



Trabajo Fin de Master

Paleobiología e interpretación paleoambiental del
yacimiento de icnitas de La Sagarreta (Paleógeno,
Peralta de la Sal, Huesca)

Paleobiology and paleoenvironmental interpretation
of La Sagarreta tracksite (Paleogene, Peralta de la
Sal, Huesca)

Autor/es

Martín Linares Montes

Director/es

Diego Castanera
Gloria Cuenca
Aránzazu Luzón

Departamento de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
2021

ÍNDICE

1.	RESUMEN	1
2.	ABSTRACT	1
3.	INTRODUCCIÓN	2
4.	OBJETIVOS	3
5.	CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO	3
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	8
a.	<i>Materiales</i>	8
b.	<i>Métodos</i>	10
7.	RESULTADOS: ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO	12
a.	<i>Columna estratigráfica de La Sagarreta</i>	12
b.	<i>Litofacies y secuencias sedimentarias</i>	15
c.	<i>Interpretación del medio de sedimentación</i>	25
8.	RESULTADOS: ESTUDIO ICNOLÓGICO	27
a.	<i>Estudio de las muestras</i>	27
b.	<i>Ichnotaxonomía</i>	28
c.	<i>Sistemática paleoicnológica</i>	28
	ICNITAS DE PERISSODACTYLA	28
	ICNITAS DE ARTIODACTYLA	31
	ICNITAS DE CARNIVORO	35
	ICNITAS DE AVES	39
9.	DISCUSIÓN GENERAL	45
a.	<i>Preservación de las icnitas y relación con la sedimentología</i>	45
b.	<i>Posibles productores de las icnitas</i>	45
	Perisodáctilos	46
	Artiodáctilos	46
	Carnívora	47
	Aves	48
c.	<i>Reconstrucción paleoambiental e implicaciones paleoecológicas</i>	49
10.	CONCLUSIONES	49
11.	BIBLIOGRAFIA	53
12.	ANEXOS	61

1. RESUMEN

En este trabajo se presenta un nuevo yacimiento de icnitas del Paleógeno, llamado La Sagarreta, con icnitas de vertebrados. Se localiza en la Formación Peralta en el sector central del borde norte de la Cuenca del Ebro. Esta formación se compone de conglomerados, areniscas y lutitas asociados, interpretados previamente como depositados en abanicos aluviales durante el Oligoceno inferior. La Sagarreta se encuentra en una serie con influencia lacustre, especialmente en su parte inferior. Se han encontrado cuatro grandes tipos de icnitas atribuidas a vertebrados: carnívoros, perisodáctilos, artiodáctilos y aves. Las icnitas presentan una gran variabilidad de preservación, sin embargo, las características del nivel en el que se encuentran junto con la presencia de *wrinkle marks*, los cuales indican unas condiciones del sustrato semicohesivo, favorecen la conservación de las icnitas con buena preservación. El análisis de las icnitas permite identificar los icnotaxones existentes: las de perisodáctilo se identifican como pertenecientes a *Plagiolophustipus montfalcoensis*, las icnitas de artiodáctilo se han dividido en dos icnotaxones según su morfología y dimensiones asociándose a *Megapecoripeda velox* y *Entelodontipus* cf. *viai*, las icnitas de carnívoros sean asignado a *Canipeda* isp., pero no se han podido asociar a una icnoespecie concreta. Las icnitas de aves se han dividido en dos grupos atendiendo a la presencia o ausencia de hallux: las icnitas con hallux se han asociado a la morfofamilia Gruipedidae mientras que las icnitas sin hallux se relacionan con la morfofamilia Avipedidae. El estudio realizado permite interpretar que el yacimiento de La Sagarreta formaría parte de un área marginal de un gran lago salino a la cual llegarían aportes de un sistema aluvial formando un delta a donde los animales acudirían.

2. ABSTRACT

The following work presents a new tracksite with Paleogene vertebrate ichnites, named La Sagarreta. It is located in the Peralta Formation in the central area of the northern Ebro Basin. The Peralta Fm, is composed of conglomerates, sandstones and shales previously interpreted as associated with alluvial fans deposited during the lower Oligocene. La Sagarreta is found in a series with lacustrine influence, especially its lower part. Four main types of ichnites have been found attributed to vertebrates: carnivores, perissodactyls, artiodactyls and birds. Ichnites show great variability in their preservation, however the characteristics of the level at which they are found together with the presence of wrinkle marks that indicate a substrate condition semi-consolidated, favors the existence of a significant number of well-preserved ichnites. The analysis of the ichnites makes possible to identify the following ichnotaxa: the perissodactyl tracks are identified as belonging to *Plagiolophustipus montfalcoensis*, the artiodactyl ichnites have been divided into two ichnotaxa according to their morphology and dimensions, *Megapecoripeda velox* and *Entelodontipus* cf. *viai*, the carnivore

ichnites assigned to *Canipeda isp.* but have not been associated with the known ichnospecies. The avian ichnites have been divided into two groups based on the presence or absence of a hallux: ichnites with hallux have been associated with the morphofamily Gruipedidae, the ichnites without hallux are included in the morphofamily Avipedidae. The study permits the La Sagarreta tracksite to be interpreted as forming part of a marginal area of a large saline lake to which contributions from alluvial systems would arrive, forming a delta where the animal went.

3. INTRODUCCIÓN

El registro de icnitas cenozoicas es muy escaso y discontinuo, existiendo un reducido número de yacimientos con este tipo de fósiles. Este hecho se ve agudizado cuanto más atrás en el tiempo nos desplazamos. Así, en los materiales paleógenos el registro icnológico es muy escaso a nivel mundial, sobre todo al compararlo con el registro fósil de restos osteológicos (Martínez y Ayera, 2018), y en especial en Europa o con el registro icnológico neógeno (McDonald et al., 2007; Costeur et al., 2009). Hay que destacar que, si bien popularmente al Cenozoico se le denomina la “era de los mamíferos” por su diversidad sobre el resto de tetrápodos, esto no es evidente en el registro icnológico, donde la mayoría del registro se correspondería de icnitas de aves (Dingus y Rowe, 1997).

El sureste de Europa supone una zona significativa debido a los abundantes yacimientos de icnitas existentes, tanto de aves como de mamíferos del Paleógeno (Costeur et al., 2009). Destaca en especial la Cuenca del Ebro al ser una zona excepcionalmente rica en este tipo de yacimientos con edades que van desde el Eoceno superior hasta el Mioceno (Casanovas-Cladellas y Santafé-Llopis, 1982; Astibia et al., 1994; Prats y López, 1995; Astibia et al., 2007; Rabal-Garcés et al., 2018).

Dentro de los numerosos yacimientos encontrados en la Cuenca del Ebro destacan los yacimientos del Oligoceno inferior de Fondota (en la localidad oscense de Abiego) y la Playa Fósil (en las cercanías de la localidad de Peralta de la Sal, también en Huesca) por su gran número de icnitas y buen estado de conservación. El yacimiento de Fondota era conocido previamente por la población local si bien no se han estudiado hasta hace poco y presenta icnitas y rastros de especies primitivas de mamíferos herbívoros del orden Artiodactyla (Canudo, 2004; Linares, 2020). El yacimiento con icnitas de aves de La Playa Fósil, en Peralta de la Sal, supone uno de los primeros yacimientos con icnitas en describirse de España (Hernández-Pacheco, 1929) y uno de los más conocidos para el público general (Cobos, 2010), pero aún no ha sido estudiado en detalle. Ambos yacimientos son de edad similar, de forma que juntos aportan una información muy significativa sobre la comunidad biológica existente en el sector septentrional de la Cuenca del Ebro en dicha época. Más recientemente en las cercanías del yacimiento de La Playa Fósil se descubrió un nuevo yacimiento de icnitas, tanto de

aves como de mamíferos, denominado La Sagarreta, que se encuentra en la misma unidad que el de La Playa Fósil y puede aportar aún más información sobre la fauna existente en la zona.

El yacimiento de La Sagarreta presenta un gran número de icnitas (se han contabilizado más de 120 icnitas en las 50 losas extraídas) y presenta una elevada complejidad al existir icnitas pertenecientes a diferentes grupos (aves, mamíferos carnívoros, mamíferos herbívoros perisodáctilos y artiodáctilos). El gran número de icnitas, su diversidad y su buen estado de conservación junto con la escasez en el registro europeo de este tipo de yacimientos le aportan a La Sagarreta un gran valor científico.

4. OBJETIVOS

A partir de estos antecedentes, el presente trabajo tiene dos objetivos principales. Por un lado, la realización de un estudio icnológico de las icnitas del yacimiento de La Sagarreta y por otro lado la reconstrucción paleoambiental del yacimiento, empleando tanto la información paleontológica aportada por las icnitas como la información resultante del estudio sedimentológico de la serie que contiene el yacimiento.

Para ello se persiguen los siguientes objetivos secundarios:

- a) Catalogación e identificación de las icnitas existentes en el yacimiento.
- b) La identificación de sus productores.
- c) Establecer facies y secuencias sedimentarias de la serie estratigráfica que contiene en yacimiento.
- d) Determinar el modelo de facies del ambiente en que se produjo el yacimiento.
- e) Conservar las icnitas aplicando nuevas tecnologías como la realización de modelos 3D.
- f) Proporcionar información para poner en valor este nuevo yacimiento.

5. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

El yacimiento de La Sagarreta se encuentra a 2 km al Suroeste de la localidad oscense de Peralta de la Sal (Fig. 1), junto al barranco de la Sagarreta. Se accede (si se accede desde el norte) desde una salida de la carretera A-2216 antes de cruzar el río Sosa y presenta un fácil acceso ya que el yacimiento se localiza junto a un camino. El yacimiento de La Sagarreta se encuentra muy próximo al yacimiento de la Playa Fósil, localizado algo más de 2 km al NNE).

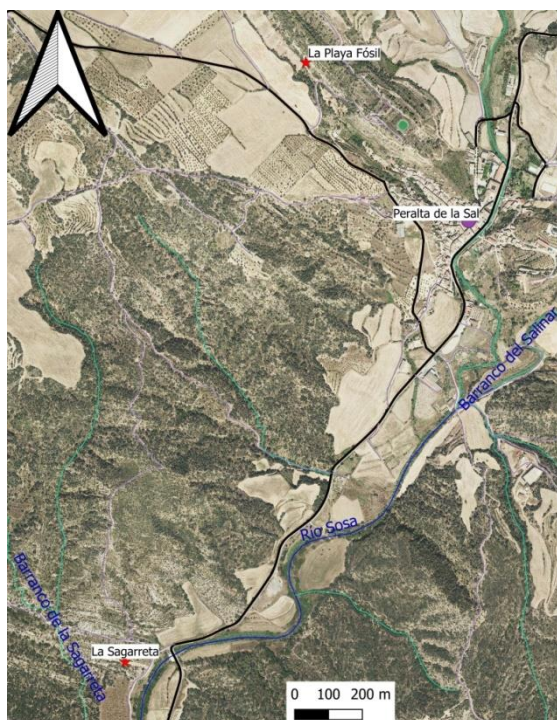


Figura 1. Localización geográfica de los yacimientos de La Playa Fósil y La Sagarreta respecto a las principales localidades de la región. Elaborado empleando Qgis (<https://www.qgis.org/es/site/>) a partir de los datos aportados por el IGN (Instituto Geográfico Nacional). Líneas verdes-barrancos, líneas azules-río, líneas negras-carreteras y líneas moradas-caminos.

Desde el punto de vista geológico el yacimiento se localiza en el sector central de la zona Norte de la Cuenca del Ebro (Fig. 2.A), inmediatamente al Sur del cabalgamiento que supone el límite de las Sierras Marginales del Pirineo (Fig. 2.B).

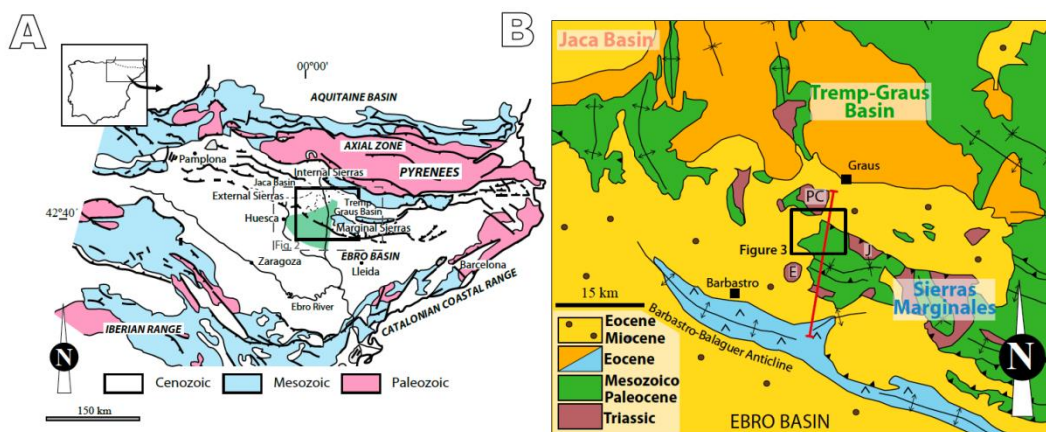


Figura 2. A) Mapa geológico general de síntesis del Noreste de la Península Ibérica. B) Mapa geológico detallado del sector Central Surpirenaico en el que el yacimiento de La Sagarreta se encuentra en los materiales del Eoceno-Mioceno. Figura original de Santolaria et al. (2015).

El Pirineo se originó durante la Orogenia alpina, que comienza en el Cretácico superior y culmina al final del Oligoceno (Vera, 2004), por la colisión entre las placas tectónicas Euroasiática e Ibérica. Durante el levantamiento del Pirineo, se desarrollan sucesivas cuencas de antepaís (Cuenca de Tresp, Cuenca de Jaca...), que se incorporan al alóctono conforme se produce la deformación siendo la más reciente la Cuenca del Ebro (Fig. 2).

La Cuenca del Ebro es una cuenca triangular asimétrica limitada por el Pirineo al Norte, el Sistema Ibérico al Sur y la Cordillera Costero-catalana al Este, cuya sedimentación continental comenzó en el Eoceno superior y prosigue hasta el Mioceno, especialmente en sistemas aluviales que parten desde las cordilleras circundantes que hacia el centro de la cuenca dan lugar progresivamente a sistemas lacustres (Pardo et al., 2004; Luzón, 2005).

Los depósitos de la Cuenca del Ebro se han dividido en 8 unidades tectosedimentarias (UTS) atendiendo a variaciones en la evolución estratigráfica y a la existencia de discordancias en los márgenes de la Cuenca y responden predominantemente a cambios en la actividad tectónica (Muñoz et al., 2002; Pardo et al., 2004). Aunque la influencia de la tectónica es predominante, los depósitos de la Cuenca del Ebro también presentan una influencia climática a una menor escala (Arenas et al., 2001; Luzón et al., 2002).

La zona, que se encuentra desde el punto de vista estructural entre el cabalgamiento frontal de las Sierras Marginales y el Anticlinal de Barbastro, es compleja desde el punto de vista estructural. Múltiples estructuras han sido responsables de controlar la sedimentación, siendo de Norte a Sur (Fig. 3): el Cabalgamiento de las Sierras Exteriores, Anticlinal de Peralta, Anticlinal de Alins, Anticlinal de Altarriba, Sinclinal de Azanuy y Anticlinal de Barbastro (Senz y Zamorano, 1991; 1992).

El cabalgamiento de las Sierras Marginales se desarrolló en dos escamas distintas: la escama de San Quílez, que se encuentra cabalgando a la escama de Zurita y esta, a su vez, a los materiales terciarios de la Cuenca del Ebro, las cuales presentan una vergencia N y una dirección E-W. Ambos cabalgamientos se encuentran fuertemente verticalizados llegando incluso a estar invertidos. Estos cabalgamientos son fundamentales a la hora de explicar la sedimentación de la zona ya que es a raíz de su levantamiento que tuvo lugar la generación de los sistemas de abanicos aluviales responsables de la sedimentación de las unidades detríticas.

