha consistido en realizar análisis composicionales de tres de las muestra estudiadas.

Los resultados indican que los restos fósiles de ornitópodos de La Cantalera pertenecían a individuos de edades variadas, dominando las etapas ontogenéticas juveniles. Los análisis realizados en FESEM indican que la diagénesis de los restos óseos ha sufrido varias etapas distinguibles por las relaciones texturales de los minerales.

3. Introducción

3.1 Planteamiento y objetivos

Esta memoria se corresponde con un Trabajo Final de Grado (TFG) del Grado en Geología impartido en la Universidad de Zaragoza. El trabajo es de carácter individual y refleja los conocimientos y competencias adquiridas durante el grado.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es el estudio paleohistológico y fosildiagenético de los restos de los dinosaurios ornitópodos encontrados en la Fm. Blesa, en el yacimiento de La Cantalera (Josa, Teruel) durante el Barremiense (Cretácico inferior). Para la realización de este estudio han sido necesarios principalmente conocimientos de paleontología y mineralogía.

Para alcanzar el objetivo principal se han desarrollado las siguientes actividades:

- Búsqueda bibliográfica sobre el yacimiento y sus alrededores y paleohistología.
- Prospección en el yacimiento de vertebrados de La Cantalera y su entorno.
- Estudio paleohistológico partir del análisis por microscopia óptica y electrónica de barrido de láminas delgadas.
- Análisis de las modificaciones diagenéticas y tafonómicas de los restos seleccionados.
- Implicaciones de la paleohistología donde habitaban en la paleoecología de los ornitópodos de La Cantalera.

4. Antecedentes

Los restos óseos utilizados para la realización del trabajo proceden del Yacimiento de La Cantalera-1 (Josa, España).

El yacimiento de La Cantalera se encuentra en la Fm. Blesa inferior, actualmente dividida en tres secciones (Fm. Blesa inferior, media y superior) separadas entre ellas por cuatro discontinuidades. La discontinuidad uno (D1) marca el inicio de la Fm. Blesa, la discontinuidad dos (D2) separa la Fm. Blesa inferior de la media, la discontinuidad tres (D3) separa la media de la superior y finalmente la discontinuidad cuatro (D4) marca el final de la Formación Blesa (Aurell *et al.*, 2018). Sin embargo anteriormente la Fm. Blesa se dividía en dos secciones, inferior y superior, separadas por la discontinuidad que actualmente equivaldría a D2.

En el yacimiento de la Cantalera se hallan principalmente dientes aislados, huesos completos o fragmentados, cáscaras de huevo y coprolitos (Canudo *et al.*, 2010). Por otra parte además de restos de vertebrados también se hallan en el yacimiento caráceas, gasterópodos y ostrácodos. Tanto los gasterópodos como ostrácodos pueden ser de agua dulce y salada sin embargo los gasterópodos son únicamente de agua dulce, por lo que el medio donde se sedimentaron los restos contenía un lámina de agua dulce, esta lámina de agua era fluctuante dada la presencia de paleosuelo y nódulos. Finalmente se encuentran restos fósiles reelaborados del Jurásico marino (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 1997).

5. Contexto geográfico y geológico

5.1 Situación geográfica

La Cantalera se encuentra al suroeste del municipio de Josa (Teruel, España), el yacimiento se encuentra a 875 metros sobre el nivel de mar.

Al yacimiento se accede a través de la carretera TE-V-1145 dirección Josa, el desvío para llegar a La Cantalera está 2,5 km antes de llegar al municipio de Josa, a la derecha de la carretera a través de un camino de tierra y a la izquierda del margen del río La Cantalera (Fig. 1).



Figura 1. Desvío en la carretera TE-V-1145 para llegar al yacimiento de La Cantalera, la marca roja sitúa el yacimiento en la imagen. Imagen tomada de Google Earth.

5.2 Situación Geológica

5.2.2 Subcuenca de Oliete

La subcuenca de Oliete se encuentra en el sector central de la Cordillera Ibérica, en su Rama Aragonesa. Limita al norte con la Cuenca terciaria del Ebro, al oeste con el anticlinal paleozoico de Montalbán, al sur con el frente de cabalgamiento de Montalbán, al este con la Depresión terciaria de Calanda y al noreste con el cabalgamiento de Sierra de Arcos (Soria *et al.*, 1997).

La Subcuenca de Oliete se individualizó en el sector oriental de Iberia durante la etapa de rifting jurásica superior-cretácica inferior. Este proceso de adelgazamiento cortical dio lugar a la fragmentación de las amplias plataformas carbonatadas jurásicas asociadas a la Cuenca del Maestrazgo y a la generación de varias subcuencas (subcuencas de Galve, Las Parras y Oliete, entre otras) en su margen noroccidental (Salas y Guimerà, 1996; Soria, 1997; Soria *et al.*, 2000).

En el Cretácico inferior se da una etapa de sinrift representada por la Fm. Blesa (150 m. de espesor) y por la Fm. Alacón, Fm. Forcall y Fm. Oliete que tienen un espesor variable de 100 a 300 metros. Finalmente la última formación que representa esta etapa de sinrift es la Fm. Escucha con hasta 200 m de espesor (Fig. 2).

Estratigráficamente se encuentran las formaciones que integran el grupo Josa, de edad Hauteriviense Superior- Albiense inferior, que en orden cronológico son: Fm. Margas y calizas de Blesa, Fm. Calizas Alacón, Fm. Margas Forcall, Fm. Calizas de Oliete y Fm. Lignitos de Escucha. (Canerot *et al.*, 1982),

estas cinco formaciones se asocian a cinco megasecuencias, las dos primeras con tendencia transgresiva y las últimas con una clara tendencia regresiva (Murat, 1983).

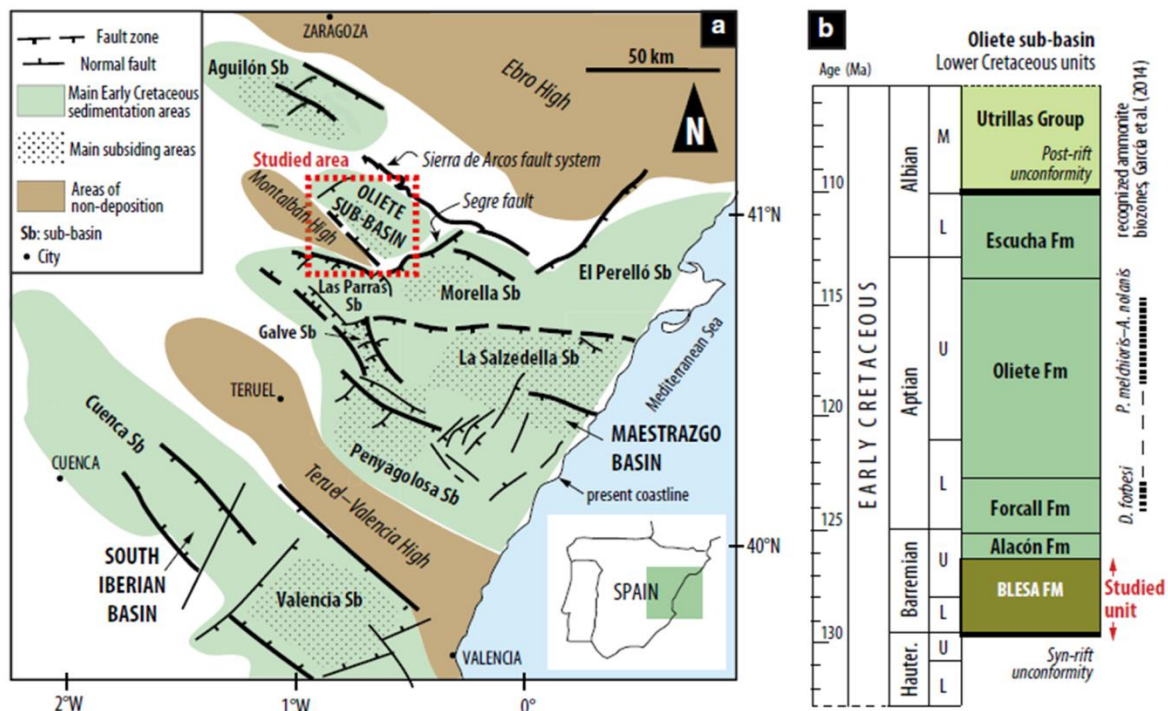


Figura 2. a Distribución de las subcuencas del Cretácico Inferior del este Iberia (modificada de Capote et al. 2002) **b** Distribución estratigráfica de las unidades del Cretácico inferior de la subcuenca del Oliete. Tomado de Aurell et al., 2018.