La segunda gran estructura presente, el Anticlinal de Barbastro presenta una orientación NW-SE y en su núcleo se encuentran los materiales evaporíticos de la Fm. Barbastro. En ambos flancos aparecen las formaciones Peraltilla y sobre ella Sariñena, discordante al sur de Peralta de la Sal. Se ha considerado como una estructura originada por “Buckling” sobre una superficie de despegue situada en el Eoceno marino con una acumulación de evaporitas en su núcleo (Cámara y Klimowitz, 1965; Riba et al., 1975). Los pliegues de menor entidad localizados entre las estructuras anteriores presentan una dirección general NW-SE y son responsables de la modificación las geometrías y espesores de las unidades (Senz y Zamorano, 1991).

Los materiales de la zona de estudio comprenden la edad Eoceno superior al Oligoceno inferior (Senz y Zamorano, 1991) y se encuentran en el tránsito entre las UTS T3 y T4 (Pardo et al., 2004). En ella se han identificado cuatro complejos

sedimentarios: C.S. de Salinar, con las formaciones Salinar y Barbastro; C.S. de Peralta, con las formaciones Peralta y parte superior de Barbastro; C.S. de Peraltila, con las formaciones Calasanz y Peraltila; C.S. de Sariñena, con las formaciones Baells y Sariñena (Fig. 4). El yacimiento de La Sagarreta se localiza en la formación Peralta y a continuación se pasara a estudiar en detalle el C.S. de Peralta.

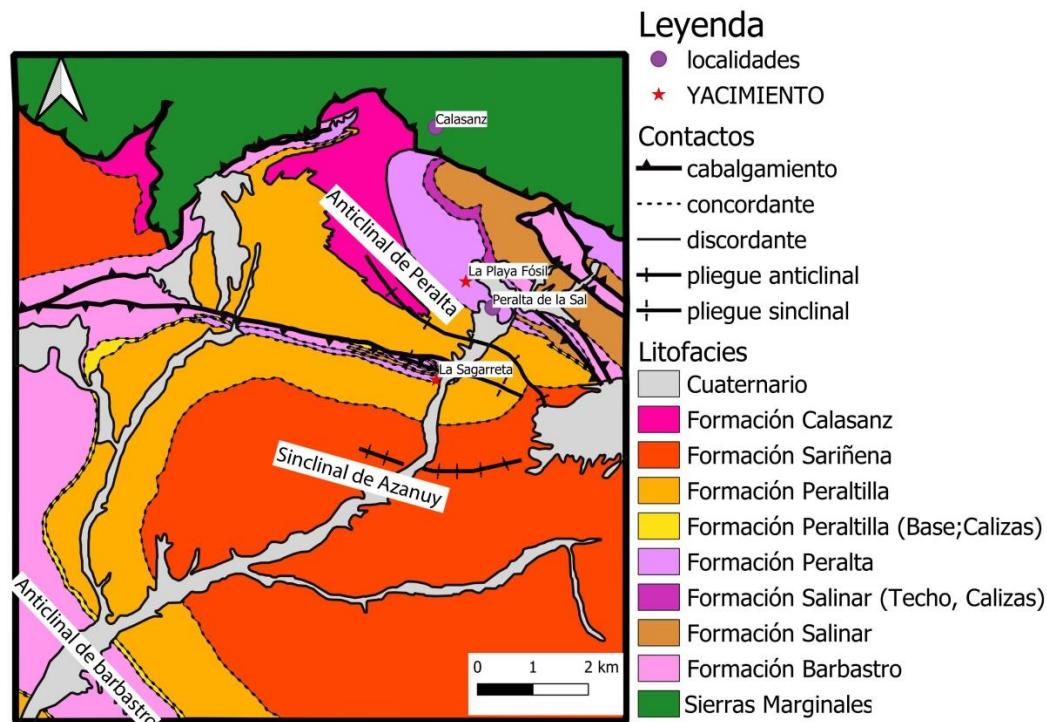


Figura 3. Localización geológica de los yacimientos de La Playa Fósil y La Sagarreta. Ambos yacimientos se encuentran en la Formación Peralta. Datos extraídos de Senz y Zamorano (1992). Mapa creado mediante el programa Qgis (<https://www.qgis.org/es/site/>).

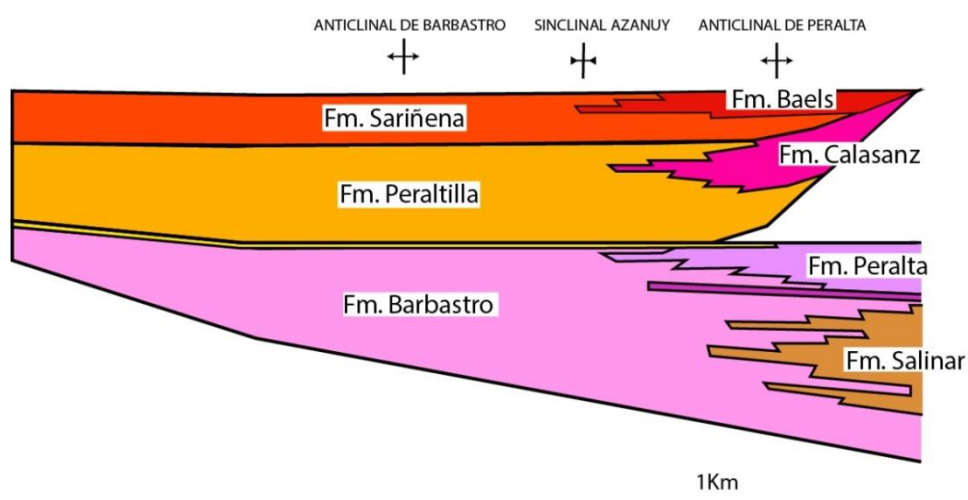


Figura 4. Esquema estratigráfico de las unidades litoestratigráficas y las relaciones entre sí. Modificado de Senz y Zamorano (1991). Leyenda de las formaciones empleada de la figura 3.

El C.S. de Peralta ha sido interpretado como un abanico aluvial de pequeñas dimensiones (Fm. Peralta) pasando hacia el Sur hacia un sistema de lacustre salino (parte superior de la Fm. Barbastro). La formación Peralta es de edad Rupeliense medio, con una potencia de 300 m. Se sitúa sobre las calizas de la Fm. Salinar y por debajo de los depósitos canaliformes de conglomerados fluviales de la Fm. Peraltilla (Senz y Zamorano, 1991, 1992). En la parte Norte consta de conglomerados hacia el Sur pasa a una alternancia de areniscas de grano fino y lutitas (niveles en los que se encuentra el yacimiento de La Sagarreta) y finalmente la a facies evaporíticas típicas de la formación Barbastro. El yacimiento que se estudia en este trabajo se encuentra en materiales detríticos finos interpretados como aluviales distales.

Los conglomerados de la Fm. Peralta son granosostenidos, con clastos heterométricos y heterogéneos con estratificación horizontal e imbricación de cantos. Hacia techo y hacia el SE pasan a areniscas y lutitas, que presentan laminación horizontal, *ripples* y marcas de desecación así como nódulos evaporíticos. Esta unidad ha sido interpretada como un abanico aluvial de corto desarrollo (Senz y Zamorano, 1992).

La Fm. Peralta es lateral a la parte superior de la Fm. Barbastro, la cual presenta un espesor variable pasando de los 1300m en la zona del yacimiento a ir reduciéndose hacia el Sur hasta terminar desapareciendo (Senz y Zamorano, 1992). Es esencialmente evaporítica y se compone fundamentalmente de yesos blancos con intercalaciones de margas y en menor medida niveles discontinuos de calizas cuya abundancia aumenta hacia el techo de la formación. Se ha interpretado como el depósito de un sistema lacustre salino de carácter efímero (Senz y Zamorano, 1992).

Determinar la edad concreta del yacimiento presenta problemas al no encontrarse buenos datadores para llegar a una conclusión definitiva. Sin embargo, por la posición estratigráfica de la Fm. Peralta se ha podido establecer un rango de edad. La Fm. Peralta es equivalente a la parte superior de la Fm. Barbastro, esta formación se ha considerado como perteneciente al Priaboniense medio-superior en su parte inferior (Riba et al., 1975). Además se sitúa por debajo de la Fm. Peraltilla, encontrándose en ocasiones dispuesta en forma de paso lateral de las calizas situadas en la base de la Fm. Peralta (denominadas como calizas de Abiego). En estas calizas se ha encontrado el yacimiento de Peraltilla, en las cercanías de la localidad del mismo nombre, en el cual Álvarez-Sierra et al. (1990) estudiaron los restos de micromamíferos datándolo como Rupeliense (Oligoceno inferior), las biozona *Theridomys* mayor.

Por ello se ha determinado que la Fm. Peralta presentaría un rango de edad entre el Priaboniense superior (casi terminal) y el Rupeliense (más concretamente por debajo de la biozona MP-23). En la figura 3 se presenta un esquema con la distribución estratigráfica de los principales yacimientos paleontológicos paleógenos con mamíferos de la Cuenca del Ebro y el posible rango de edad de La Sagarreta.

CRONO- ESTRATIGRAFIA		BIOZONACIONES		NAVARRA y RIOJA	ARAGON	CATALUÑA	
		Schmidt-Kittler, 1987	Agusti et al., 1987				
OLIGOCENO	SUPERIOR	CHATIENSE	MP-30	R.transiens	➔ BERGASA	➔ FRAGA 11, VENTAS 4 ➔ VALCARRETA 5-8 ➔ VALCUERNA ➔ FRAGA 6,7	
			MP-28,29				
		MP-27	E. aff. major		➔ VENTAS 3 ➔ FRAGA 4 ➔ TORRENTE DE CINCA 4-18 ➔ SAN JAIME 1,2	➔ LES CANOTES	
			E. major		➔ FRAGA 2	➔ BAGARELLA ➔ MINA DEL PILAR 1-3	
		MP-26	E. zitteli	➔ SANTITISI		➔ GANDESA	
	INFERIOR	STAMPIENSE	MP-24,25	Th. aff. major			
			MP-23	Th. major	➔ PERALTILLA	➔ CIUTADILLA ➔ TARREGA	
			MP-22	Th. calafensis	➔ LAS TORCAS	➔ CALAF 1-20 ➔ SANTPEDOR	
			MP-21	Th.aff. aquatilis			
			MP-20	Th. golpeae		➔ SAN CUGAT DE GAVADONS ➔ ROCAFORT DE QUERALT	
EOCENO	MEDIO SUP. BART. PRIAR.	MP-19					
		MP-16,18					
		MP-15			➔ PONTILS 38 ➔ PONTILS 26		

Figura 5. Edad de los yacimientos de mamíferos del paleógeno más destacados de la Cuenca del Ebro. Destacado en azul la franja de posible edad de La Sagarreta. Modificado de Cuenca et al., 1992.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

a. Materiales

El descubrimiento de La Sagarreta se produjo en 2010 por Jorge Franco y desde entonces se han realizado 5 campañas de campo en las cuales se ha recogido diverso material para la elaboración de este TFM. Se encuentra en una pared subvertical de unos 230 m de longitud de afloramiento, alcanzando en su zona más alta unos 50 m. La pared consiste en finos niveles de areniscas y lutitas anaranjadas que se fracturan y desprenden fácilmente, acumulándose gran número de lascas en la base. Las icnitas se han estudiado en estos fragmentos o lascas, como se puede ver en la figura 6. Las lascas son de dimensiones variables, sin llegar a superar los 50 cm de longitud y 5 cm de espesor. Por ello se ha considerado que la identificación en campo de las muestras y el transporte al Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza para hacer el estudio en detalle como la metodología más apropiada.



Figura 6. Fotografía del yacimiento en el punto 4. En la foto se observa el techo del nivel del yacimiento y los fragmentos de estratos o losas en su parte inferior en las que se encuentran las icnitas.

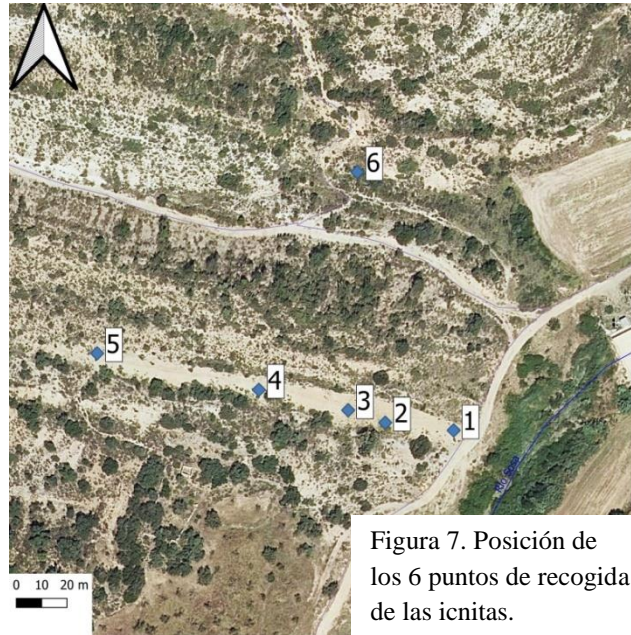


Figura 7. Posición de los 6 puntos de recogida de las icnitas.

A lo largo de las 5 campañas de campo se han recogido losas en 6 puntos distintos. Los 5 primeros de ellos en el barranco que compone el yacimiento de La Sagarreta y el último se obtuvo fuera dicho barranco desprendido de las unidades de arenisca en un afloramiento al Norte del yacimiento principal (Fig. 7).

En total se han recogido 50 losas con icnitas en su superficie y que han sido estudiadas en este trabajo. En ellas se observan la asociación de icnitas pertenecientes a distintos grupos de vertebrados y con diversos estados de conservación. Además de las icnitas de vertebrados en las losas, encontramos la presencia de trazas de invertebrados, *ripples*, marcas de gotas de lluvia, tapices algales y *wrinkle marks* entre las más comunes estructuras de sedimentación observadas.

Cabe destacar que las icnitas se componen de icnitas reales (Lockley, 1991; Gatesy, 2003) conservadas como relieves negativos (epirelieves cóncavos). La presencia de estructuras sedimentarias formadas en los niveles de superficie junto con las icnitas nos indica que estas son icnitas verdaderas y no subhuellas. También existen icnitas conservadas como con relieves positivos o contramoldes (hiporelieves convexos) (Lockley, 1991). Hay losas con un elevado número de icnitas distintas en su superficie. En total existen 125 icnitas tanto de invertebrados como de vertebrados, son estas últimas las más significativas y en las que se va a centrar este trabajo. Las icnitas se han extraído en los seis puntos mencionados con el siguiente porcentaje (tabla 1):

Localización	Numero de icnitas	% de icnitas	Numero de losas	% de losas
1	8	6	7	14
2	10	8	8	16
3	13	10	5	10
4	73	59	19	38
5	19	15	10	20
6	1	1	1	2

Tabla 1. Numero de icnitas y losas encontradas en cada punto de localización y su porcentaje del total.

Como se observa en la anterior tabla el punto de recogida 4 es el que presenta un mayor número tanto de icnitas como de losas junto con el punto de recogida 5 como el segundo con mayor número de icnitas y losas. El punto 6 (siendo el único que no se encuentra en el afloramiento del yacimiento en sí) solamente se ha extraído una losa con una única huella.

b. Métodos

A la hora de exponer la metodología que se ha seguido en la realización de este TFM hay que tener en cuenta que se puede dividir en dos apartados el estudio sedimentológico y el estudio paleontológico.

El estudio sedimentológico comenzó durante la campaña de campo con la realización de la columna estratigráfica (Fig. 9) en la cual se atendió a la litología, textura de los materiales, la geometría y potencia de los estratos y la existencia de estructuras sedimentarias. También se ha tomado muestras de las areniscas y calizas a lo largo de la serie, siendo sigladas e identificando su posición en la columna para posteriormente trasladadas al laboratorio para su análisis.

Se han elaborado láminas delgadas y secciones pulidas, en el servicio de preparación de rocas materiales duros del Servicio de Apoyo a la investigación de la Universidad de Zaragoza (SAI), para el estudio de su textura se ha empleado tanto un microscopio petrofísico como una lupa binocular. Se han tomado muestras para la realización de análisis granulométricos de areniscas además de en calizas para su análisis mediante el microscopio electrónico de emisión de campo (FESEM) Carl Zeiss MERLIN de la SAI de la Universidad de Zaragoza. Los análisis granulométricos se realizaron por tamizado en seco en el laboratorio de Estratigrafía de la Facultad de ciencias empleando tamices a intervalos de $\frac{1}{4}$ de phi entre -1,25 y 4,75 Ø. Se ha llevado a cabo el análisis de facies de los materiales empleando la metodología de Miall (1978), asignando una letra mayúscula a cada facies que se referirá a su litología y una minúscula que se referirá a su textura.

Tras ello se procederá a establecer la metodología para el estudio paleontológico. Las icnitas se han estudiado en un inicio mediante la medición de los diferentes parámetros de las mismas, siguiendo lo indicado en la siguiente figura (Fig. 8):

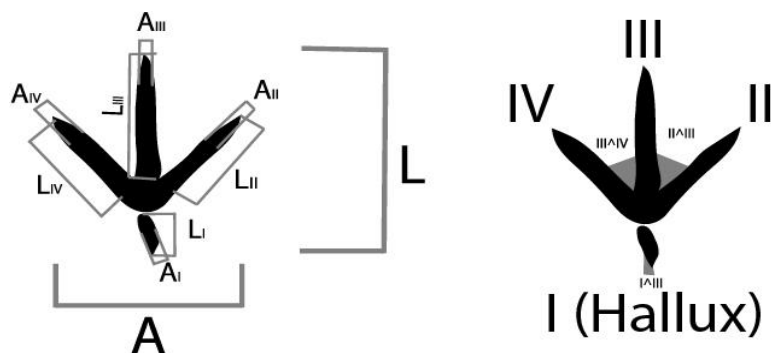


Figura 8. Morfología y parámetros tomados en las icnitas, tomando como ejemplo a las icnitas avianas: A, anchura total; L, longitud total; LI-LII-LIII-LIV longitud de los dedos; AI-AII-AIII-AIV anchura de los dedos; II^III - III^IV - I^III ángulos interdigitales entre los dedos II^III , III^IV y I^III respectivamente.

Como se ve en la imagen se han tomado medidas de la longitud y anchura total de las huellas, la longitud y anchura de cada uno de los dedos y los ángulos interdigitales. En el caso de las icnitas de aves sin hallux se han empleado estos datos para la realización de análisis multivariantes con la finalidad de determinar si dentro de un mismo morfotipo se encuentran más de un icnotaxón (Anexo D). Para ello se han introducido estos datos en el programa Past (Hammer et al., 2001) para la realización de un análisis de clúster, análisis de componentes principales y análisis discriminante, la metodología en detalle se pasara a exponer en dicho anexo.

Antes de proceder a estudiar las icnitas en sí, se ha analizado el estado de conservación de las icnitas ya que incluso dentro de un mismo morfotipo se observan variaciones tanto de la morfología como en las dimensiones de las icnitas. Esta variabilidad se puede deber tanto a una variabilidad inter o intraespecífica por parte de los productores como por dicho estado de conservación de las icnitas. Los distintos estados de conservación se deben a la influencia de las condiciones del sustrato cuando se formaron las icnitas como por efectos tafonómicos posteriores (Marchetti et al., 2019). Para este yacimiento se han definido cuatro niveles distintos de conservación en base a la propuesta de clasificación presentada por Marchetti et al (2019), esta clasificación va desde una conservación: perfecta (3), buena (2), pobre (1) y mala (0):

- Perfecta (grado 3 según Marchetti et al., 2019): poseen todos los elementos anatómicos del autópodo preservados junto con una buena definición y una morfología clara sin estar afectados posteriormente. Estas icnitas son óptimas para definir los icnotaxones e incluso icnoespecies junto con la identificación de los posibles productores y sus caracteres morfo-funcionales (Marchetti et al., 2019).
- Buena (grado 2 según Marchetti et al., 2019): estas icnitas están peor conservadas que las anteriores. Conservan todos los elementos anatómicos pero presentan una menor definición y su morfología llega a estar ligeramente deformada. Estas icnitas son adecuadas para asociar a

icnotaxones previos pero definir alguno nuevo, además de aportar información adecuada sobre los productores,

- Pobre (grado 1 según Marchetti et al., 2019): presentan la falta de algún elemento anatómico, la definición de las huellas es adecuada pero suelen estar fuertemente deformadas. Según Marchetti et al., 2019 no sirven para definir icnotaxones ni morfotipos para el yacimiento pero se podrán asociar a morfotipos e icnotaxones previos.
- Mala (grado 0 según Marchetti et al., 2019): son icnitas muy deformadas y poco definidas por ello la información que aporten es muy reducida y están afectados negativamente por ello. Proporcionan información general del grupo al que pertenecen.

Adicionalmente se tomaron en campo sacos de sedimento de los niveles que presentaban mayor posibilidad de contener fósiles en busca de restos de microfósiles que aporten información sobre el ambiente y edad del yacimiento. Para ello se seleccionó en campo los niveles de la serie que podrían ser los más ricos en restos, se cogieron bolsas de sedimento que posteriormente han sido lavados y triado en búsqueda de restos fósiles.

7. RESULTADOS: ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

A continuación, se describe la columna estratigráfica levantada en la Formación Peralta en la que se incluye al yacimiento de La Sagarreta (Fig. 9).

a. Columna estratigráfica de La Sagarreta

La base de la columna se sitúa en un punto de coordenadas UTM ETRS89 (huso 31) X:282350,69 y Y:4650960,23, y su techo en las coordenadas X:282429,23 y Y:4650771,95 en el mismo sistema de coordenadas. La columna presenta un espesor de total de 120 m. La serie en un inicio se compone de una alternancia de depósitos carbonatados (margas y calizas) grises y detríticos ocreos (lutitas y areniscas) que hacia techo aumentan de importancia hasta hacer que los carbonatos se reduzcan significativamente. En total en la serie estudiada se reconocen 27 tramos distintos que se van a pasar a exponer a continuación (Fig. 9):

Tramo 1: 2,5 m integrados por calizas grises con textura *mudstone* en la base y margas grises a techo. Se disponen en estratos tabulares con potencias entre los 5 y 20 cm. Las margas, masivas, se disponen en cuerpos tabulares de hasta 15 cm. Se reconocen secuencias con margas y calizas masivas en la base que pasan hacia techo a calizas iniciando con el depósito de calizas con laminación estromatolítica y finalmente brechificadas.

Tramo 2: 6 m compuestos por arenisca marrones con intercalaciones de lutitas ocreas. Las areniscas poseen un tamaño de grano fino que hacia techo aumentan ligeramente, se disponen en niveles con geometría tabular con potencias entre 20 y 130 cm. En algunos se observa una evolución granodecreciente además de presentar laminación cruzada y *ripples* en su superficie. Las lutitas en cambio son masivas y se encuentran formando estratos de geometría tabular de entre 1 y 5 cm de

potencia. El tramo se compone por varias secuencias granocrecientes y estratocrecientes que comienzan con el depósito de lutitas (margosas en ocasiones) masivas que pasan hacia techo a niveles de areniscas.

Tramo 3: 7,2 m de margas verdes-grisáceas con intercalaciones de calizas grises. Las margas son masivas y se disponen en dos estratos tabulares de 5 y 2 m de potencia. Las calizas arenosas, con textura *mudstone*, aparecen en un nivel tabular de 30 cm de espesor que presentan laminación cruzada en surco y marcas de *ripples*.

Tramo 4: 2,8 m integrados por areniscas grises con intercalaciones de lutitas grises a techo. Las areniscas presentan un tamaño de grano fino que pasan a grano medio hacia techo. Se integran en estratos tabulares a base y con geometría canaliforme a techo, con potencias entre 5 y 10 cm con evolución granodecreciente. Presentan laminación horizontal, cruzada y marcas de *ripples*. Las lutitas son masivas y se encuentran en niveles tabulares de hasta 30 cm. Se reconocen dos tipos de secuencias distintos en el tramo. En la base del tramo se encuentran secuencias granocrecientes y estratocrecientes que se inician con el depósito de lutitas y pasan a techo a niveles de areniscas alcanzando potencias de hasta 50 cm de potencia. En el techo del tramo se encuentra una secuencia granodecreciente siendo prácticamente a la inversa a las secuencias iniciales pasando del depósito de areniscas con *ripples* que pasan a techo a una alternancia de lutitas y areniscas masivas.

Tramo 5: 6,8 m de lutitas ocre con intercalaciones de areniscas marrones. Las lutitas son masivas y se disponen en estratos tabulares en potencias de entre 1 y 6 m. Las areniscas presentan tamaño de grano fino a fino-medio y se disponen en estratos tabulares con bases canaliformes de hasta 40 cm de potencia. Presentan marcas de *ripples* y laminación horizontal. Las areniscas presentan secuencias granodecrecientes con el depósito inicial de las areniscas tabulares seguido por el depósito de una alternancia de areniscas y lutitas masivas.

Tramo 6: 8,5 m de margas verde-grisáceas con un nivel de calizas color gris intercalado hacia techo. Las margas son masivas y se encuentran formando dos cuerpos tabulares de 6,5 y 1 m de espesor. Las calizas presentan una textura *mudstone* y se integran en estratos tabulares de 1 a 8 cm de espesor con techos irregulares. Las calizas se presentan en secuencias estratocrecientes por las cuales se suceden calizas con laminación horizontal, laminación cruzada, laminación estromatolítica y culminando en calizas brechificadas con cantos micríticos.

Tramo 7: 4,2 m integrados por una alternancia de areniscas ocre y lutitas grises. Las lutitas son masivas y se disponen en estratos tabulares de hasta 1,1 m de potencia. Las areniscas presentan tamaño de grano fino que va en aumento hacia techo de los estratos tabulares con bases canaliformes de entre 10 y 50 cm de espesor con laminación horizontal, laminación cruzada y marcas de *ripples*. Se observan secuencias granocrecientes y estratocrecientes que inician con el depósito de lutitas masivas en la parte inferior y que pasan a niveles de areniscas finas, cuya potencia y grano aumenta progresivamente hacia techo de la secuencia.

Tramo 8: 11 m de margas verde-grisáceas con un nivel intercalado de areniscas de color gris hacia mitad del tramo. En la base del tramo se reconocen lutitas ocre. Las margas son masivas y se disponen en estratos tabulares de 5,25 y 5 m de espesor. Las areniscas se disponen en secuencias granocrecientes y estratocrecientes de 10 a 30 cm de potencia en cuya base se encuentran areniscas de grano fino masivas y con *ripples* que pasan a una alternancia de lutitas y areniscas masivas.

Tramo 9: 70 cm de calizas grises en la base que pasa a techo a margas grises. Las calizas presentan una textura *mudstone* e integran estratos tabulares de hasta 5 cm de potencia máxima con laminación horizontal, laminación estromatolítica y brechificada. Las margas grises son masivas y se disponen en estratos tabulares de potencia decimétrica. Se reconocen dos secuencias estratocrecientes de 30 cm y 50 cm que comienzan con el depósito de niveles finos de margas y progresan a calizas con

laminación horizontal, calizas estromatolíticas y calizas bioturbadas progresivamente cuya potencia de los estratos aumenta hacia techo alcanzando una potencia máxima de 5 cm.

Tramo 10 (camino): Entre 5 y 8 m de lutitas rojas y grises que pasan a 20 m de lutitas margosas ocre que se encuentran parcialmente cubiertas.

Tramo 11: 4,8 m de areniscas marrones con intercalaciones de lutitas anaranjadas. Las areniscas son de grano fino aunque a techo son ligeramente más gruesas y construyen estratos tabulares en la base y canaliformes a techo. Presentan laminación cruzada y marcas de *ripples* y los cuerpos canaliformes poseen estratificación cruzada en surco. Los estratos tabulares poseen potencias centimétrica de hasta 10 cm, en cambio los cuerpos canaliformes poseen potencias decimétricas llegando hasta los 60 cm de potencia. Las lutitas son masivas y se disponen en estratos tabulares con potencias de entre 5 y 10 cm. El tramo se compone de secuencias estratocrecientes y granocrecientes, estas secuencias inician con una alternancia de lutitas y areniscas que hacia techo pasan areniscas masivas. Sobre ellas se depositan areniscas con *ripples* dispuestos en cuerpos tabulares los cuales pasan a depósitos canaliformes con estratificación cruzada planar los cuales hacia techo pasan a estratos canaliformes con estratificación cruzada en surco.

Tramo 12: 5,5 m de lutitas anaranjadas masivas que presentan a techo un nivel de 60 cm de areniscas de grano fino con laminación cruzada y *ripples* de color marrón. El nivel de arenisca se compone de estratos con geometría canaliformes cuyos espesores varían entre 1 y 5 cm.

Tramo 13: 8,4 m de cubierto en el que se reconocen algunos niveles de lutitas.

Tramo 14: 4,4 m compuestos por areniscas marrones con intercalaciones de lutitas masivas dispuestos en secuencias estratocrecientes y granocrecientes de potencia entre 20 y 130 cm. Las lutitas son masivas y se disponen en estratos tabulares de potencia centimétrica. Las areniscas se disponen en estratos tabulares que hacia techo pasan a ser estratos canaliformes con potencias entre 5 y 20 cm. Presentan laminación cruzada, marcas de *ripples* y los cuerpos canaliformes con estratificación cruzada en surco. Estas secuencias inician con lutitas masivas en estratos tabulares que pasan a areniscas marrones en estratos tabulares con laminación cruzada y marcas de *ripples*, sobre ellas se disponen estratos de arenisca con geometría canaliforme de potencias de entre 5 y 20 cm con estratificación cruzada y *ripples*. Las areniscas presentan tamaño de grano fino que aumenta hacia techo de la secuencia.

Tramo 15: 8,3 m de lutitas anaranjadas masivas con una intercalación de 2,6 m de areniscas de grano fino marrones. Las lutitas son masivas se disponen en dos estratos tabulares de 3,3 y 2,4 m de potencia. Las areniscas presentan estratos tabulares que hacia techo pasan a poseer una geometría canaliformes y lenticular con estratificación cruzada y *ripples* con espesores de entre 1 y 25 cm. Las areniscas se disponen en secuencias decimétricas estratocrecientes y granocrecientes que inician con el depósito de lutitas masivas sobre las que se disponen areniscas masivas en estratos tabulares que hacia techo pasan a poseer una geometría canaliforme con estratificación cruzada en surco.

Tramo 16 (nivel del yacimiento): 1,5 m de areniscas ocre de grano fino con intercalaciones de lutitas anaranjadas. Las areniscas se disponen en estratos de geometría tabular con bases localmente canaliformes de potencia variable entre 1 y 5 cm. Presentan laminación cruzada y marcas de *ripples* asimétricos de interferencia. Así mismo se reconocen marcas de gotas de lluvia, grietas de desecación, estructuras algales, *wrinkle marks*, *tool marks* e icnitas de animales que se describen con mayor detalle más adelante. Se disponen en secuencias granocrecientes que inician con una alternancia de lutitas y areniscas masivas que a techo pasan a las areniscas con *ripples*.

Tramo 17: 8,7 m cubiertos.