5.2.3 Formación Blesa

Actualmente la Fm. Blesa está dividida según criterios genéticos en tres secuencias separadas por discontinuidades (Aurell et al., 2018):

- Secuencia Blesa inferior (LBS), que incluye el Miembro Cabezo Gordo (continental) y el Miembro Morenillo.
- Secuencia Blesa media (MBS), que incluye el Miembro Josa (calizas ricas en ostreidos) y sus facies equivalentes lacustres-palustres.
- Secuencia Blesa superior (UBS), que incluye el Miembro Valdejunco y las facies laterales equivalentes (de aluvial- lacustre a costeras, dominando las costeras).

La discontinuidad inferior (D1) es una discordancia angular erosiva desarrollada por la exposición subaérea de las rocas jurásicas marinas.

La discontinuidad que separa LBS de MBS (D2) corresponde a una superficie erosiva cubierta por un nivel endurecido ferruginizado (rico en ostras) a techo de las calizas lacustres-palustres que forman la parte superior de LBS, sobre este nivel se observa un evento transgresor de edad Barremiense.

La discontinuidad que separa MBS de UBS (D3) corresponde a un cambio, de sucesiones ricas en ostras a arcillas rojas continentales (discontinuidad regresiva).

Finalmente el límite superior de UBS (D4) se marca mediante una discontinuidad asociada a un cambio litológico importante a calizas cementadas marinas (discontinuidad regresiva de edad Barremiense superior).

Paleontológicamente la Fm. Blesa (LBS) inferior contiene restos de ornitópodos, anquilosaurios, saurópodos y terópodos, en esta parte de la formación se encuentra el yacimiento La Cantalera-1 (en el cual se hallaron los restos utilizados para el estudio paleohistológico de este trabajo) y La Cantalera-2.

En MBS se encuentran restos de cocodrilomorfo, de pterosaurio, dientes aislados, centros vertebrales y elementos apendiculares de plesiosaurio, además hay niveles de microacumulaciones fósiles.

Finalmente en UBS se han hallado restos de ornitópodos, anquilosaurio, dientes de terópodos, fragmentos de caparazón de tortuga, coprolitos y cáscaras de huevo.

6. Metodología

6.1 Muestras estudiadas

Teniendo en cuenta que para el desarrollo del estudio se iban a utilizar técnicas destructivas, se seleccionaron muestras de menor interés dada su fragmentación o abundancia en la colección del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza.

Se seleccionaron siete fragmentos de huesos fósiles cuyas siglas son CAN1-1061, CAN1/667, CAN1/1003, CAN/456, CAN1/1001, CAN1-1002 y CAN1-1000.

6.2 Elaboración de láminas delgadas

La preparación de las diez láminas delgadas fue llevada a cabo por el Servicio de Preparación de Rocas y Minerales, Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI) de la Universidad de Zaragoza. Las láminas tienen un grosor de 100 μm para poder realizar una correcta observación de las estructuras y características paleohistológicas.

6.3 Estudio por Microscopia electrónica de barrido de emisión e campo (FESEM)

Las láminas seleccionadas para el estudio por FESEM han sido Y CAN1-667 (fragmento de costilla), Y CAN1-1001 (fragmento de arco hemal) y CAN1-1000 (diente inferior).

Para que las muestras sean conductoras de electrones es necesario recubrir las láminas previamente al estudio por FESEM con carbono, las láminas se han secado a 60C ° para evitar la presencia de humedad.

El análisis se realizó en un FESEM Carl Zeiss MERLIN [™] (Fig. 3) en el Servicio de Microscopía Electrónica de Materiales (SAI, Universidad de Zaragoza). El microscopio consta de un detector Oxford EDS, INCA 350 (Oxford Instruments) con una resolución de energía entre 127 eV y 5,9 keV. Se ha trabajado a 15 Kv para obtener análisis químicos puntuales a partir de la señal de rayos X e imágenes composicionales generadas con la señal de electrones retrodispersados, para esto se utilizó el detector AsB (angle-selective backscatter) (Lloyd, 1987). Los análisis químicos fueron procesados con el software AZTEC de Oxford.



Figura 3. FESEM Carl Zeiss MERLIN™ en el Servicio de Microscopía Electrónica de Materiales (SAI, Universidad de Zaragoza).

7. Nomenclatura paleohistológica

La nomenclatura paleohistológica usada proviene de varios autores (Padian y Lamm (2013) y Ross *et al.*, 2013).

En el tejido óseo se pueden diferenciar tejido esponjoso y tejido compacto (Fig. 4).

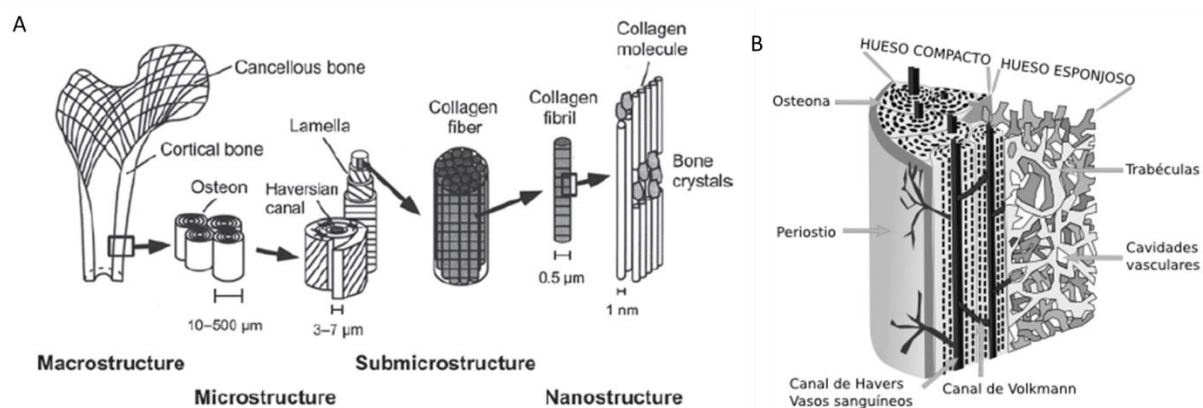


Figura 4. En A se observa los niveles jerárquicos de la estructura ósea, B es una representación esquemática el hueso tejido compacto y esponjoso. La figura A está tomada de Padian y Lamm (2013) y la figura B está tomada del Atlas de histología vegetal y animal.

- Tejido esponjoso

Está formado por grandes cavidades vasculares por las cuales discurren los vasos sanguíneos durante la vida del organismo. Alrededor de las cavidades se encuentran las trabéculas óseas en las cuales las fibras de colágeno se organizan de forma entrecruzada (hueso trabecular no laminar) o en laminillas óseas (hueso trabecular laminar).

Durante la formación de hueso se desarrolla únicamente el hueso trabecular no laminar y posteriormente lo sustituye el hueso trabecular laminar o secundario, este tipo de hueso se da en la epífisis de husos largos, en huesos cortos, planos y de formas irregulares. (Ross *et al.*, 2013).

- Tejido compacto

Se ordena en laminillas óseas, las cuales pueden estar dispuestas de forma paralela en cuyo caso se llama hueso compacto laminar, o de manera concéntrica al canal de Havers (hueso compacto de tipo osteónico).

Por el canal de Havers (CH) discurren los vasos sanguíneos y los nervios. Los canales de Havers pueden estar comunicados entre sí a través del canal de Volkmann (CV) (Fig. 5).

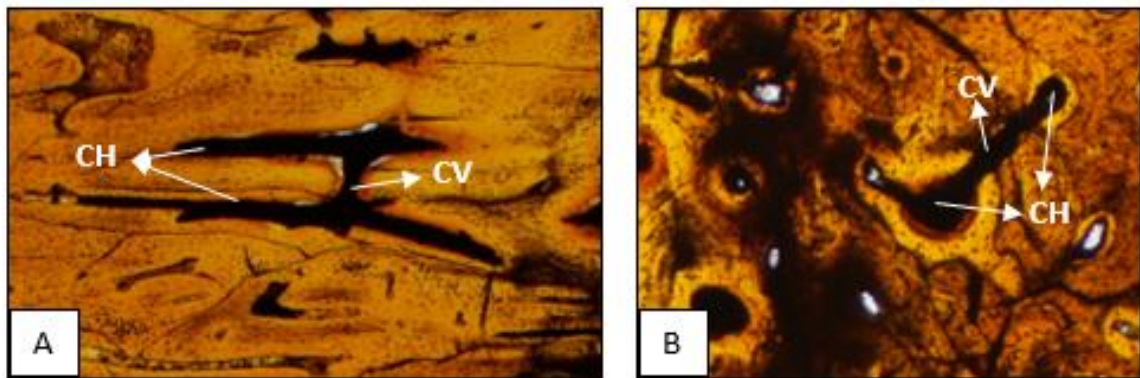


Figura 5. En la figura A se observa un canal de Volkmann (CV) uniendo dos canales de Havers (CH) en un corte longitudinal. En la figura B se observa un Canal de Volkmann uniendo dos canales de Havers en un corte transversal.

El canal de Havers, las laminillas óseas y los osteocitos, los cuales se encuentran en huecos en las laminillas (Ross *et al.*, 2013), forman las osteonas (Fig. 6).

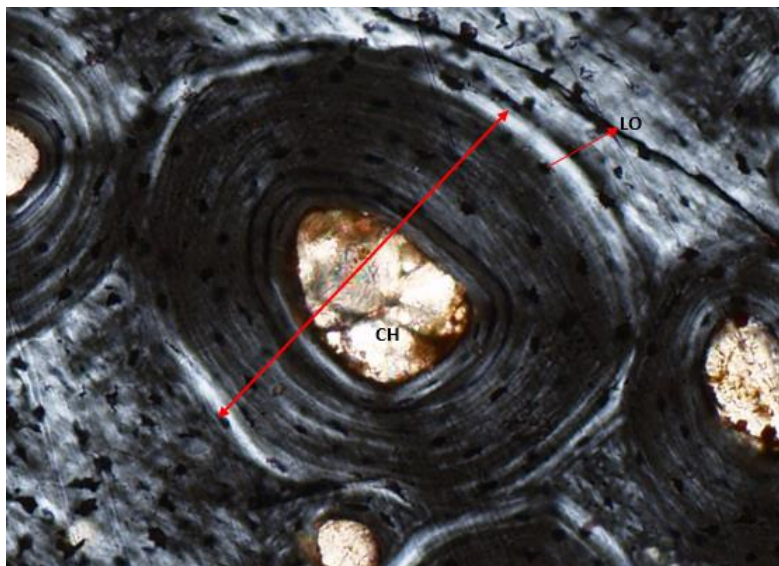


Figura 6. La flecha roja delimita una osteona, en el interior de la osteona se observa el Canal de Havers (CH) rodeado por laminillas concéntricas en las cuales se localizan las lagunas osteocíticas (LO) en un corte transversal.

Las osteonas pueden ser primarias o secundarias. Las osteonas primarias se generan a partir de cavidades Haversianas, espacios grandes que quedan dentro de la matriz ósea de huesos jóvenes de crecimiento rápido. Las osteonas secundarias (delimitadas por una línea de cemento) o sistemas de Havers se forman cuando se reabsorbe hueso alrededor de un canal y posteriormente se rellena con laminillas concéntricas, este tipo de osteonas corta el hueso preexistente mientras que las primarias no.

En el caso de que la superposición de las osteonas secundarias sea tal que no sea visible la matriz primaria del hueso, el tejido se denomina tejido Haversiano denso, por contra si la matriz primaria es visible, se denomina tejido Haversiano laxo (Fig. 7).

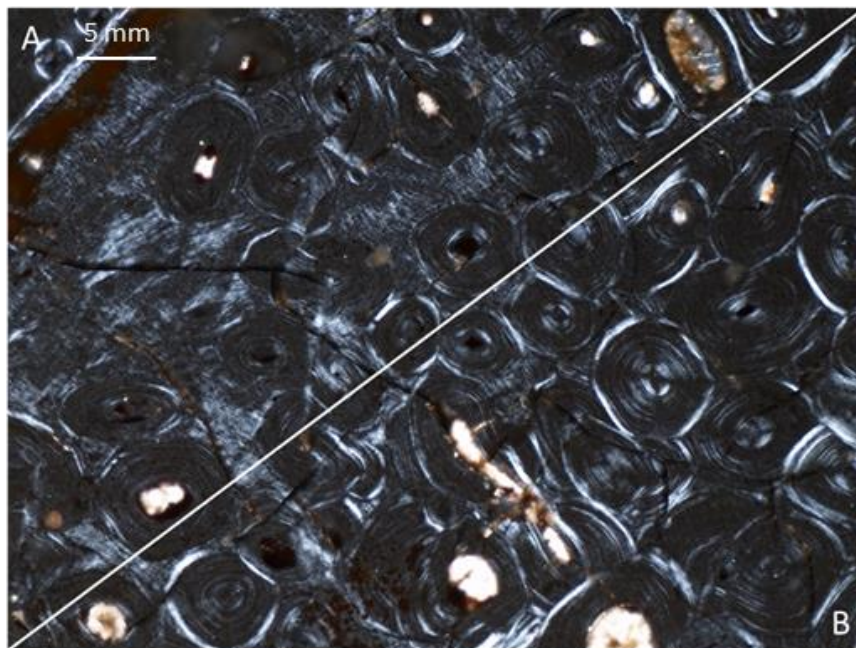


Figura 7. En la parte A de la figura se observa tejido Haversiano laxo ya que se diferencian las osteonas secundarias y la matriz es visible. En la parte de B de la figura se diferencia tejido Haversiano denso ya que la superposición de las osteonas no hace visible la matriz.

Según la disposición de los canales vasculares en un corte transversal del tejido compacto se diferencian cinco patrones (Fig. 8).

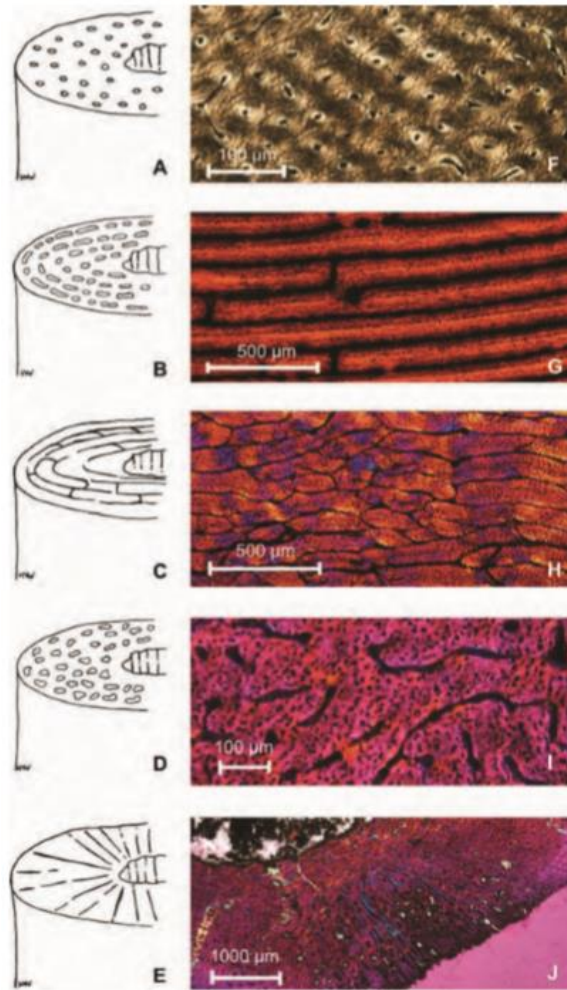


Figura 8. Diagramas esquemáticos (A-E) y fotomicrografías adjuntas (F-J) que ilustran orientaciones de los canales vasculares en el hueso cortical. (A y F) Canales longitudinales en la tibia del terópodo jurásico *Allosaurus*. (C y H) Canales plexiformes en la tibia de un emú existente. (D e I) Canales reticulares en la falange del pterosaurio jurásico *Pterodactylus*. (E y J) Canales radiales en el fémur del dinosaurio ornitópodo cretácico *Maiasaura* (juvenil). Tomada de Padian y Lamm, (2013).

En el corte transversal del hueso puede diferenciarse también marcas de crecimiento, hay de tres tipos:

- Zona: representa un periodo de deposición a una tasa de crecimiento relativamente elevada.
- Annulis: una o más capas de hueso con fibras paralelas entre sí que se corresponden a momentos en los que el crecimiento del hueso es más lento. Son más estrechos que las zonas.
- LAG: línea de crecimiento detenido, representan un cese completo del crecimiento en el que puede darse reabsorción parcial del hueso.