Tramo 18: 0,5 m de areniscas de grano fino con intercalaciones de lutitas grises. Las areniscas de grano fino se disponen en estratos tabulares de potencia centimétrica con laminación cruzada y *ripples*. Las lutitas son masivas y se disponen en estratos tabulares de potencia centimétrica. Se disponen en dos secuencias estratocrecientes de 25 cm cada una de ellas que inician con el depósito de una alternancia de lutitas y areniscas masivas.

Tramo 19: 1,6 m de margas grises masivas en estratos tabulares con una intercalación de calizas grises masivas en un estrato tabular de 20 cm de potencia.

Tramo 20: 8,3 m de lutitas marrones en un nivel tabular.

Tramo 21: 4 m de una alternancia de areniscas marrones y lutitas masivas marrones. Las lutitas se disponen en estratos tabulares de hasta 1 m de potencia. Las areniscas son de grano fino y se disponen en estratos tabulares con bases irregulares de hasta 30 cm de potencia con estratificación cruzada y *ripples* asimétricos.

Tramo 22: X m de conglomerados soportados por la matriz. Los conglomerados son no granosostenidos y se disponen en estratos decimétricos de geometría tabular y bases canaliformes. Poseen cantos heterolíticos con una menor angulosidad que alcanzan hasta 5 cm de diámetro. Presentan una matriz lutítica de color anaranjado. Estos conglomerados significan el inicio de la Fm. Peraltilla.

b. Litofacies y secuencias sedimentarias

Se han reconocido 12 litofacies distintas atendiendo a su litología, textura y estructura sedimentarias. De ellas 4 facies distintas de calizas, 1 litofacies de margas masivas, 1 litofacies de lutitas masivas y 6 son areniscas.

LITOFACIES DE CALIZAS

- Calizas masivas (Km): Calizas grises de textura *mudstone* en estratos tabulares con potencia centimétrica a decimétrica. Representa la precipitación de carbonato bajo lámina de agua y la acción de organismos bioturbadores que impiden la preservación de las estructuras internas (Arenas et al., 1993).
- Calizas con laminación (Kl): Calizas grises en estratos tabulares con laminación paralela con potencia centimétrica de láminas de micrita de tonos grises claros y oscuros con intercalaciones ocasionales de arenas finas con laminación cruzada (Fig. 10.F). Se interpretan como una alternancia entre periodos de precipitación de carbonatos y de depósitos de material detrítico bajo una lámina de agua fina en zonas someras con influencia de corrientes tractivas (Ezquerro et al., 2019)
- Calizas con laminación estromatolítica (Ks): Calizas grises en estratos tabulares de potencia centimétrica con laminación interna irregular llegando a desaparecer en continuidad lateral a techo de los estratos (Fig. 10.A). Se observan mamelones en campo y en lámina delgada (Fig. 12.3). Se ha interpretado como la combinación entre el atrapamiento de granos detríticos y la precipitación de carbonato por la acción de una colonia microbiana responsable de la laminación característica (Freytet y Plaziat, 2002).

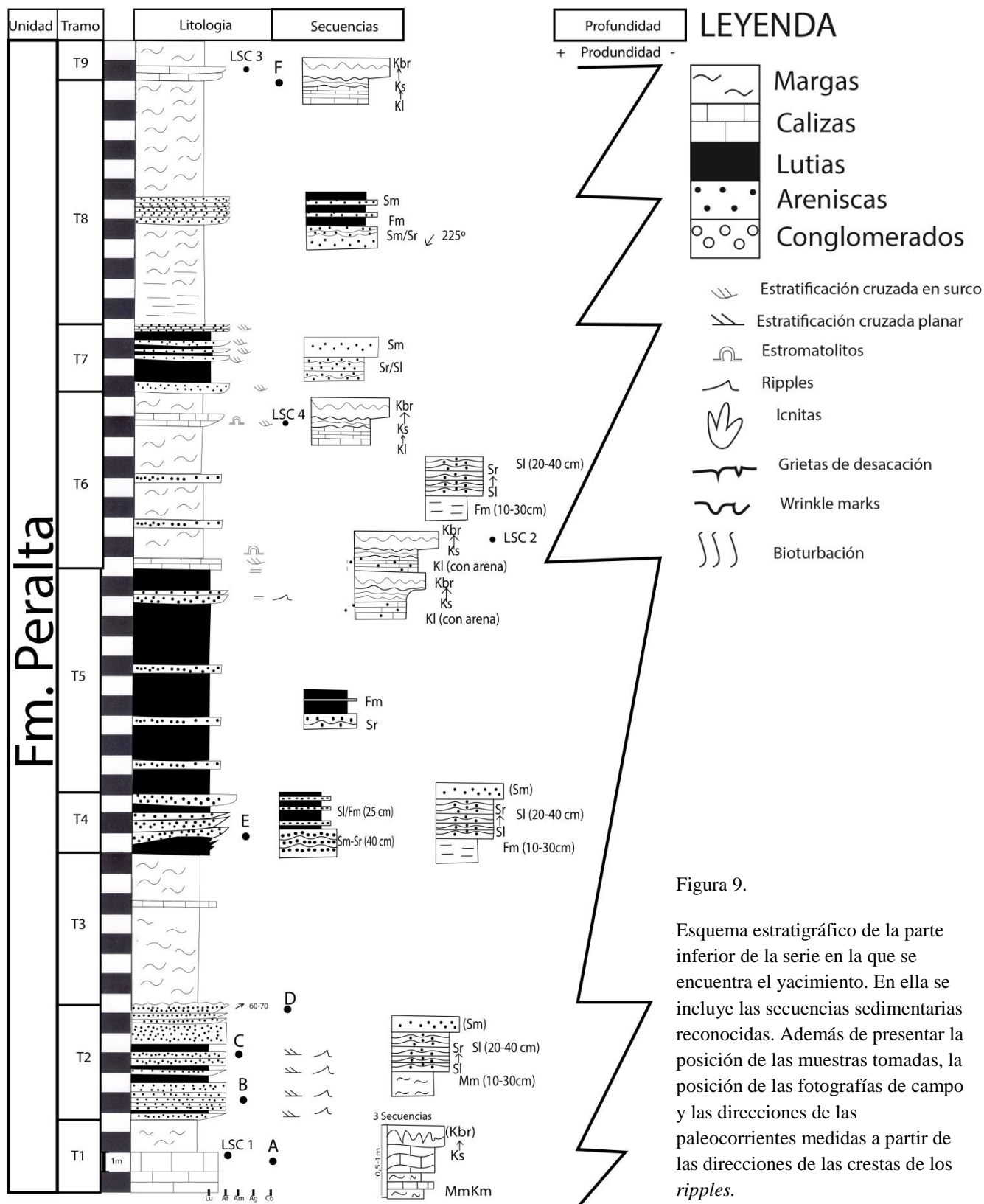
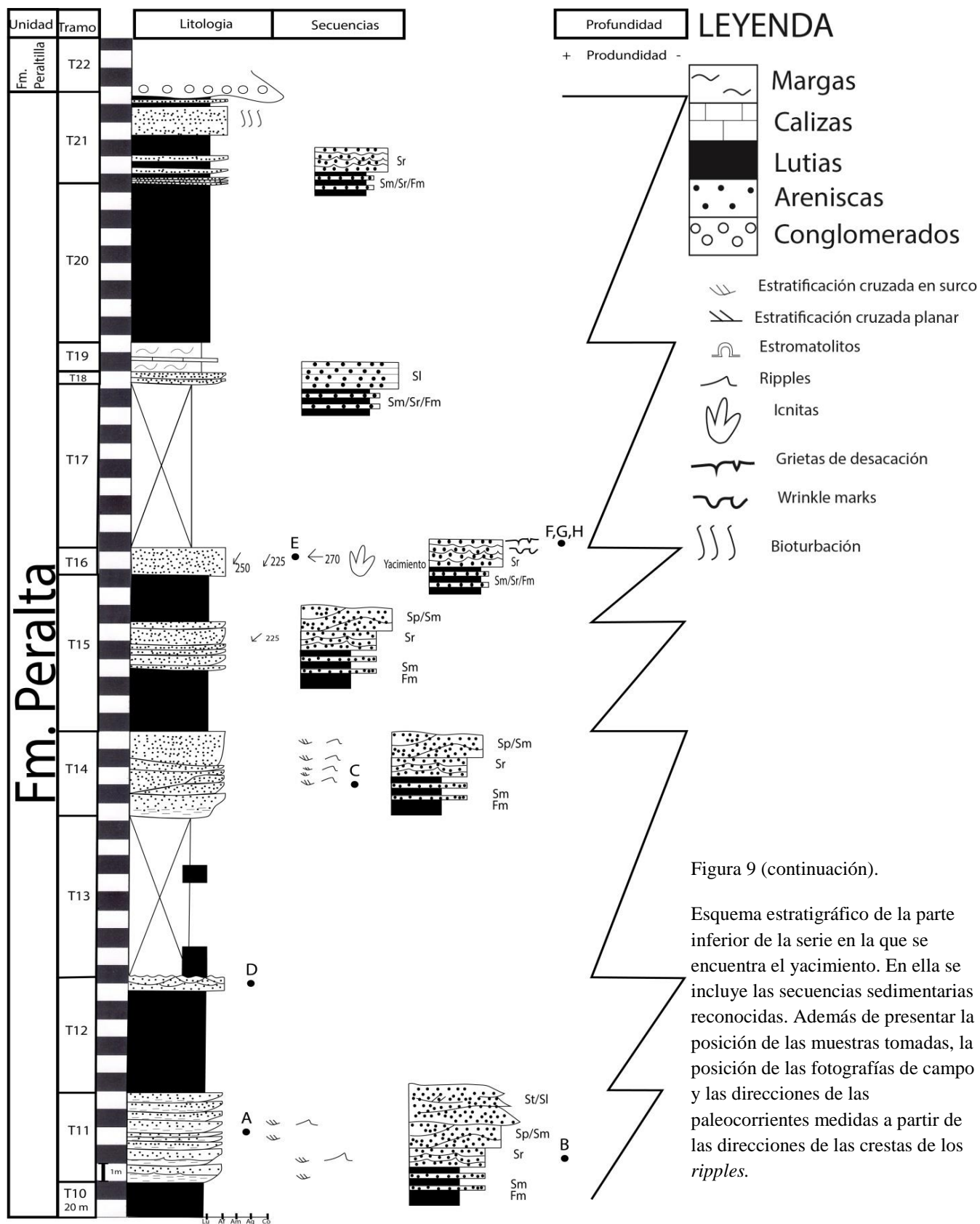


Figura 9.

Esquema estratigráfico de la parte inferior de la serie en la que se encuentra el yacimiento. En ella se incluye las secuencias sedimentarias reconocidas. Además de presentar la posición de las muestras tomadas, la posición de las fotografías de campo y las direcciones de las paleocorrientes medidas a partir de las direcciones de las crestas de los *ripples*.



En microscopio se observan estructuras algales (con la presencia de tallos de algas) (Fig. 12.4) junto con restos de ostrácodos mal preservados. La preservación de la laminación junto con el color gris de la muestra permite concluir que no sufrió una exposición subaérea o que esta fue reducida.

- Calizas brechificadas (Kbr): Calizas grises en estratos tabulares de potencia centimétrica con bases y techos irregulares (Fig. 10.A). Se originan por bioturbación, escape de gases y exposición subaérea del material carbonatado previamente depositado. Asimismo, el crecimiento de sales intersticiales (yeso o halita) que posteriormente sufrieron disolución, como se ha observado en lámina delgada (Fig. 12.1), pudo colaborar en la brechificación (Alonso-Zarza, 2003). En lámina delgada se ha observado laminación interna irregular y con geometría lenticular que indican que en la mayor parte de los casos la brechificación afectó a las calizas estromatolíticas (Fig. 12.2).

LITOFACIES DE MARGAS

- Margas masivas (Mm): margas verde-grisáceas masivas en estratos tabulares de potencia decimétrica a métrica (Fig. 10.F). Se interpreta como resultado de la decantación de material fino unido a la precipitación de carbonato bajo lámina de agua sin agitación (Arenas et al., 1993; Freytet y Plaziat, 2002).

LITOFACIES DE LUTITAS

- Lutitas masivas (Fm): Lutitas masivas ocreas dispuestas en estratos tabulares de potencia centimétrica a métrica. Se corresponde a la decantación de material fino bajo lámina de agua en momentos de baja energía (Rust, 1977).

LITOFACIES DE ARENISCA

- Areniscas masivas (Sm): Arenas marrones-ocres masivas, normalmente de grano muy fino, que se disponen en estratos tabulares o canaliformes con potencia centimétrica-decimétrica (Fig. 10.E). Las areniscas presentan grietas de desecación, gotas de lluvia y bioturbación. Se corresponden al depósito de arenas de grano fino bajo la acción de corrientes tractivas (Miall, 1978, 1996). Las grietas de desecación indican una exposición subaérea de las areniscas que produjo una desecación y retracción de las mismas, las gotas de lluvia indicarían también una exposición subaérea.
- Areniscas con laminación horizontal (Sh): Arenas marrones-ocres de grano fino con laminación horizontal-subhorizontal en estratos tabulares de potencia centimétrica. Suponen la sedimentación de material terrígeno bajo condiciones de alto régimen de flujo (Miall, 1978, 1996).
- Areniscas con *ripples* (Sr): Arenas ocreas-marrones de grano fino a muy fino (Fig. 12. 7) en estratos tabulares de potencia centimétrica con *ripples* (Fig. 10.D, Fig. 12.F), grietas de desecación (Fig. 11.H), gotas de lluvia (Fig. 11.G), bioturbación (Fig. 11.G), laminación cruzada y *wrinkle marks*. Se observan tanto *ripples*

simétricos como *ripples* asimétricos así como de crestas rectas y de crestas sinuosas. Asimismo en ocasiones los ripples son escalantes (*climbing ripples*) (Fig. 11. C). Se interpretan en relación con corrientes tractivas unidireccionales (*ripples* asimétricos) o bidireccionales (*ripples* simétricos) que por la interacción con la superficie del sustrato produjo la migración de los ripples en condiciones de bajo régimen de flujo (Miall, 1977; Ezquerro et al., 2019). La presencia de *climbing ripples* indican elevada tasa de sedimentación que produjo el apilamiento de los *ripples*. Las granulometrías indican un dominio de la tracción y saltación en su transporte (Anexo c.1).

- Areniscas con estratificación cruzada planar (Sp): Arenas ocre-marrones de grano fino-medio con estratificación cruzada planar en estratos de potencia disimétrica con bases canaliformes. Se originan por el depósito detrítico bajo la acción de corrientes tractivas y la migración de *megaripples* de crestas rectas (Miall, 1977) en cuerpos canaliformes. A diferencia de Sr la energía del medio era mayor. Las granulometrías evidencian dominio de la tracción y la saltación y retrabajamiento del material (Anexo c.1).
- Areniscas con estratificación cruzada en surco (St): Arenas ocre-marrones de grano fino con estratificación cruzada en surco en estratos con bases canaliformes de potencia decimétrica. Se originan por el depósito de material detrítico relacionado con la migración de *ripples* de crestas sinuosas en canales bajo la acción de corrientes tractivas en condiciones de menor energía que los anteriores (Miall, 1977).