En la parte externa del hueso compacto se forma el sistema fundamental externo (EDS) (Cormack, 1987), se trata de una porción de hueso avascular y acelular en la que se reconocen varios anillos o capas. La presencia de este sistema implica un cese en el crecimiento centrífugo (Padian y Lamm, 2013).

8. Resultados

8.1 Descripción de las muestras

Para el estudio paleohistológico se han estudiado siete elementos de ornitópodo (Tabla 1) (Anexo 1).

Tabla 1 Elementos óseos usados para el estudio paleohistológico.

Taxón	Sigla	Elemento
Ornitopodo iguanodóntido indet.	CAN1-1061	Centro vertebral. Vertebra dorsal
Ornitopodo iguanodóntido indet.	CAN1/667	Fragmento de costilla
Ornitopodo hipsolifodóntido indet.	CAN1-1003	Fragmento parte proximal de costilla
Ornitopodo hipsolifodóntido indet.	CAN-456	Fragmento de costilla
Ornitopodo indet.	CAN1-1001	Fragmento de arco hemal
Ornitopodo indet.	CAN1-1002	Corona de diente superior
Ornitopodo indet.	CAN1-1000	Corona de diente inferior

8.2 Estudio por microscopía óptica de luz transmitida

X CAN1/667

La lámina delgada muestra una sección transversal de una costilla de ornitópodo iguanodóntido (Fig. 9A). El hueso presenta un par de grietas de notable tamaño (entre dos y tres milímetros de espesor) en la zona del tejido compacto, además de fracturas de menor tamaño distribuidas por el resto dicho tejido.

Se observa tanto tejido esponjoso como tejido compacto.

En el tejido compacto se diferencian las osteonas las cuales poseen canal de Havers en el centro rodeado por lamelas concéntricas con lagunas osteocíticas. En la parte más externa del hueso puede diferenciarse una zona de tejido avascular que se corresponde con EDS (Fig. 9B).

En la parte interna del hueso se observan osteonas secundarias, sin embargo, en la parte externa hay osteonas primarias dispuestas de forma reticular.

Además, pueden diferenciarse canales de Volkmann (Fig. 9B) uniendo canales de Havers de distintas osteonas.

También se diferencia tejido esponjoso en el que se ven las trabéculas (Fig. 9C) de gran tamaño.

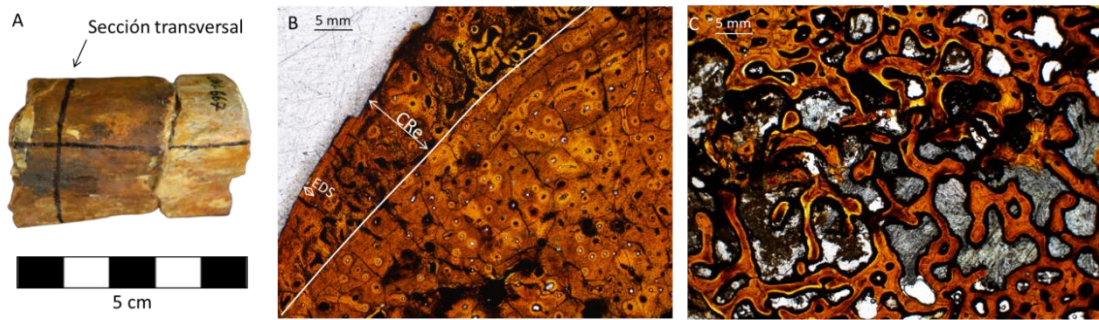


Figura 9. En 9A se observa el hueso (CAN1/667) del cual se ha realizado la lámina delgada, en 9B se observa el EDS y las osteonas primarias organizadas en canales reticulares (CRe) en la figura y en 9C se aprecian las trabéculas de gran tamaño formando el tejido esponjoso.

X CAN-1003

La lámina corresponde a un corte transversal de costilla de ornitópodo “hipsilofodóntido” (Fig. 10A) que está bien conservada y apenas contiene fracturas.

Se diferencia el tejido esponjoso del tejido compacto con mucha claridad (Fig. 10C).

El tejido esponjoso compone la mayor parte del hueso, las trabéculas son de gran tamaño y se diferencia tejido trabecular laminar.

El tejido compacto está poco desarrollado, se diferencian osteonas primarias en la parte externa y osteonas secundarias en la parte interna, las osteonas secundarias no se superponen unas a otras (tejido Haversiano laxo), además se aprecia EDS (Fig. 10B).

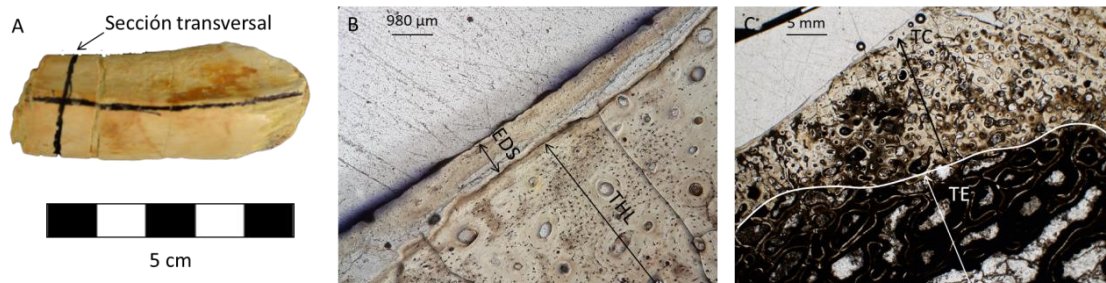


Figura 10. En 10A se puede observar el hueso (CAN1-1003) del cual se ha realizado la lámina delgada, en 10B puede apreciarse el EDS en el tejido compacto y el tejido Haversiano laxo (THL) y en 10C se diferencia el tejido compacto (TC) del tejido esponjoso (TE).

X CAN1-456

La lámina corresponde a una sección transversal de costilla de ornitópodo “hipsilofodóntido” (Fig. 11A). En la sección se aprecia una buena conservación del hueso.

La mayor parte de la sección es tejido esponjoso (Fig. 11B), las trabéculas son de gran tamaño y se diferencia tejido trabecular laminar (Fig. 11C). Los huecos entre trabéculas están rellenos de calcita en el centro y óxidos de hierro opacos o rojizos en los bordes.

La porción de tejido compacto es muy pequeña y la organización vascular es muy baja.

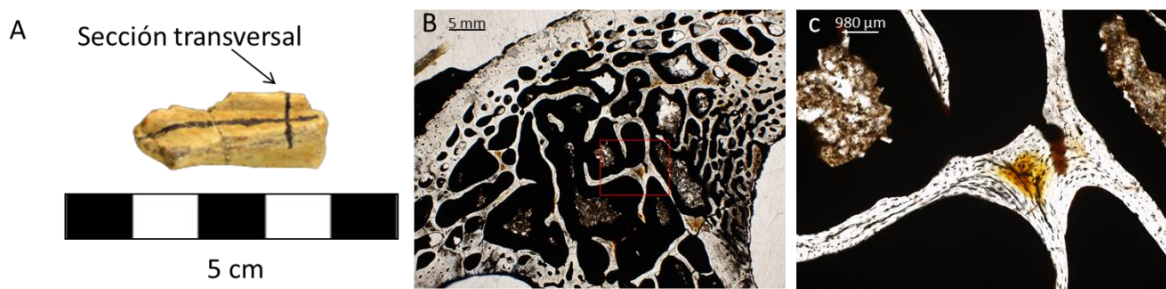


Figura 11. En la figura 11A se observa el hueso (CAN1-456) del cual se ha realizado la lámina delgada, en 11B que la mayor parte de la sección está formada por tejido esponjoso con trabéculas de gran tamaño. La figura 11C es un ampliación de sector marcado en rojo en la figura 11B en el que se ve el tejido trabecular laminar.

X CAN1-1001

Es una sección transversal de arco hemal (Fig. 12A) que presenta fracturas de pequeño tamaño (espesor micrométrico) pero abundantes en el tejido compacto, a su vez, el tejido esponjoso se observa muy fracturado.

Posee un tejido compacto bien desarrollado, en la parte interna se puede observar osteonas secundarias, sin embargo, en la parte externa se aprecian osteonas primarias organizadas en canales reticulares (Fig. 12 B y C). El tejido esponjoso está muy fracturado aunque pueden diferenciarse fibras paralelas con lagunas osteocíticas.

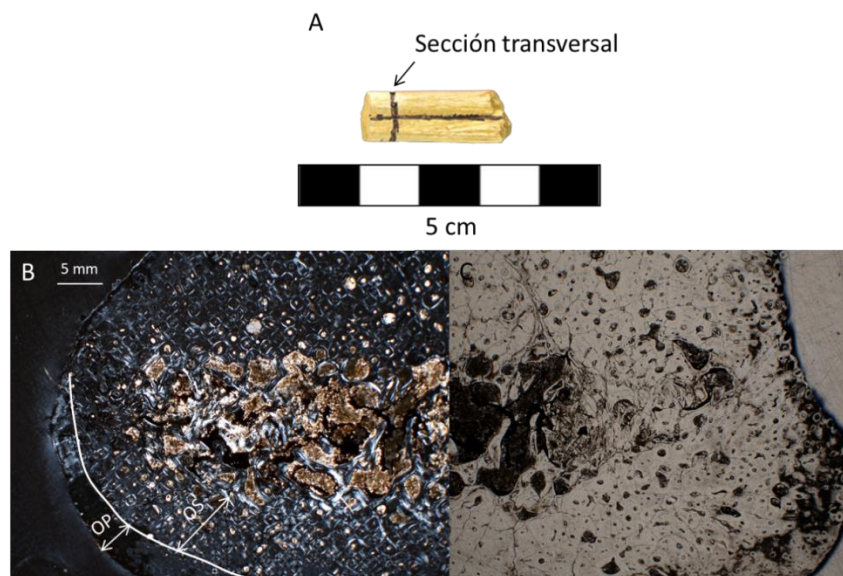


Figura 12. En 12A se observa el hueso (CAN1-1001) del cual se ha realizado la lámina delgada, B y C corresponde a una sección transversal del hueso CAN1 1001. B está tomada en nicoles Se aprecian las osteonas secundarias (OS) en la parte interior del hueso y osteonas primarias en la exterior (OP), C es una está tomada en nicoles paralelos en el que se observan las osteonas dispuestas en canales reticulares. Tanto en la figura B como en la C se ve el tejido esponjosos fracturado.

CAN- 1061

La lámina corresponde a una sección transversal de un centro vertebral (Fig. 13A), la sección está compuesta mayormente por tejido esponjoso.

En el tejido esponjoso se aprecian las trabéculas y tejido trabecular laminar entre ellas, en general las trabéculas están bien conservadas aunque hay zonas puntuales de la sección en las que la fracturación imposibilita diferenciar las trabéculas con claridad.

Las trabéculas están rellenas por carbonatos en el centro, hay calcita tipo esparita y tipo micrita, la calcita esparítica está en las zonas próximas a las paredes de la trabécula y la micrita en las zonas centrales de la cavidad. Los óxidos de hierro, en contraposición, tapizan las paredes de éstas (Fig. 13C).

Finalmente se diferencia una mínima zona de tejido compacto en el que se diferencian osteonas con canales de Havers y osteocitos, además pueden diferenciarse *zonas* más claras y más oscuras (Fig. 13B).

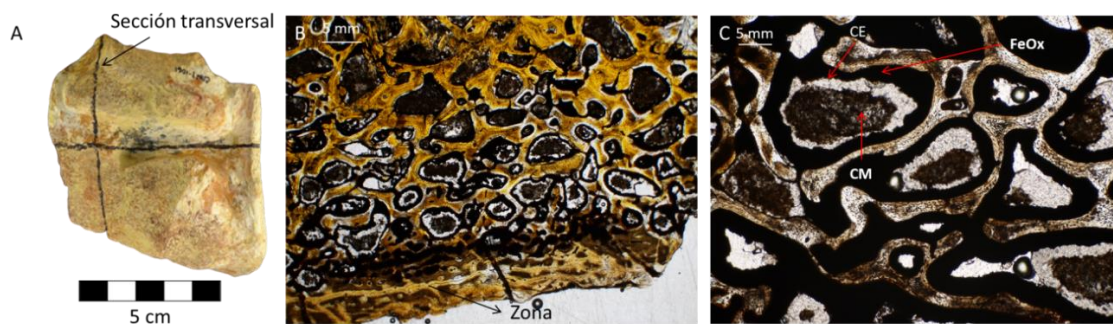


Figura 13. En 13A se observa el hueso (CAN1 1061) del cual se ha realizado la lámina delgada, en 13B se aprecia una porción de tejido compacto en la que se diferencia *zonas*, en 13C se diferencia también la calcita esparítica y micrítica, así como los óxidos de hierro, en el relleno de las trabéculas del tejido esponjoso.

Y CAN/667

La sección muestra un corte longitudinal de costilla de ornitópodo iguanodóntido (Fig. 14A). Corresponde a una costilla, se observan las mismas estructuras que en los cortes transversales anteriormente descritos pero seccionadas de forma longitudinal.

Se diferencia tejido esponjoso de tejido compacto con mucha claridad.

En el tejido compacto se diferencian las osteonas rodeadas por lamelas concéntricas y los osteocitos, al ser un corte longitudinal las osteonas tienen forma ovaladas, también se aprecian canales de Volkmann.

En el tejido esponjoso se diferencian las trabéculas rellenas por calcita micrítica en el centro y esparítica en el exterior del relleno (Fig. 14B). Se diferencia tejido trabecular laminar y fragmentación de las trabéculas.

Se observan cambios de color en toda la sección, desde crudo hasta naranja rojizo dependiendo del contenido en fases ricas en hierro.

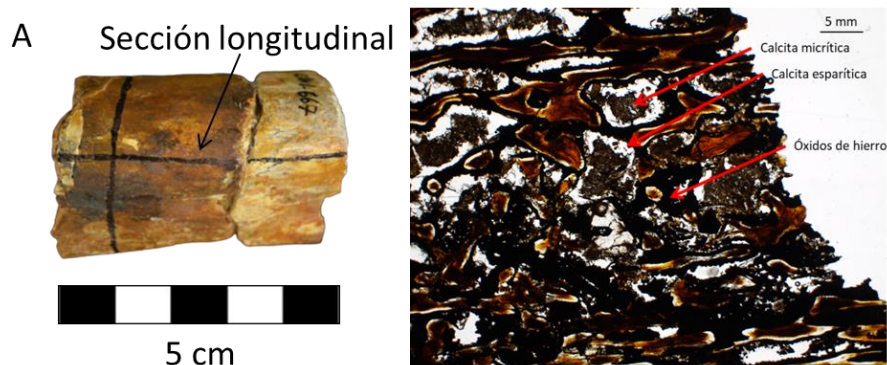


Figura 14. En A se observa el hueso del cual se ha realizado la lámina delgada, en B se puede observar las trabéculas del tejido esponjoso en corte longitudinal así como el relleno de los huecos por calcita micrítica, esparítica y óxidos de hierro.

Y CAN-1003

La sección muestra un corte longitudinal de costillas de ornitópodo “hipsilofodóntido” (Fig. 15A), se observan las mismas estructuras que en el corte transversal pero cortadas longitudinalmente.

Se diferencia el tejido esponjoso del compacto (Fig. 15B).

En el tejido compacto se diferencian osteonas con forma ovalada, canales de Havers y de Volkmann.

El tejido esponjoso domina sobre el tejido compacto, se diferencia el tejido trabecular laminar. Las cavidades entre trabéculas están rellenas por calcita esparítica en el centro y óxidos de hierro en las paredes de las trabéculas.

Se pueden apreciar dos grandes grietas (una de 0,5 cm de y otra de 2 mm de espesor) que cruzan la lámina de manera perpendicular al eje largo del hueso que están rellenas por calcita esparítica (Fig. 15 C y D).