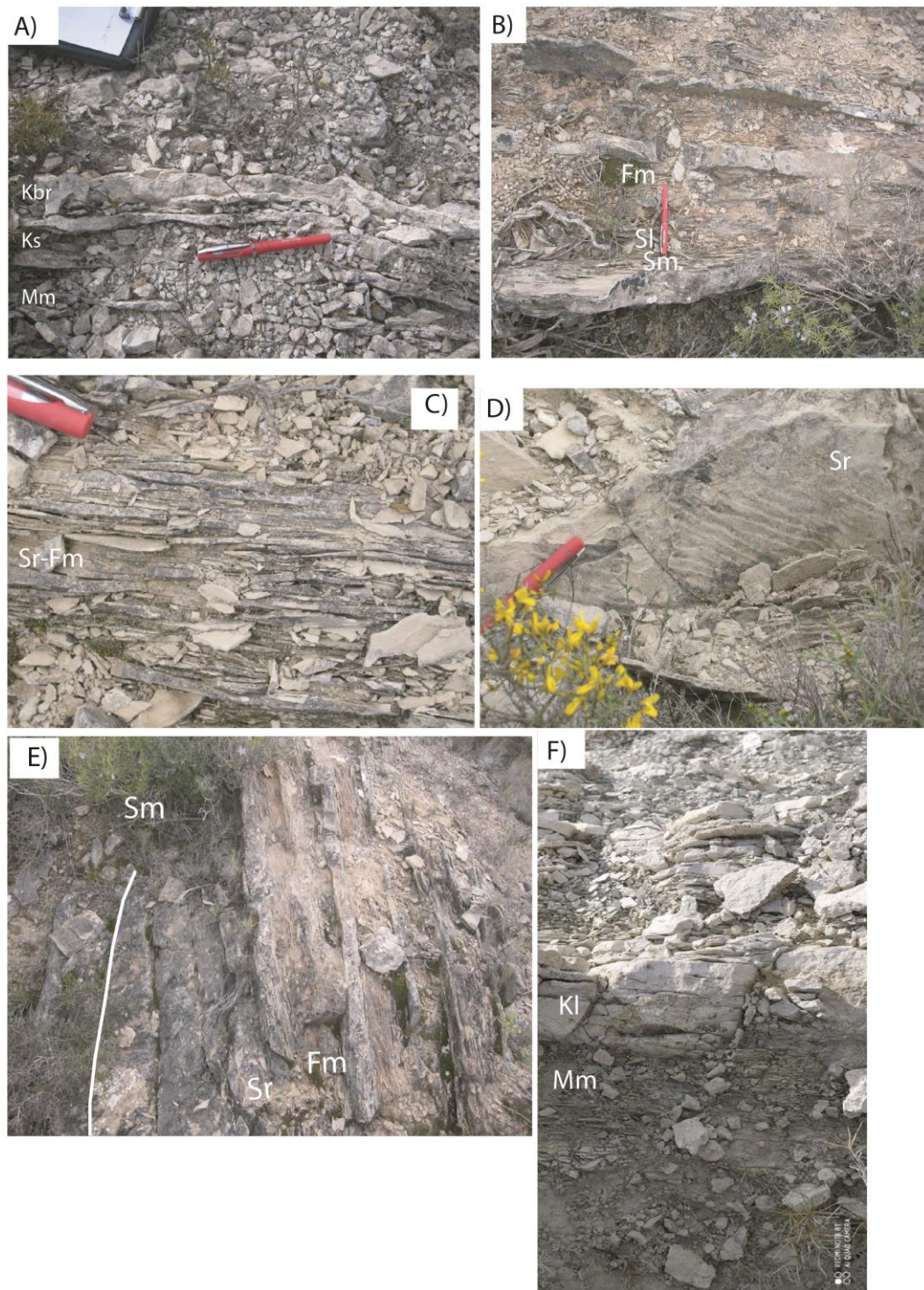


Figura 10. A) Secuencia A en el tramo 1 compuesta por margas masivas (Mm), calizas con estromatolitos (Ks) y calizas brechificadas (Kbr). B) Lutitas masivas (Fm), areniscas con laminación (Sl) y areniscas masivas (Sm) en el tramo 4. C) Detalle de las areniscas con laminación de tipo wavy (Sr-Fm). D) Ripples en la superficie de las areniscas (Sr). E) Secuencias granodecrecientes del tramo 8. Comenzando con areniscas masivas (Sm) en un nivel canaliforme con ripples a techo (Sr) y terminan en lutitas masivas (Fm). F) Calizas con laminación horizontal (Kl) y margas masivas (Mm).

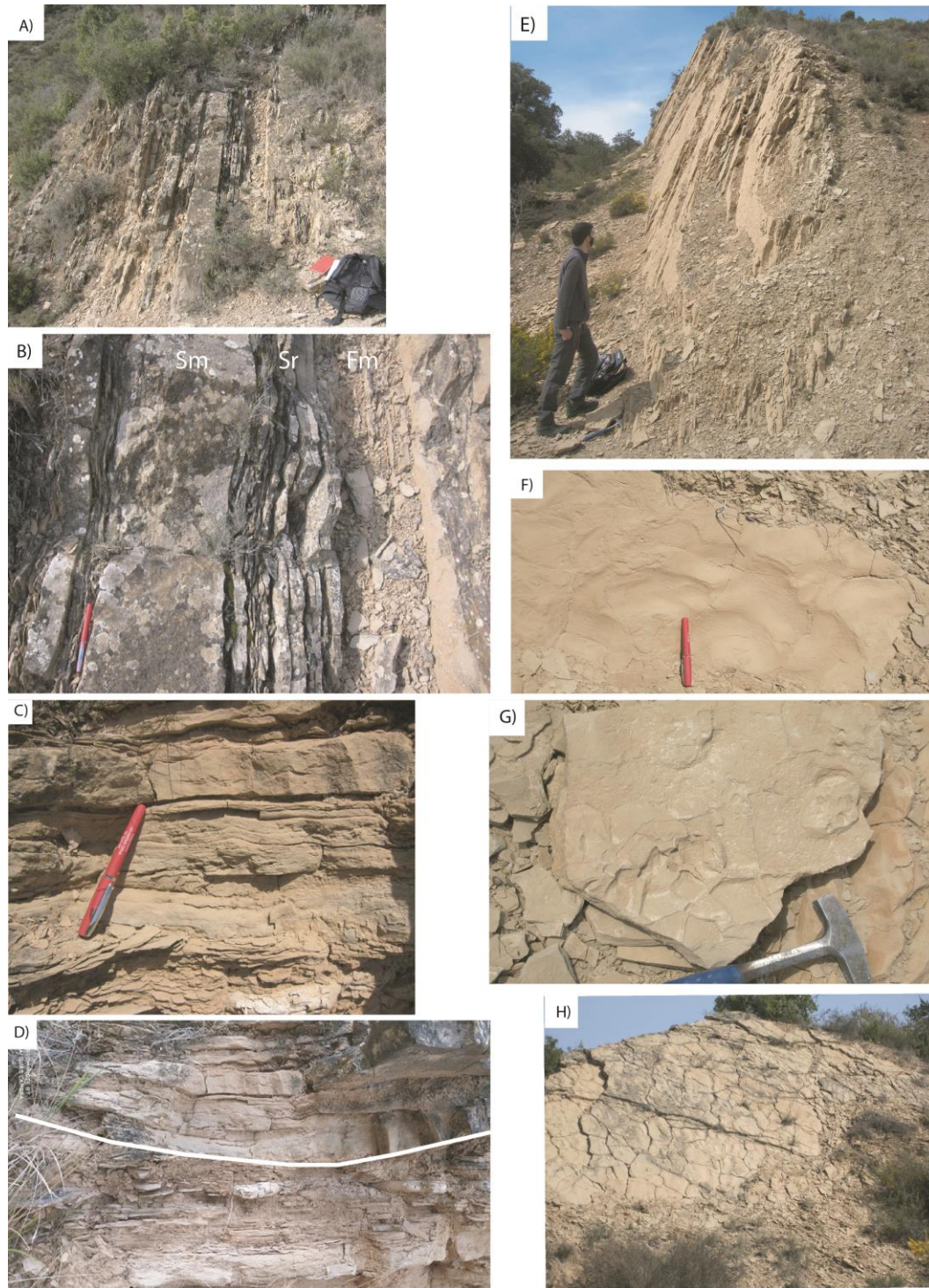


Figura 11. A) Secuencia d del tramo 11. B. Detalle de la sección granocreciente de la secuencia d del tramo 11 iniciando con lutitas masivas (Fm) que pasan a areniscas con ripples (Sr) y areniscas masivas (Sm). C) Detalle de los ripples, se observan que son *climbing ripples*. D) Nivel con bases canaliformes de areniscas masivas (Sm) que hacia techo pasa a areniscas con ripples (Sr). E) Secuencia C a techo del tramo 16 en cuya superficie se encuentra el yacimiento. F) Ripples asimétricos de cretas onduladas en la superficie del yacimiento. G) Losa desprendida del nivel con icnitas en su superficie. H) Grietas de desecación en las cercanías del punto 6.

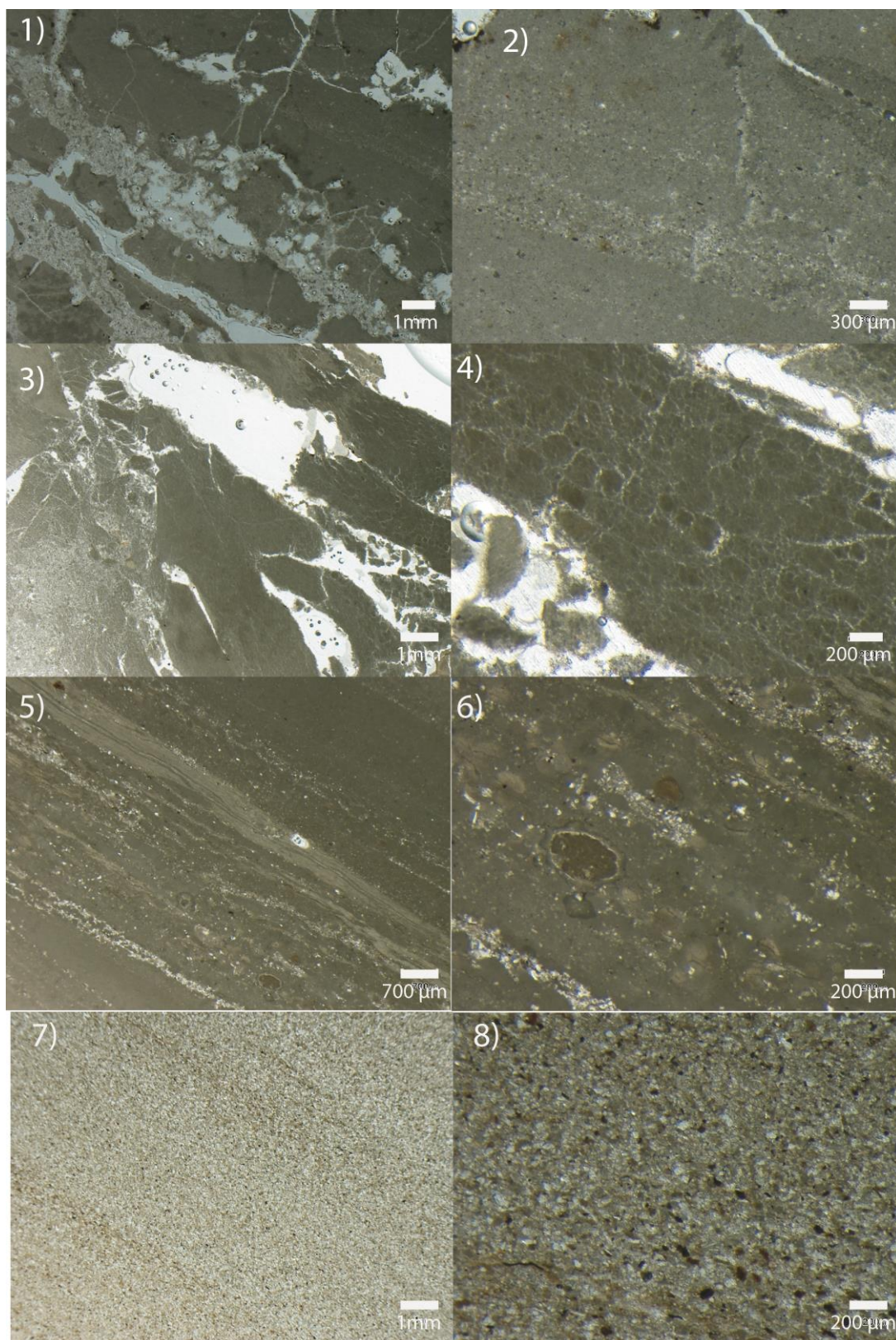


Figura 12. Detalle de las muestras en lámina delgada. 1) Calizas brechificadas (Kbr, muestra LSC-1) tramo 1 (escala 1mm). 2) Detalle de la imagen 1 en la que se observa la estructura de las calizas brechificadas (Kbr), muestran estructura interna con láminas de pequeña potencia distinguiéndose capas más carbonatadas y más detríticas lenticulares análogas a las observadas en muestras estromatolíticas

(escala 300 μm). 3) Fotografía general de uno de los mamelones estromatolíticos en proceso de brechificación observado en la muestra LSC-2 (escala 1mm). 4) Detalle de la imagen 3 que muestra fragmentos algales existentes que preservan la estructura interna orgánica de las algas ramificadas en la muestra LSC-2 (escala 200 μm). 5) Muestra LSC-3 (Ks), se observa una laminación de origen estromatolítico en la que se intercalan capas oscuras y claras junto con capas detríticas. Estas laminas presentan un carácter lenticular (escala 700 μm). 6) Detalle de la imagen 5 que muestra la laminación de la muestra LSC-3, las bandas oscuras presentan una textura predominantemente micrítica frente a las bandas claras donde hay una textura microesparítica. Se observan restos de ostrácodos (escala 200 μm). 7) Detalle de la losa LS-41, se observa que son areniscas de grano fino (escala 1 mm). 8) Fotografía en detalle de la muestra de las areniscas de la losa LS-41, los granos presentan un tamaño de grano muy fino y con una elevada angulosidad. Son mayoritariamente carbonatados, al igual que la matriz (escala 200 μm).

Las facies anteriormente descritas se organizan en secuencias sedimentarias con espesores entre decimétricos a métricos que permiten realizar una aproximación al medio de depósito. Se han definido cuatro secuencias que se localizan en distintas zonas de la columna estratigráfica.

Secuencia A (Fig. 10.A, Fig. 13.A): presenta una potencia entre 0,5 y 1 m. Integrada por una alternancia de calizas y margas masivas (Km y Mm) en la base que pasan a calizas con laminación paralela (Kl), que puede presentar intercalaciones detríticas, sobre las que se pueden observar facies con laminación estromatolítica (Ks). La secuencia culmina con un nivel de calizas brechificadas (Kbr). En ocasiones esta secuencia está incompleta, no apareciendo el término de calizas y margas masivas o el de calizas brechificadas.

La secuencia A representa una somerización lacustre, pasando desde la sedimentación en zonas más internas (Km y Mm), con decantación de detríticos finos y precipitación de carbonato, a zonas más someras con mayor influencia detrítica y el desarrollo de estromatolitos. El término Kb evidencia un periodo de exposición subaérea. Las secuencias sin término inferior serían de zonas más someras que las secuencias completas. Las secuencias sin término brechificado reflejan condiciones sin exposición. Se observan secuencias similares en los materiales lacustres de la Sierra de Alcubierre (Arenas, 1993).

Secuencia B (Fig. 10.B, Fig. 13.B): presenta potencias de entre 0,75 y 2 m en las cuales se observa una evolución granocreciente. Integradas por lutitas rojas (Lm) o margas grises (Mm) masivas en su base sobre las que se encuentran areniscas con estratificación de tipo wavy (Fig. 10.C), las cuales se producen por la sucesión de capas alternantes de poco espesor de areniscas masivas y con ripples (Sm-Sr) y lutitas masivas (Fm). La secuencia culmina con areniscas masivas en estratos tabulares con bases irregulares (Sm).