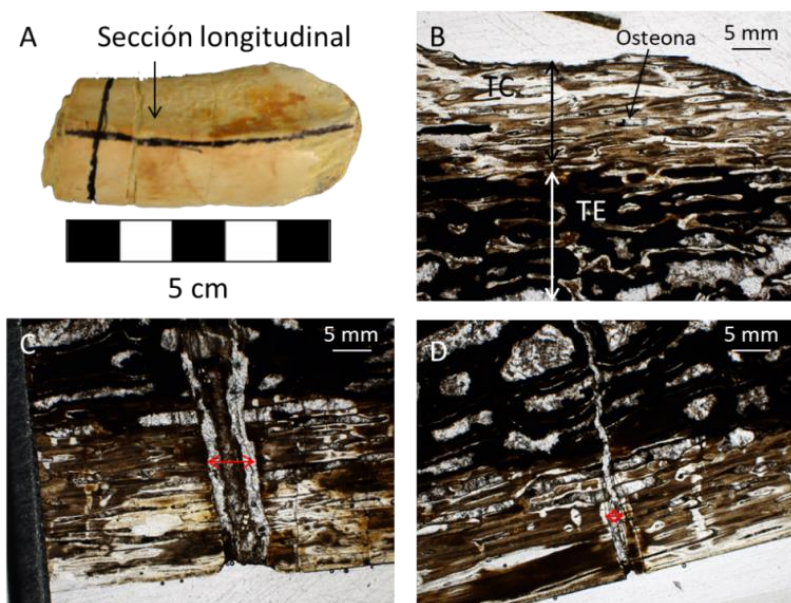


Figura 15. En A se observa el hueso del cual se ha realizado la lámina delgada, en B se aprecia el tejido compacto (TC) y el tejido esponjoso (TE) además de las osteonas ovaladas, en C y D se ven las grietas rellenas de calcita esparítica que atraviesan el hueso.

Y CAN1-1001

La lámina muestra un corte longitudinal que pertenece a un arco hemal.

La muestra está muy fragmentada y es difícil diferenciar estructuras en ella.

CAN-1002

La sección corresponde a un corte paralelo a la superficie de masticación de un diente superior (Fig. 16A).

Se puede diferenciar en el borde del diente la corona y en el interior la dentina (Fig. 16B).



Figura 16. En A puede observarse el diente del cual se ha realizado la lámina delgada, en B se observa la corona rodeando la parte interna del diente en la que se aprecia la dentina y las estrías así como una fractura en la parte central del diente.

CAN1-1000

Es una sección paralela a la superficie de masticación de un diente inferior de ornitópodo (Fig. 17A).

Se observa en el borde la corona y en el interior la dentina (Fig. 17B), en este caso se observan una fractura en el centro del diente.

En la parte más externa del diente pueden observarse líneas de crecimiento (Fig. 17B)

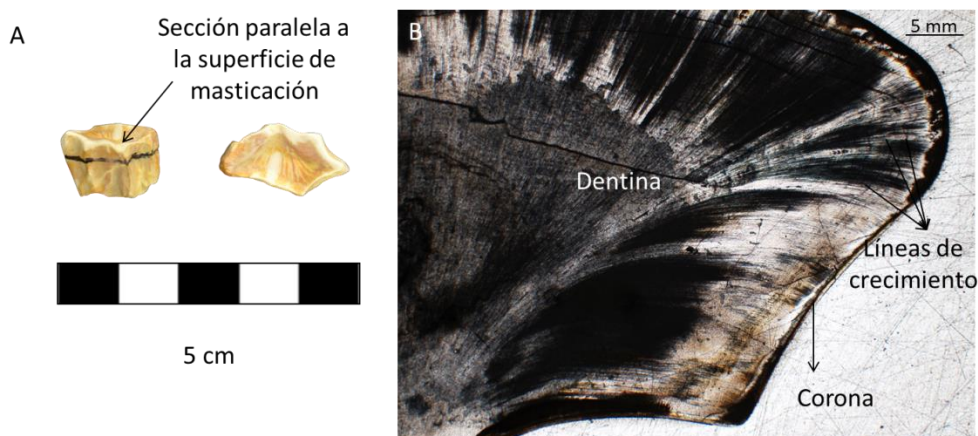


Figura 17. En A se observa el diente del cual se ha realizado la lámina delgada, en B se aprecia la corona y la dentina.

8.3 Estudio por microscopia electrónica de emisión de campo (FESEM).

CAN1/667

Según los análisis tomados por microscopia electrónica, la composición del hueso corresponde a apatito, que contiene oxígeno (37,85 wt%), flúor (2,76 wt%), fósforo (16 wt%) y calcio (38,47 wt%), por lo que se trataría de fluorapatito. Adicionalmente contiene proporciones muy bajas sodio (0,42 wt%), azufre (0,52 wt%), hierro (6,63 wt%), aluminio (0,16 wt%) y silicio (0,52 wt%).

En los análisis realizados en esta muestra (fragmento de costilla) puede determinarse que los rellenos que se veían opacos en luz transmitida son óxidos de hierro, algunos de los huecos rellenos de óxido de hierro tienen morfología típica de piritra framboidal (Fig. 18).

En las observaciones en microscopio electrónico se apreciaban cambios de color del apatito en diferentes tonalidades de grises, estos cambios se deben a las distintas orientaciones de los cristales de apatito ya que los análisis químicos realizados muestran una composición muy homogénea de este (Anexo II).

Los rellenos de la muestra están formados por calcita, granos detríticos de cuarzo y óxidos de hierro tapizando los bordes.

El tejido esponjoso está relleno de carbonato tipo calcita en el interior y de óxidos de hierro tapizando los bordes. Se observan también algunos fragmentos de cuarzo relleno de cavidades.

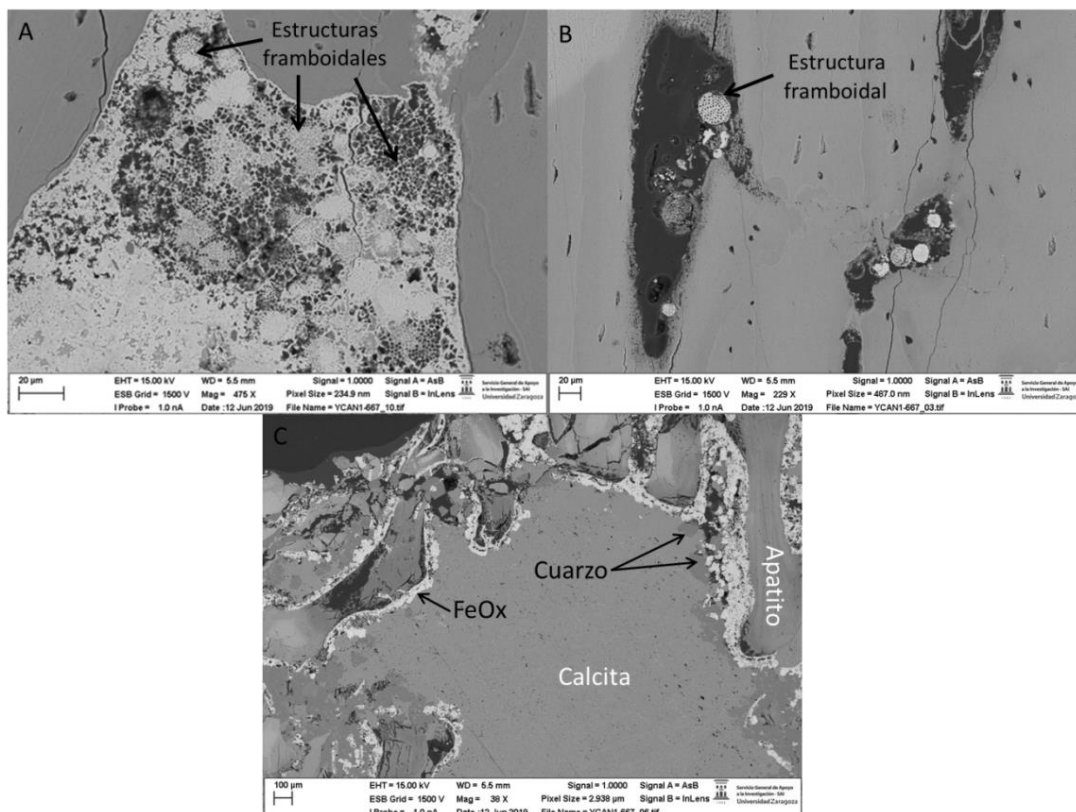


Figura 18. En la figura 18A se observan varias estructuras framboidales que composicionalmente se trata de óxidos de hierro, en la figura 18B se aprecian estructuras framboidales pero en menor cantidad y más aisladas entre ellas que en la figura 18A. En la figura 18B se observa el relleno del tejido trabecular calcítico con presencia de granos detríticos de cuarzo y recrecimiento en los bordes de óxidos de hierro, finalmente se aprecian las estructuras formadas por apatito que corresponden a las trabéculas.

CAN1-1000

Según los análisis tomados en el FESEM, la composición del diente es de apatito, contiene oxígeno (28,48 wt%), flúor (1,76 wt%), fósforo (17,34 wt%) y calcio (44,13 wt%), se trataría de fluorapatito. Adicionalmente contiene proporciones muy bajas de sodio (0,35 wt%), azufre (0,62 wt%), hierro (7,51 wt%), magnesio (0,17 wt%), aluminio (1,26 wt%), titanio (0,73 wt%) y silicio (0,49%).