Esta secuencia se ha interpretado en relación con un sistema lacustre dominado por los aportes detríticos y desarrollo de un delta. Se corresponde con el frente deltaico en transición al prodelta. Sobre depósitos de zonas más profundas se superponen

depósitos de barras de desembocadura en los que alterna la tracción con la decantación (areniscas con estratificación tipo wavy) y representan el frente deltaico inferior. Finalmente, las areniscas masivas (Sm) se interpretan como depósitos de frente deltaico superior. Estos materiales fueron retrabajados por el oleaje. Los colores rojizos y ocres que se observan a veces en las areniscas indican que estas pudieron quedar expuestas.

Secuencia C (Fig. 10.E, Fig. 13.C): presenta potencias de entre 0,5 y 1 m. Se observa una evolución granodecreciente. La secuencia comienza con areniscas masivas (Sm) con ripples hacia techo (Sr) en estratos tabulares (con menos frecuencia canaliformes), que presentan en ocasiones bases canaliformes, las cuales pasan a una alternancia de lutitas y areniscas masivas ocres (Sm y Lm).

Esta secuencia se ha interpretado como el proceso de abandono-desbordamiento de canales distributarios y las bahías adyacentes.

Secuencia D (Fig. 11.A, Fig. 11.B, Fig. 13.D): presentan una potencia que varía entre 0,4 y 2 m y son granocrecientes. La secuencia se inicia con una alternancia de lutitas y areniscas masivas (Lm y Sm) sobre las que se encuentran areniscas con ripples (Sr). Sobre ellas se encuentran areniscas con estratificación cruzada planar (Sp) y/o asan masivas (Sm) en cuerpos potentes granocrecientes con bases canaliformes (Fig. 11.D). En ocasiones sobre estas secuencias granocrecientes se observan secuencias granodecrecientes (Tipo C) las cuales inician con la presencia de areniscas con estratificación cruzada en surco que hacia techo pasan a una laminación horizontal.

La secuencia se ha interpretado como una progradación dentro del sistema deltaico. De esta forma sobre los depósitos de una barra de desembocadura correspondiente a la sub-secuencia granocreciente (Fm-Sm, Sr, Sp-Sm) prograda un canal distributivo que supone la sub-secuencia granodecreciente (St, Sl).

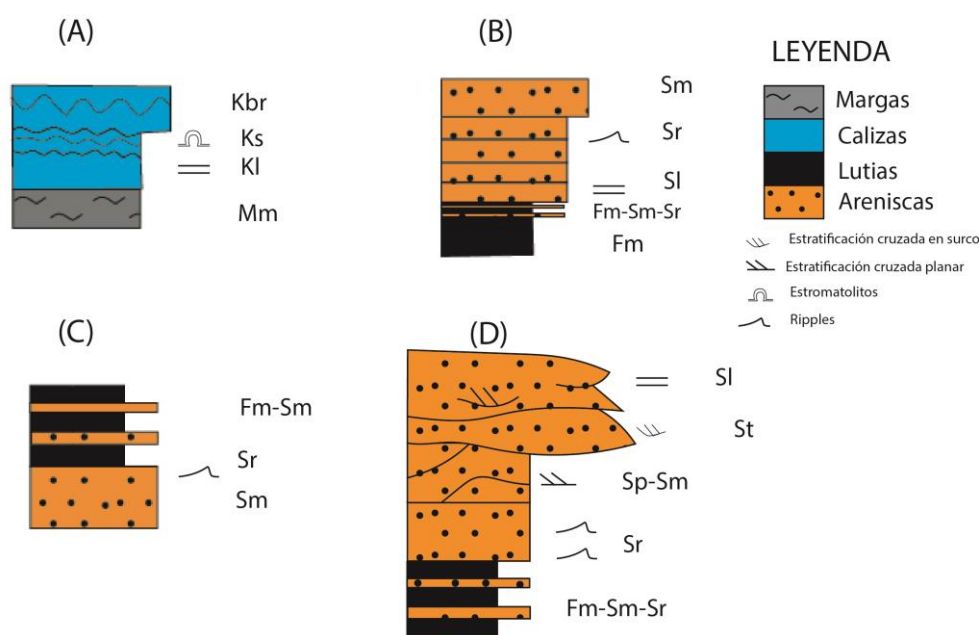


Figura 13. Esquemas estratigráficos de las secuencias descritas. A) Secuencia A (escala decimétrica), mostrando una somerización de un sistema lacustre. B) Secuencia B (escala centimétrica-decimétrica), muestra una evolución granocreciente. C) Secuencia C (escala decimétrica), muestra una evolución granodecreciente. D) Secuencia D (escala métrica), presenta una evolución granocreciente hasta el techo de las areniscas de masivas y con estratificación cruzada planar seguida por una evolución granodecreciente desde hacía techo.

c. Interpretación del medio de sedimentación

La interpretación de los materiales que integran la columna en la que se encuentra el yacimiento de La Sagarreta, permite proponer que representan una zona marginal de un gran lago salino al cual llegaban aportes desde abanicos aluviales procedentes desde el Norte. Esto produjo que, localmente, y en la zona de contacto entre el sistema lacustre y aluvial se generara un delta cuyos depósitos distales son los encontrados en la serie de La Sagarreta (Fig. 14). Se reconoce el origen aluvial de los sedimentos deltaicos ya que poseen una elevada angulosidad (Fig. 12.8) (Walker y Noel, 1992)

Se han reconocido distintos subambientes. Así la secuencia A se corresponde a zonas protegidas del aporte terrígeno donde domina la precipitación de carbonatos aunque siempre con cierta influencia detrítica por llegada de aportes. Estas secuencias representan el paso de depósitos lacustres más profundos (Mm) a depósitos más someros de las zonas más marginales del lago (Kl, Ks, Kbr) y por tanto una somerización. Estas zonas protegidas del aporte terrígeno se corresponden a las zonas inactivas del sistema deltaico o laterales al mismo (Fig. 14).

El ambiente lacustre presentaría una elevada salinidad, al menos en algunos momentos, ya que se han reconocido dolomitas y halitas que han sufrido disolución, en lámina delgada y FESEM. Ello cuadraría con la relación lateral entre la Fm. Peralta y la Fm. Barbastro (compuesta fundamentalmente por yesos), suponiendo esta última los depósitos lacustres propiamente dominantes. En la zona de llegada de aguas, existiría mayor dilución y por tanto precipitación de carbonatos. Las facies muestran señales de exposición subaérea (grietas de desecación, gotas de lluvia, colores rojizos...) si bien la ausencia de paleosuelos llevan a concluir que la exposición subaérea tendría una corta duración.

Las facies propiamente deltaicas están representadas por las secuencias B, C y D. La secuencia B representa el frente deltaico inferior y supone el depósito distal de canales distributarios al desembocar en el lago, y el avance sobre los depósitos de prodelta (Mm) de depósitos de barras de desembocadura en los que alterna la tracción con la decantación. La secuencia D, es similar a la anterior, pero con desarrollo de canales; las facies de la parte inferior tienen colores más rojizos. Representan barras de desembocadura más proximales y someras y la superposición de canales distributarios. La secuencia C supone el relleno y desbordamientos de canales distributarios, el cual es

abandonado y sobre el que tiene lugar la decantación de los sedimentos de desbordamiento.

Respecto a la evolución vertical de base a techo de la columna tiene lugar el paso de un predominio de las secuencias A, B y C a un dominio de la secuencia D. Esta evolución indica por lo tanto una progradación del delta sobre el sistema lacustre dominando los depósitos influenciados por el primero.

Al observar las paleocorrientes medidas mediante *ripples* se observa la dominancia de corrientes unidireccionales con dirección NE-SW y sentido al SW. Estas paleocorrientes coinciden con la posición del sistema aluvial que alimenta al delta (situado al Norte del yacimiento) reflejando las corrientes de los canales distributarios. Se ha medido también una segunda dirección de las paleocorrientes menos abundante que presenta una dirección opuesta. Este hecho, junto a las características de los *ripples* (simétricos en ocasiones) lleva a concluir que la acción oleaje del sistema lacustre sobre el sedimento tuvo influencia en la sedimentación. Ello concuerda con las observaciones a partir de las granulometrías, y el retrabajamiento del sedimento deducido a partir de ellas en la población de tracción.

Como se ha expuesto anteriormente, los resultados de las granulometrías (Anexo C) muestran un dominio de los procesos sedimentarios de tracción y saltación y en algunos casos retrabajamiento. Si se comparan con los resultados de granulometrías de Visser (1969), se observa que las granulometrías tomadas en las facies Sr de son similares a los depósitos de Offshore y en zonas afectadas por el oleaje en deltas, y que las partes superiores de la secuencia C estas son similares a los canales deltaicos. Ello refuerza la interpretación propuesta.

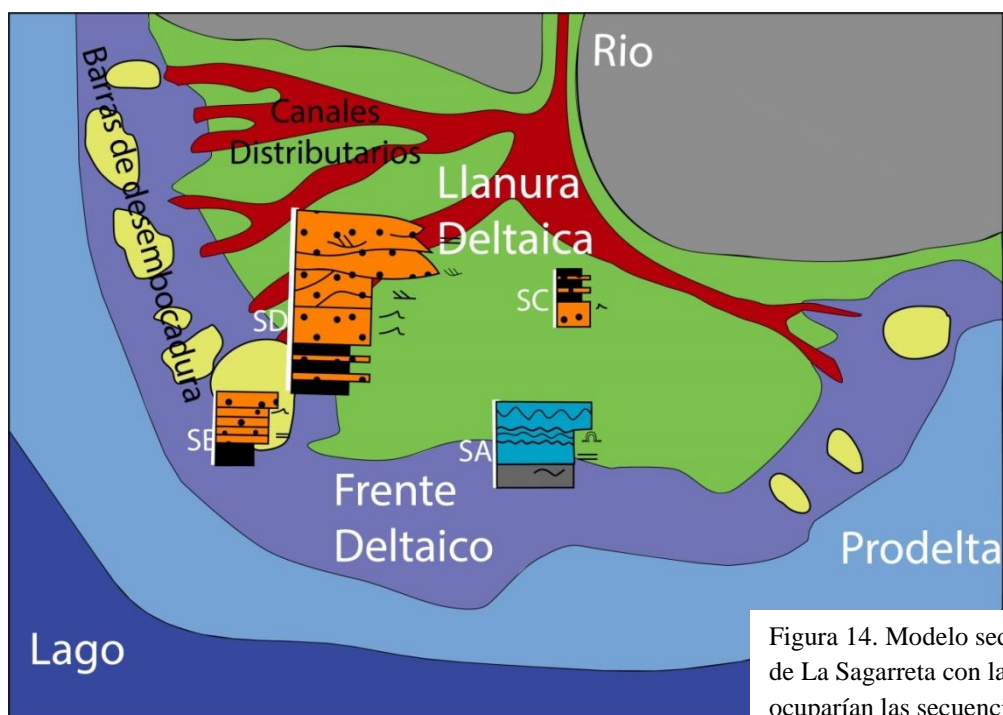


Figura 14. Modelo sedimentario de la serie de La Sagarreta con la posible posición que ocuparían las secuencias definidas. (Modificado de Battacharya (2010))

8. RESULTADOS: ESTUDIO ICNOLÓGICO

a. Estudio de las muestras

Las icnitas de vertebrados se han podido agrupar en cuatro morfotipos generales atendiendo a su morfología que se han podido asociar a cuatro grandes grupos de animales existentes:

- **Icnitas de aves:** son las icnitas más abundantes del yacimiento, siendo un total de 109 icnitas y numerosas impresiones de dedos aisladas. Se caracterizan por tener un pequeño tamaño (no superando los 5 cm de longitud) y presentar tres dedos finos hacia la parte anterior de la icnita y en ocasiones un cuarto dedo en dirección posterior conocido como hallux. Se componen tanto de icnitas reales como de contramoldes, además de presentar una gran variabilidad en su estado de conservación. Su similitud con las huellas actuales de aves nos han llevado a concluir que pertenecen a dicho grupo.
- **Icnitas de perisodáctilos:** son las segundas icnitas más abundantes del yacimiento, siendo 6 icnitas en total, reconociéndose tres icnitas verdaderas (LS-1.1, LS-17.1, LS-46.1) y tres contramoldes (LS-36.1, LS-43.1, LS-45-1). Estas icnitas presentan un mayor tamaño y anchura que las icnitas de aves, pero al igual que estas poseen tres dedos en su parte frontal aunque más anchos que estas. Se conservan tanto huellas verdaderas como contramoldes. De los tres dedos el central presenta mayores dimensiones además de suponer un menor porcentaje de la longitud total de la icnita de lo que ocurre en las aves. El hecho de poseer un número impar de dedos y su morfología nos permite asociarlos como pertenecientes al orden perissodactyla (Vialov, 1966), como posibles productores.
- **Icnitas de artiodáctilos:** son solamente 5 icnitas en total, tres contramoldes (LS-37.1, LS-42.1, LS-44.1) y dos icnitas verdaderas (LS-5.1, LS-42.1). Se componen únicamente de la impresión de dos dedos con formas elongadas similares a las presentadas por los miembros del orden artiodactyla (Vialov, 1966). En ningún caso queda rastro de más dedos, aunque esto puede deberse a la ausencia de dedos laterales o la falta de la preservación de sus impresiones en las icnitas conservadas. Se consideran como icnitas de gran tamaño a aquellas que superen los 5 cm y aquellas con menor tamaño se consideran como icnitas pequeñas.
- **Icnitas de mamíferos carnívoros:** las más escasas del yacimiento encontrándose en un único punto de recogida del yacimiento y solamente se han observado 2 icnitas distintas (LS-22.1; LS-47.1). A diferencia de las icnitas anteriores estas presentan la impresión de 4 dedos en las que han quedado marcado las almohadillas plantares y las garras, esto nos permite asociarlo a algún mamífero carnívoro.

Antes de continuar con el resto del trabajo hay que centrarse en el caso de las icnitas de artiodáctilos. Como se ha comentado se observan dos tipos diferentes de icnitas tanto por las diferencias en el tamaño como por pequeñas diferencias morfológicas, algo común en las icnitas de artiodáctilos por las grandes semejanzas por la gran similitud en la morfología de sus autópodos (Murie, 1974; Costeur et al., 2009). Estas similitudes pueden deberse a que se traten de impresiones de manos y pies (cuya principal diferencia es el tamaño), sin embargo la falta de un rastro en que se encuentren asociadas ambas morfologías impide llegar a una conclusión satisfactoria. Por ello se va a considerar que en el yacimiento se encuentran dos morfotipos distintos denominados provisionalmente como icnitas de artiodáctilo grande (con dos representantes LS-37.1 y LS-42.1) e icnitas de artiodáctilo pequeño (el resto de icnitas de artiodáctilo).

b. Icnotafonomía

A continuación se pasará a exponer los resultados de la clasificación de las icnitas según su preservación: la mayoría de icnitas presentan una preservación pobre siendo 44 de 124 icnitas en total (35% del total aproximadamente), seguido por las icnitas con mala conservación suponiendo 29 del total (23%). Como se ha comentado las icnitas de conservación perfecta y buena son las que más información nos proporcionan sobre los icnotaxones del yacimiento también son las más escasas habiendo 11 icnitas de preservación perfecta (9%) y 21 con una preservación buena (17%). El resto de estructuras recogidas en este estudio (*ripples*, gotas de lluvia, otras estructuras sedimentarias y trazas de invertebrados) suponen el número restante de lajas recogidas, 19 estructuras un 15% del total.

Las icnitas de aves son las más abundantes del yacimiento y se caracterizan por poseer un pequeño tamaño, aunque en muchas ocasiones se encuentran incompletas faltándole alguno de sus dedos o estos se encuentran fracturados e incompletos. A la hora de definir los morfotipos hay que tener en cuenta que uno de los factores determinantes va a ser la presencia/ ausencia de un cuarto dedo situado de forma antagónica a los tres dedos frontales, siendo este dedo conocido como hallux. Así en primer lugar se dividirán las icnitas en aquellas sin hallux y aquellas que sí que presenten este dedo. Pero hay que tener en cuenta que si bien el hallux es clave en la identificación de morfotipos e icnotaxones las condiciones de formación de la icnita y su conservación van a alterar fuertemente su conservación, por ello en los casos de icnitas con una mala conservación no se podrán asegurar si pertenecen a icnoespecies sin hallux o con hallux pero este no se ha conservado (Sarjeant y Reynolds, 2001; Marchetti *et al.*, 2019).

c. Sistemática paleoicnológica

ICNITAS DE PERISSODACTYLA

ICNOGÉNERO: *Plagiolophustipus* Santamaría et al.; 1989-1990

Diagnosis: Icnita tridáctila con el dígito central mucho más ancho y largo que los laterales, los cuales son ligeramente asimétricos. La longitud total de la icnita varía entre 5 y 6 cm.

ICNOESPECIE: *Plagiolophustipus montfalcoensis* (Santamaría et al., 1989-1990)

Diagnosis: Igual que el icnogénero.

Plagiolophustipus montfalcoensis

Material: LS-1.1 (Fig. 15.A), LS-17.1 y LS-46.1, LS-43.1 (Fig. 15.D), LS-45.1 y LS-36.1

DESCRIPCIÓN

Se tratan de icnitas tridáctilas con geometría subelípticas y dimensiones grandes con longitudes entre 6 y 10 cm y anchuras totales entre 6 y 8,5 cm. Los tres dedos presentan una clara diferencia en sus dimensiones y morfología entre el dedo central (III) y los dedos II y IV. El dedo central posee una mayor longitud y anchura que los dedos laterales así como una morfología más redondeada que ellos, que poseen contornos sub-triangulares en sus extremos distales. Los dedos laterales presentan morfologías muy similares aunque uno de los dedos laterales posee dimensiones ligeramente superiores. En su parte posterior las icnitas poseen un talón amplio y redondeado con anchuras similares a las presentadas por el dedo central y la sección central de la icnita. Además, exceptuando las pequeñas discrepancias entre los dedos II y IV, las icnitas poseen una gran simetría bilateral.

Cabe destacar la presencia de dos morfotipos distintos, los cuales si bien poseen las mismas dimensiones y morfología difieren en los ángulos interdigitales existentes entre el dedo central y los dedos laterales. El primero de ellos presenta los dedos laterales más abiertos generando que los ángulos interdigitales presenten valores entre los 30° y 45° (Fig. 15.C), el segundo modelo posee los tres dedos paralelos/sub-paralelos por lo que sus ángulos interdigitales son mucho menores (Fig. 15.F).

DISCUSIÓN

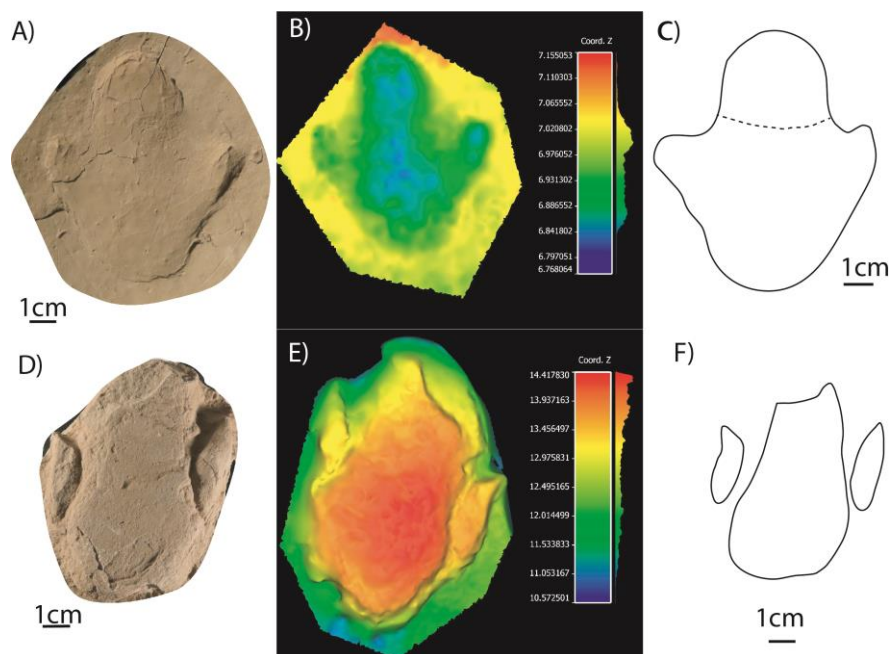
En primer lugar el número impar de dedos que presentan las icnitas nos permiten asociarlas al orden perissodactyla, el cual alberga a un gran número de icnogéneros e icnotaxones distintos, los cuales se encuentran presentes durante todo el Cenozoico. Dentro de este grupo se incluyen numerosos icnogéneros tales como *Plagiolophustipus* (Santamaría et al. 1989-1990), *Palaeotheriipus* (Ellenberger, 1980), *Rhinoceripeda* (Vialov, 1966), *Apoxyus* (Sarjeant y Langston, 1994)...Dentro de estos icnogéneros por sus dimensiones y morfologías las icnitas del yacimiento se asemejan al icnogénero *Plagiolophustipus* el cual fue definido por Santamaría et al. (1989-1990) en las cercanías de Agramunt (Lleida, España). Icnitas del mismo icnogénero han sido

identificadas en la localidad navarra de Mues (España) en yacimientos del Oligoceno inferior (Murelaga et al., 2000) con edades muy similares a la posible edad del yacimiento de La Sagarreta. Sin embargo, las icnitas de La Sagarreta se diferencian de estas últimas al presentar un dedo central más redondeado que las asemeja más al icnotaxón tipo definido por Santamaría et al. (1989-1990) para este icnogénero: *Plagiolophustipus montfalcoensis*.

Sin embargo, este icnotaxón no es el único con características similares para las icnitas de La Sagarreta. En materiales del Eoceno superior francés Ellenberger definió en 1980 el icnogénero *Palaeotheriipus* el cual posee una única icnoespecie *Palaeotheriipus similimediis*, atendiendo a la descripción original de Ellenberger la morfología de la parte anterior de la icnita es muy similar a lo observado en LS-1.1, LS-46.1 y LS-17.1. Sin embargo, en el holotipo de *Palaeotheriipus* la morfología de la parte posterior es muy distinta al no existir impresión de ningún “talón” redondeado como se observa en los materiales estudiados. Sin embargo en trabajos posteriores (Ataabadi y Khazaei, 2004) se han llegado a identificar icnoespecies pertenecientes al mismo icnogénero con morfologías posteriores similares a las presentadas en el caso de La Sagarreta. En el mismo trabajo que Ellenberger definió a *Palaeotheriipus* también definió al icnogénero *Lohiopus* (1980), el cual presenta una morfología muy similar a *Palaeotheriipus* pero posee dedos más finos y con un ángulo interdigital mayor.

Al final si bien se ha podido reconocer las similitudes existentes entre las icnitas de La Sagarreta con los icnogéneros *Palaeotheriipus* y *Lohiopus*, se ha acabado concluyendo como poco probable su asociación ha dicho icnogéneros. Los dedos estrechos y ángulos interdigitales con una gran amplitud descrita para *Lohiopus* no coinciden con los dedos relativamente anchos y los ángulos interdigitales estrechos presentes en las icnitas estudiadas. Mientras tanto si bien la morfología de los dedos de las huellas coincide con las presentadas por *Palaeotheriipus*, los dedos laterales asimétricos junto con una parte posterior con una geometría más alargada y menos esférica de las identificadas por Ellenberger (1980) y Ataabadi y Khazaei (2004) nos lleva también a rechazar dicha hipótesis. Por ello se ha decidido finalmente que por las similitudes en su morfología y dimensiones las icnitas de La Sagarreta pertenecen al icnogénero *Plagiolophustipus*, y más concretamente al icnotaxón *Plagiolophustipus montfalcoensis*.

Figura 15. Fotografías, mapas de colores y dibujos de las icnitas de *Plagiolophustipus montfalcoensis* halladas en el yacimiento. A) Fotografía de la icnita LS-1.1. B) Mapa de colores del modelo 3D de la icnita LS-1.1, realizados mediante el programa Cloudcompare (<https://www.danielgm.net/cc/>). C) Dibujo de la icnita LS-1.1. D) Fotografía de la icnita LS-43.1. E) Mapa de color del modelo 3D de la icnita LS-43.1, se observa que presentan un relieve positivo (colores rojos). F) Dibujo de la icnita LS-43.1, se distingue una menor apertura de los dedos II y IV respecto a lo observado en la icnita LS-1. Escala grafica=1cm.



ICNITAS DE ARTIODACTYLA

ICNITAS DE ARTIODACTYLA GRANDES

ICNOGÉNERO: *Megapecoripeda* Kordos, 1983

Diagnosis: Marcas de dos dedos. La zona interna de los dedos es generalmente más pequeña que la zona externa y se encuentran orientados hacia el interior. Cada dedo presenta un ligero ensanchamiento anterior y divergen del eje central entre 10° y 20° (Kordos, 1985).

ICNOESPECIE: *Megapecoripeda velox* (Costeur *et al.*, 2009)

Diagnosis: se componen únicamente de la impresión de dos dedos que normalmente son más largos que anchos. Presentan una gran variabilidad en sus formas y dimensiones pero sus valores medios son 84 mm de longitud (entre 56 y 130 mm) y 74 mm de anchura (entre 62 y 95mm) para las impresiones de los pies. Manos no medidas.

Megapecoripeda velox

Material: LS-37.1 (Fig. 16.A) y LS-42.1.

DESCRIPCIÓN

Estas icnitas se caracterizan por componerse únicamente de la impresión de dos dedos (los dedos centrales III y IV) separados entre sí. Los dedos poseen una morfología ovalada con contornos redondeados en su parte anterior y posterior. En ningún caso se han conservado impresiones de los dedos laterales. Las icnitas poseen dimensiones grandes (7 y 8 cm de longitud y 7 cm de anchura en ambas) en las cuales se observan entre la longitud y anchura con una dominancia de la primera, suponiendo

la anchura en torno a 40-50%. Se observa que el dedo III se encuentra más adelantado que el dedo IV (Fig. 16.C).

DISCUSIÓN

Dentro de las icnitas asociadas a artiodáctilos, pertenecientes al icnoorden *Artiodactipedia* definido por Vialov (1966), se reconoce una gran diversidad de icnotaxones. Entre ellas se reconocen icnogéneros como *Anoplotherium* y *Diplartipus* definidos por Ellenberger (1980) para el Eoceno francés; *Pecoripeda* definida originalmente por Vialov en 1965 y cuya diagnosis fue posteriormente enmendada por Sarjeant y Langston (1994); *Megapecoripeda* (Kordos, 1985) es muy similar a la anterior solo que de un mayor tamaño (Costeur et al., 2009); *Bifidipes* fue definido originalmente por Demathieu et al. (1984) y cuya diagnosis fue enmendada por Fornos et al. (2002); *Entelodontipus* definido por Casanovas-Cladellas y Santafe-Llopis (1982).

El hecho de que las icnitas estudiadas presenten las impresiones de los dedos sin una unión entre ellas permite descartar su pertenencia a los icnogéneros *Anoplotherium* y *Diplartipus* los cuales atendiendo a su descripción original se caracterizan por poseer la impresión de dos dedos con una unión entre ellos. Su morfología con dos dedos individualizados les hace asemejarse más con el resto de icnogéneros indicados anteriormente. *Pecoripeda* se caracteriza por poseer dos dedos tanto en manos como en pies que en ocasiones se encuentran en contacto pero normalmente separadas, además ambos dedos son idénticos y presentan una anchura máxima menor al 35% de la longitud (Sarjeant y Langston, 1994; Costeur et al., 2009). *Bifidipes* según la nueva diagnosis (Fornos et al., 2002) conserva una forma muy similar al anterior icnogénero siendo icnitas didáctilas con marcas de pezuñas subtriangulares en su parte anterior y con una clara separación y divergencia entre las dos poseyendo una mayor longitud que anchura. *Entelodontipus* también se compone de icnitas didáctilas compuestas de dos impresiones con la misma longitud, estas son subparalelas entre si y poseen un contorno subelíptico con una concavidad en la parte medial además de una mayor anchura en la parte posterior que la anterior además de poseer un pequeño tamaño (debajo de 5 cm).

La morfología redondeada de la parte anterior junto con una anchura similar de la parte anterior y posterior y al presentar dedos subparalelos en lugar de divergentes nos permite descartar el icnogénero *Bifidipes* como posible icnotaxón atendiendo a la diagnosis enmendada planteada por Fornos et al. (2002). Su gran tamaño junto con la existencia de diferencias significativas en su morfología y la presentada por las icnitas del yacimiento permite eliminar a *Entelodontipus* como posible asociación, ya que las icnitas de La Sagarreta presentan anchuras muy similares en la parte anterior y posterior. La morfología de las icnitas es muy similar a las observada en el caso de *Pecoripeda*, sin embargo presentan un tamaño mayor de lo normal para dicho icnogénero por ello se ha decidió asociarlas en lugar de eso al icnogénero

Megapecoripeda el cual se relaciona con icnitas de artiodáctilos de gran tamaño. Se ha decidido asociar las icnitas de la Sagarreta a este icnogénero *Megapecoripeda* debido a la similitud en su tamaño con las observadas en las icnitas asociadas a los icnotaxones *Megapecoripeda miocaenica* y *Megapecoripeda velox* (Costeur et al., 2009)

Su gran tamaño además de componerse únicamente de la impresión de dos dedos junto con el hecho de presentar una morfología ovalada de los mismos y poseer un dedo III adelantado respecto al dedo IV lo asemeja a *Megapecoripeda miocaenica* (Kordos, 1985). Sin embargo dicha identificación podría presentar problemas debido a que es un icnotaxón existente en el Mioceno además de poseer un mayor tamaño que las icnitas de la Sagarreta y observarse una unión entre los dedos (aunque la falta de esta unión en el material de La Sagarreta puede deberse a la conservación). Sin embargo Costeur et al. (2009) establece el icnotaxón *Megapecoripeda velox* como una reclasificación de *Bifidipes velox* (Demathieu et al., 1984) al considerar que al tratarse de icnitas de un gran artiodáctilo el icnogénero *Megapecoripeda* es más adecuado. Las icnitas estudiadas por Costeur et al. (2009) presentan morfologías similares a las observadas en La Sagarreta, sin embargo algunas de las icnitas observadas en dicho trabajo presentan una unión entre ambos dedos. Pero pese a este hecho los autores reconocen la existencia de una gran variabilidad en dichas icnitas por motivos relacionados con las condiciones del sedimento durante su formación.

También cabe destacar que la asociación de este morfotipo a la icnoespecie *M. velox* apoya la hipótesis de que en La Sagarreta encontremos dos icnotaxones distintos. Esto debido a que en el trabajo de Costeur y colaboradores se reconoce que las impresiones de las manos del icnotaxón *M. velox* las cuales son mayores que las impresiones de los pies y ambos casos son mucho mayores que lo observado para el segundo morfotipo del yacimiento. Por ello la asociación del primer morfotipo a *M. velox* apoya la hipótesis de que ambos morfotipos pertenecen a icnotaxones diferentes.

ICNITAS DE ARTIODACTYLA PEQUEÑAS

ICNOGÉNERO: *Entelodontipus* Casanovas y Santafé, 1982

Diagnosis: Icnita didáctica formada por dos impresiones de igual longitud, subparalelas, de contorno subelíptico, más anchas en la zona distal que en la cefálica lo que da lugar a una ligera divergencia. Eje mayor de la huella orientado antero-posteriormente.

ICNOESPECIE: *Entelodontipus viai* Casanovas y Santafé, 1982

Diagnosis: es la misma que el icnogénero.