Esta muestra es un diente compuesto por apatito, se observan poros los cuales están rellenos por óxido de hierro (Fig. 19).

El los análisis composicionales de apatito esta muestra apatito no dan resultados homogéneos (Anexo III).

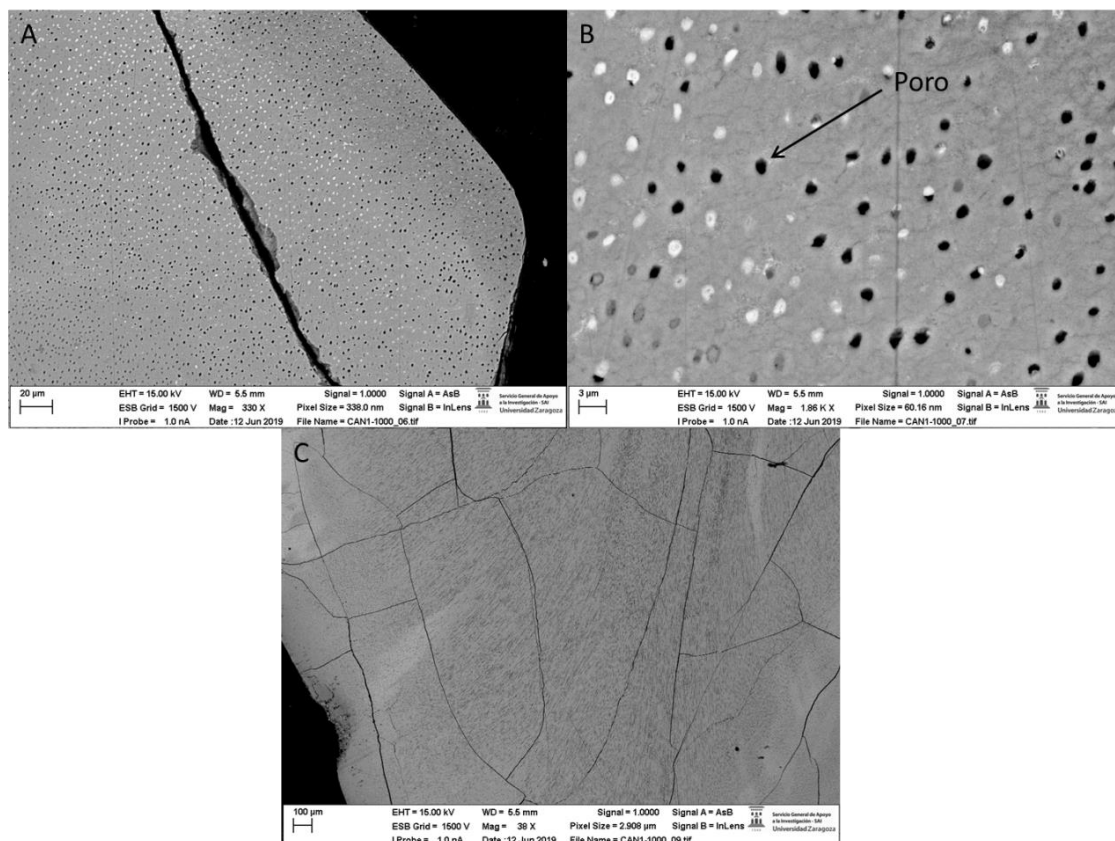


Figura 19. A se observa la estructura porosa del diente, la B es una ampliación de la figura A en la que se aprecian con mayor aumento los poros, y el relleno de éstos por óxidos de hierro (poros blancos). En la figura C se aprecian las estrías típicas de la dentina.

CAN1-1001

Al igual que en los ejemplares anteriores, al composición de este hueso es de apatito, contiene oxígeno (31,15 wt%), flúor (2,49 wt%), fósforo (18,13 wt%) y calcio (47,34 wt%), se trataría de fluorapatito. Adicionalmente contiene sodio (0,31 wt%), azufre (0,49 wt%) y hierro (3,18 wt%).

Los rellenos de las cavidades entre trabéculas son de calcita y óxidos de hierro (Fig. 20).

El apatito posee una composición muy homogénea (Anexo IV) por ende las diferencias de tonalidad observadas en microscopio electrónico son debidas a las diferentes orientaciones de los cristales de apatito.

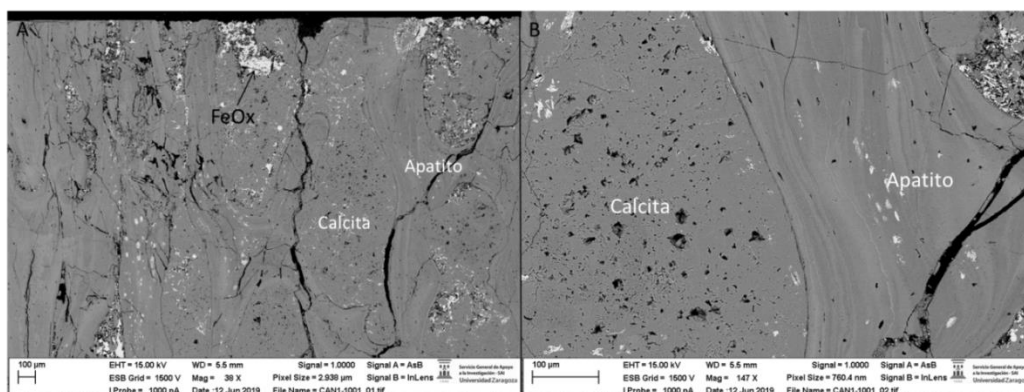


Figura 20. En la figura 20A se diferencian en el tejido esponjoso las trabéculas formadas por apatito y el relleno calcítico además de rellenos posteriores de óxido de hierro, la figura 20B es una ampliación de la figura 20A en la que se aprecian el tejido laminar trabecular con mayor nitidez.

9. Discusión

Intentar inferir las etapas ontogenéticas de los dinosaurios fósiles mediante paleohistología, así como sus ciclos vitales puede resultar complicado dado el estado de conservación de las muestras.

En este trabajo se han estudiado muestras pertenecientes al menos a cinco individuos diferentes (CAN1/667, CAN1-456, CAN1-1061, CAN1-1001 y CAN1-1003). Las muestras CAN1-1000 y CAN1-1002 (dientes) no puede deducirse si pertenecen a individuos diferentes o al mismo ya que los ornitópodos reemplazan sus dientes constantemente a lo largo de su vida.

La muestra CAN1/667 presenta unas características paleohistológicas típicas de un individuo adulto, ya que presenta una sección de tejido compacto bien desarrollada, presencia de osteonas secundarias indicadoras de que ha habido una remodelación ósea a posteriori de la formación del hueso y finalmente presenta EDS (tejido fundamental externo) que indica el cese del crecimiento del hueso.

La muestra CAN1-456 pertenece a un individuo perinatal, ya que se observa que la mayor parte de la sección está formada por tejido esponjoso con trabéculas de gran tamaño. El tejido compacto está muy poco representado en el hueso, dada la inmadurez del organismo, está formado por osteonas primarias muy poco organizadas ya que al individuo no le dio tiempo a crecer lo suficiente para organizarlas en un patrón típico de huesos con más edad.

En CAN-1061 se observa que la mayor parte de la sección está formada por tejido esponjoso, esto es indicador de que la muestra pertenecía a un individuo en una etapa ontogenética joven. El tejido compacto de esta muestra presenta una organización vascular baja, está formado por osteonas primarias, además se observan *zona* (Fig. 13B), las cuales indican una tasa de crecimiento elevada durante la deposición del hueso.

La muestra CAN1-1001 pertenece a un individuo subadulto ya que presenta tejido compacto bien desarrollado formado por osteonas secundarias en la parte más próxima al tejido esponjoso, lo cual significa que se ha producido una remodelación ósea. Se diferencia tejido Haversiano denso en el que se observa superposición de hasta seis osteonas, por lo tanto la remodelación ósea ha sido intensa. Sin embargo hacia la parte externa del tejido compacto la remodelación ósea es menor y las osteonas secundarias no se superponen (tejido Haversiano laxo), finalmente en la parte más externa

se diferencia osteonas primarias dispuestas en canales reticulares, esto indica que el crecimiento del hueso prosigue.

La muestra CAN1-1003 posee un tejido compacto bien desarrollado en el que se observan osteonas secundarias no superpuestas unas sobre otras lo que significa que ha comenzado la remodelación del hueso pero no está avanzada, sin embargo presenta EDS lo que indica que sería un individuo subadulto ya que la remodelación poco avanzada indica que el organismo sigue creciendo, pero el EDS representa una etapa de cese de crecimiento (Padian y Lamm, 2013).

Al igual que en los datos obtenidos en el estudio paleohistológico realizado de los dinosaurios ornitópodos de La Cantalera por Perales-Gongenola *et al.*, 2019, la mayoría de las muestras estudiadas no presentan signos de estar en etapa adulta.

De los datos obtenidos en FESEM se deduce que los huesos están formados fluorapatito ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). En origen los huesos estaban formados por hidroxilapatito ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) (Merino y Buscalioni, 2013) de forma que el reemplazamiento del hidroxilo por el flúor se ha producido durante la diagénesis del hueso, aunque el contenido en flúor es más bajo que el del fluorapatito teórico, puede ser porque el flúor es un elemento volátil y por ese motivo no se analiza bien en el microscopio.

De los datos obtenidos a partir de los análisis composicionales de apatito en la muestra que se corresponde con el diente se observa que el apatito no es homogéneo, esto podría ser a causa de la estructura porosa del diente, que dificulta la toma de datos de apatito, ya que los poros están relleno de óxidos de hierro.

Es posible que en lugar de fluorapatito los huesos estén formados por francolita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{O})$) si los sedimento en los que han sido enterrados contenían carbonatos (Merino y Buscalioni, 2013). Esta hipótesis no puede confirmarse ya que en el proceso de preparación de las láminas para el estudio en FESEM tienen que ser recubiertas con una película de carbono que eclipsaría el carbonato de la francolita, en caso de que lo hubiera.

El magnesio, sodio, silicio y azufre, los cuales se encuentran en proporciones muy bajas, podrían estar sustituyendo al calcio, en el caso del magnesio, sodio y silicio, y al fósforo, en el caso del azufre y el aluminio, en el apatito.

El relleno del fósil se produjo inicialmente por un fluido rico en carbonato correspondiente al agua del sistema palustre donde se sedimentaron. Dada la presencia de granos de cuarzo se afirma que hubo una etapa de relleno detrítico, los óxidos de hierro se encuentran tanto tapizando las paredes de las trabéculas como en el centro de las cavidades trabeculares, por lo que no se puede afirmar cual fue su momento de depósito.

De los datos paleohistológicos se podría deducir que el yacimiento de La Cantalera de vertebrados era un lugar de paso de los ornitópodos ya que de las muestras estudiadas solo un individuo tiene edad adulta, el resto son individuos juveniles y en el caso de uno de ellos de edad perinatal.

Dados los estudio estratigráficos y paleontológicos que se han realizado en el yacimiento de La Cantalera a lo largo de los años se sabe que era un sistema palustre en el cual la lámina de agua no era constante (Ruiz-Omeñaca *et al.* 1997), por tanto es factible pensar dadas las edades deducidas de los ornitópodos éstos pasaban para beber y alimentarse y eran cazados por otros individuos carnívoros.

10. Conclusions

Seven bone elements have been analyzed in this study and all of them correspond to ornithopods.

The combining of several techniques used during the development of this study has allowed to get the following conclusions.

The histological data show that one of the analyzed individuals has a perinatal age, two of them are juvenile, one corresponds to a subadult age and the last one would be of adult age.

The mineralogical and textural study display that the bone elements are nowadays formed by fluorapatite with relatively constant compositions. This indicates that their mineralogy has not modified during the diagenesis.

During the burial, the bone elements, the cavities and fractures have been filled by calcite cement (both sparite and micrite), and Fe oxides in minor proportions. The oxides are the responsible of their orange and red colours. The crystallization sequence of these phases is variable.

Finally and to conclude, according to the bibliography and the obtained results, we can deduce that the ornithopods passed through La Cantalera palaeontological site as a place to drink and eat but not to live.

11. Bibliografía

Atlas de histología vegetal y animal (en línea). Tejido óseo (fecha de consulta: 12/09/2019). Disponible en: < https://mmegias.webs.uvigo.es/guiada_a_oseo.php >

Aurell, M., Bádenas, B., Canudo, J.I. y Ruiz-Omeñaca, J.I. (2004): Evolución tectosedimentaria de la Fm. Blesa (Cretácico Inferior) en el entorno del yacimiento de vertebrados de La Cantalera (Josa, Teruel). *Geogaceta*, 35: 11-14.

Aurell, M., Soria, A.R., Bádenas, B., Liesa, C.L., Canudo, J.I., Gasca, J.M., Moreno-Azanza, M., Medrano-Aguado, E. y Meléndez, A (2018): Barremian synrift depositional sequence evolution in continental to restricted bay environments with high diversity of vertebrates (Blesa Formation, Oliete sub-basin, NE Spain). *Journal of Iberian Geology*, 44(2): 285-308.

Capote, R., Muñoz, J.A., Simón, J.L., Liesa, C.L. y Arlegui, L.E. (2002): Alpine Tectonics I: The alpine system north of the Betic Cordillera. En: *Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). The Geological Society London, 367-400.

Canerot, J., Cugny, P. y Murat, B. (1982): Le bassin Eocretacé d'Oliete (Prov. De Teruel, Espagne): un modèle de bassin de plate-forme instable. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8: 267-282.

Canudo, J.I., Gasca, J.M., Aurell, M., Badiola, A., Blain, H.A., Cruzado-Caballero, P., Gómez-Fernández, D., Moreno-Azanza, M., Parrilla, J., Rabal-Garcés, R. y Ruiz-Omeñaca, J.I. (2010): La Cantalera: an exceptional window onto the vertebrate biodiversity of the Hauterivian-Barremian transition in the Iberian Peninsula. *Journal of Iberian Geology*, 36 (2): 205-224.

Cormack, D. (1987): *Ham's Histology*. Lippincott, Nueva York, 732 p.

Lloyd, A. P. (1987): Counselor Education in Malaysia. *Counselor. Education and Supervision*, 26: 221-227.

Merino, L. y Buscalioni, A.D. (2013): Mineralogía y cambios composicionales en fragmentos óseos atribuidos a un dinosaurio ornitópodo del yacimiento barremiense de Buenache de la Sierra (Formación Calizas de La Huérguina, Cuenca, España). *Estudios Geológicos*, 69(2): 193-207.

Murat, B. (1983): *Contribution à l' étude stratigraphique, sédimentologique et tectonique du bassin éocretacé d'Oliete (Prov. de Teruel, Espagne)*. Tesis doctoral, Univ. Paul Sabatier Toulouse, 247 p.

Padian, K. y Lamm, E. T. (2013): *Bone histology of fossil tetrapods: Advancing methods, analysis and interpretation*. University of California Press, Berkley, Los Angeles y Londres, 285 p .

Leire Perales-Gogenola, L., Elorza, J., Canudi, J.I. y Pereda-Superbiola, X. (2019): Taphonomy and palaeohistology of ornithischian dinosaur remains from the Lower Cretaceous bonebed of La Cantalera (Teruel, Spain). *Cretaceous Research*, 98(3): 16-334.

Ross, M.H., Kaye, G.I. y Pawlina, W. (2013): *Histología. Texto y atlas color con biología celular y molecular*. Editorial Médica Panamericana, Madrid, 994 p.

Ruiz-Omeñaca, J.I., Canudo, J.I. y Cuenca-Bescós, G. (1997): Primera evidencia de un área de alimentación de dinosaurios herbívoros en el Cretácico Inferior de España (Teruel). *Monografías de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza*, 10:1- 48 .

Soria, A.R., Liesa, C.L. y Meléndez, A. (1997): Tectónica extensional cretácica en la Subcuenca de Oliete. (Cordillera Ibérica Central). *Geogaceta*, 22: 203-206.

Soria, A.R., Meléndez, A., Aurell, M., Liesa, C.L., Meléndez, M.N. y Gúmez-Fernández, J.C. (2000): The Early Cretaceous of the Iberian Basin (northeastern Spain). En: *Lake basins through space and time* (E.H. GierlowskiKordesch y K.R. Kelts, Eds.). AAPG Studies in Geology, 46: 257-262.

Salas, R. y Guimerá, J. (1996): Rasgos estructurales principales de la cuenca cretácica inferior del Maestrazgo. *Geogaceta*, 20 (7): 1704-1706.