Entelodontipus cf. viai

Material: LS-44.1 (Fig. 16.D) , LS-44.2 y LS-5.1 (Fig. 16.G)

DESCRIPCIÓN

Únicamente se componen de las impresiones de los dedos centrales (III-IV) los cuales presentan morfologías ovaladas y elongadas con la parte anterior sub-triangular y una morfología cóncava en la sección interna de la impresión de los dedos (Fig. 16.D) . Poseen pequeño tamaño: entre 2,5 y 3,4 cm de longitud y entre 2,5 y 3 cm de anchura y se encuentran orientados en dirección antero-posterior. La amplitud de los dedos va desde los 40° en el caso de LS-5.1 hasta una dirección subparalela de los dedos en el caso de LS-44.1 y LS-44.2 (Fig. 13.F, Fig. 13.I)

DISCUSIÓN

Se reconoce la existencia de diferencias entre LS-5.1 respecto a LS-44.1 y LS-44.2, sin embargo esta diferencia puede deberse al estado de conservación de las icnitas ya que LS-5.1 a diferencia del resto se encuentra fracturado o por diferencias en las condiciones de formación de las mismas.

Como se ha visto anteriormente dentro de las icnitas de artiodáctilos se recogen un gran número de icnotaxones distintos. Y al igual que en el caso anterior se van a poder descartar alguno de ellos como el icnotaxón correspondiente a estas icnitas. En primer lugar al presentar la impresión de dos dedos sin una unión entre ellos se puede determinar que no pertenecen a los icnogéneros *Anoplotherium* y *Diplartioopus* y su pequeño tamaño también nos permite eliminar al icnogénero *Megapecoripeda*. Sin embargo a la hora de determinar su posible pertenencia a *Pecoripeda*, *Entelodontipus* o *Bifipidipes* resulta más compleja por las grandes semejanzas morfológicas entre ellas. Sin embargo en comparación con las icnitas asociadas a *Bifipidipes* definidas para el Oligoceno de Saignon (Francia) por Demathieu et al., (1984), las icnitas del yacimiento presentan longitudes mucho menores y bajo la nueva diagnosis establecida por Fornos et al., (2002) se establece que los dedos de *Bifipidipes* presentan un carácter divergente a diferencia del carácter subparalelo de las icnitas del yacimiento. Aunque otras icnoespecies del mismo icnogénero como *B. aeolis* (Fornos et al., 2002) sí que presenta dimensiones y morfologías muy similares con las huellas estudiadas. Y frente a las icnitas de *Pecoripeda* las cuales presentan una parte posterior mucho más ancha que la anterior además presenta una morfología afilada en esta última, las icnitas estudiadas presentan una sección más ancha en la parte central (aunque una ligera concavidad en la parte medial). Si bien no siempre las icnitas de *Pecoripeda* presentan una unión entre sus dos dedos que están ligeramente abiertos. La diferencia con las de La Sagarreta es presentar dedos paralelos completamente separados entre sí. Estos las asemejan a las icnitas del icnogénero *Entelodontipus*.

Las pequeñas dimensiones, la morfología elíptica de las icnitas pero terminando con una morfología subtriangular en su parte anterior, la morfología cóncava en la parte interna de las impresiones de los dedos junto con la clara separación entre ambos dedos nos ha llevado a asociarlas con el icnogénero *Entelodontipus* y su única especie *Entelodontipus viai* (Casanovas-Cladellas y Santafe-Llopis, 1982). Sin embargo sus dimensiones ligeramente menores hace que se asemejen más a la propuesta de Astiba *et al.* 2007 de *Entelodontipus cf. viai* que se caracteriza por poseer un menor tamaño.

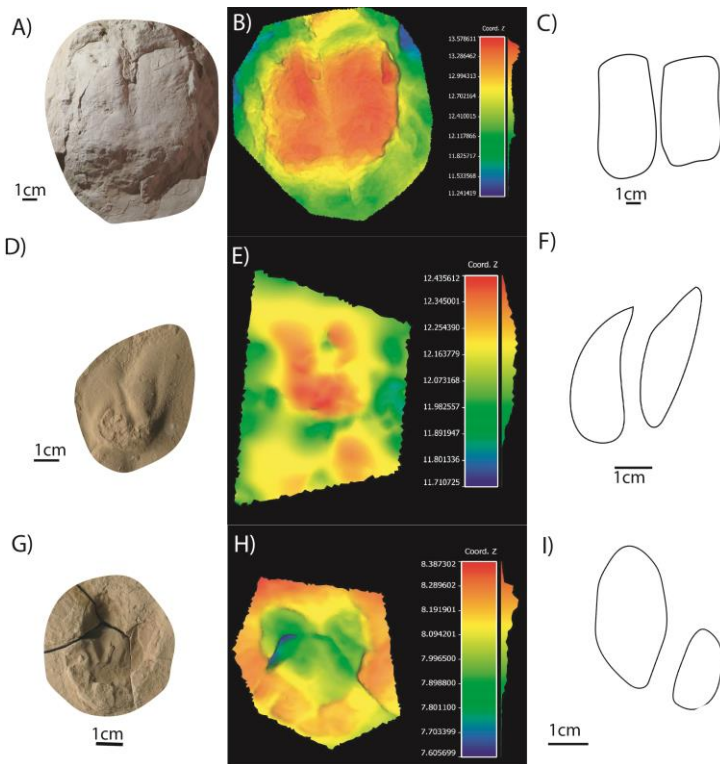


Figura 16. Fotografías, mapas de colores y dibujos de las icnitas de artiodáctilo halladas en el yacimiento. LS-37.1 asociadas a *Megapecoripeda velox* y LS-44.1 y LS-5.1 asociados a *Entelodontipus cf. viai*. A) Fotografía de la icnita LS-37.1. B) Mapa de color de la icnita LS-37.1, se observa que es un contramolde al poseer un relieve positivo (colores rojizos). C) Dibujo de la icnita LS-37.1. D) Fotografía de la icnita LS-44.1. E) Mapa de color de la icnita LS-44.1, presentando un relieve positivo. F) Dibujo de las icnitas LS-44.1. G) Fotografía de la icnita LS-5.1, se observa la fracturación que afecta a la icnita. H) Mapa de color de la icnita LS-5.1. I) Dibujo de la icnita LS-5.1

ICNITAS DE CARNIVORA

ICNOGÉNERO: *Canipeda* (Melchor et al. 2019)

Diagnosis: Icnitas digitígradas a semidigitígradas tetradáctilas y paraxónicas con mayor longitud que anchura que forman rastros cuadrúpedos y homopodiales. Presentan almohadillas digitales elípticas con tamaños similares y garras que forman un arco en la zona central estando separadas de una almohadilla metapodial grande. Esta es redondeada a triangular o trapezoidal. Se distingue de *Felipeda* en que estas poseen icnitas más anchas que largas, carecen de marcas de garras y las almohadillas digitales tienden a ser subcirculares.

ICNOESPECIE:

Canipeda isp.

Material: LS-22.1 (Fig. 17.A) y LS-47.1 (Fig. 17.D)

DESCRIPCIÓN

Estas icnitas poseen impresiones de cuatro almohadillas digitales, la almohadilla metapodial y las garras de cada uno de los dedos. En los dedos se conserva la morfología de las almohadillas, ovaladas orientadas antero-posteriormente. Las impresiones de los dedos poseen entre 3 y 2 cm de longitud aproximadamente además de una morfología ovalada y una orientación de las mismas antero-posterior. Los dedos centrales (III y IV) son de mayor dimensión que los laterales (II y V). Los dedos centrales se disponen subparalelamente entre ellos en dirección antero-posterior además de encontrarse desplazados hacia la sección anterior de la icnita, en cambio los dedos laterales se encuentran más atrasados y ligeramente más abiertos con ángulos interdigitales inferiores a los 20° respecto a los dedos centrales. Separados de las impresiones de las almohadillas se observan las marcas de las garras las cuales presentan morfologías ovaladas aunque en ocasiones no están bien marcadas y se encuentran ligeramente deformadas. Si bien en general ambas icnitas son muy similares entre si presentan una diferencia significativa en la geometría de la almohadilla metapodial, LS-22.1 presenta una geometría subrectangular (Fig. 17.C) y en cambio LS-47.1 posee una morfología subovalada (Fig. 17.E).

DISCUSIÓN

Las icnitas de mamíferos asociadas los carnívoros en el Paleógeno son escasas y generalmente pentadáctilas (Sarjeant y Langston, 1994; Costeur et al., 2009; Garcés y Díaz-Martínez, 2010), aunque existen icnogéneros con cuatro dedos. Cabe señalar la existencia de un número muy superior de icnitas de mamíferos carnívoros asociados al orden Creodonta, que presentan una gran disparidad en sus morfologías llegando a asemejarse a icnitas del orden Carnivora y por ello dificultando la identificación de icnitas pentadáctilas de mamíferos carnívoros para estas edades (Garcés y Díaz-Martínez, 2010). También existe el problema de que en muchos icnotaxones definidos para ambos ordenes las manos son pentadáctilas mientras que los pies son tetradáctilos. Por este hecho se va a necesitar establecer si las icnitas del yacimiento pertenecen a impresiones de las manos o los pies. La falta de alguna prueba diagnóstica clara o la presencia de un rastro con icnitas tanto de manos como de pies impide asociar las icnitas encontradas a unas u otras hasta el descubrimiento de nuevo material.

Dentro de las icnitas asociadas a creodontos se reconocen tres grandes icnogéneros *Creodontipus* (Santamaria, López y Casanovas Cladellas, 1990), *Tetrastoibopus* (Sarjeant y Langston, 1994) y *Quiritipes* (Sarjeant, Reynolds y Kissell-Jones, 2002), los cuales presentan características muy similares a las icnitas observadas en el yacimiento. Sin embargo tras una comparación más detallada con las icnitas estudiadas ninguno de los icnogéneros anteriormente mencionados coinciden con ellas. *Creodontipus* se caracteriza por poseer huellas más anchas que largas frente a las icnitas más largas que anchas estudiadas en este trabajo, *Tetrastoibopus* presentan dedos

laterales (II y V) significativamente más grandes que los dedos centrales (III y IV) cuando en las icnitas de la Sagarreta los dedos centrales son más grandes que los laterales y *Quiritipes* posee dedos que no poseen marcas de garras (aunque este hecho se encuentra en dudas; Melchor et al., (2019)) que además se componen de dos o tres almohadillas a diferencia de lo observado en la Sagarreta en la que se distinguen dedos con una única almohadilla y marcas de garras. Por ello se ha llegado a la conclusión de que se tratan de icnitas de carnívoros y no creodontos.

Las icnitas de carnívoros digitígrados normalmente se agrupan en tres grandes icnogéneros *Bestiopeda* (Vialov, 1965), *Felipeda* (Panin y Avram, 1962) y *Canipeda* (Panin y Avram, 1962) los cuales se corresponden a icnitas de mamífero carnívoro genérico, de felino y de canido respectivamente (Melchor et al., 2019). *Bestiopeda* agrupaba icnitas con una gran diversidad de morfologías pero que se han podido asociar con carnívoros en un origen incluyendo tanto icnitas pentadáctilas como icnitas tetradáctilas. Posteriormente las primeras se separaron en otro icnogénero *Carnivoripeda* (Kordos, 1985) y autores posteriores han acabado relacionando este icnogénero con icnitas similares a felinos restringiéndolas únicamente a ellas y convirtiendo a *Felipeda* en un subicnogénero dentro de *Bestiopeda* (Sarjeant y Langston, 1994). Respecto a *Canipeda*, estas se consideran como icnitas similares a huellas de canidos y si bien se ha propuesto incluirlas dentro de *Chelipus* (Sarjeant y Langston, 1994) algunos autores los consideran sinónimos (Sarjeant, Reynolds y Kissell-Jones, 2002).

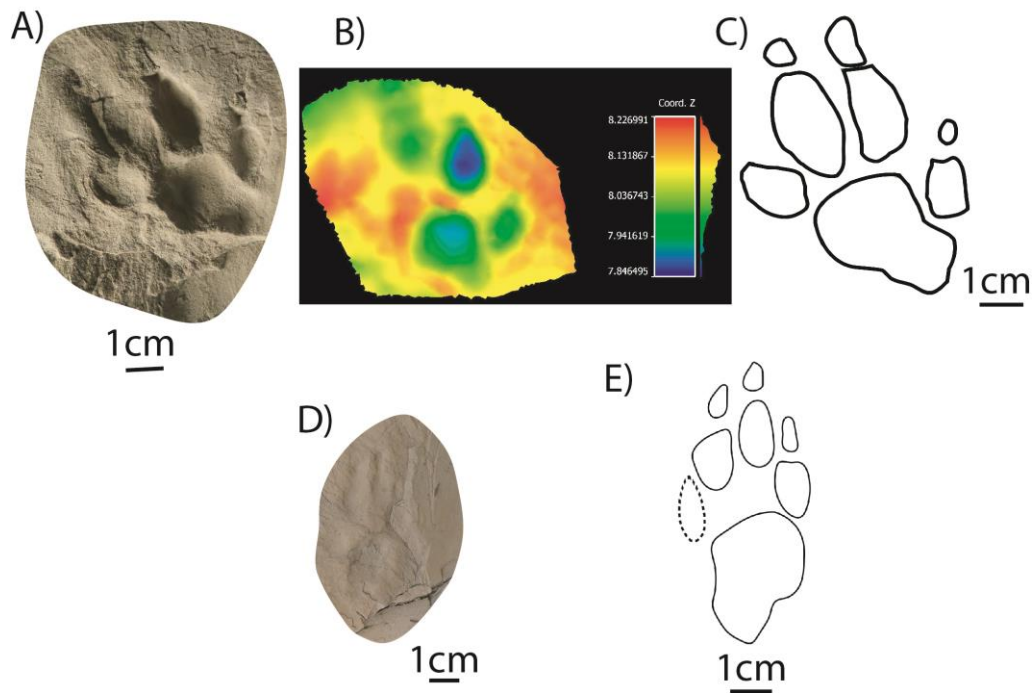
Antes de proceder hay que determinar si nos encontramos ante icnitas pertenecientes a *Felipeda* o a *Canipeda*. Las diferencias entre ellos son tres: *Felipeda* presenta una mayor anchura que longitud frente a *Canipeda* donde domina la longitud, comúnmente *Canipeda* posee marcas de garras que son raras en el *Felipeda* y las almohadillas digitales en *Canipeda* son elongadas frente al caso de *Felipeda* con almohadillas subcirculares. En el caso de La Sagarreta las icnitas poseen almohadillas elongadas, marcas de garras y una mayor longitud que anchura, asemejándolas por ello a *Canipeda*.

Dentro de *Canipeda* se reconocen cinco icnotaxones distintos: *C. longigriffa* (Panin y Avram, 1967): *C. gracilis* (Vialov, 1965): *C. therates* (Remeika, 1999), un nuevo posible icnotaxón clasificado únicamente como *Canipeda isp.* por Sarjeant, Reynolds y Kissell-Jones (2002) y *C. sanguinolenta* (Vialov, 1966). Dentro de estos icnogéneros es a *C. gracilis* al icnotaxón que más se asemejan las icnitas estudiadas, *C. longigriffa* y *C. sanguinolenta* presentan almohadillas metapodiales triangulares y normalmente bilobuladas frente a las almohadillas son subrectangulares/subelípticas en lugar de triangulares y bilobuladas. Lo mismo se aplica a *C. therates* que también posee almohadilla metapodial triangular y lobulada además de poseer dedos centrales iguales o ligeramente menores que los dedos laterales frente a las icnitas con dedos centrales significativamente mayores que los laterales observados en el yacimiento. *Canipeda*

gracilis presenta un pequeño tamaño (entre 3,5 y 6,5 cm, aunque normalmente más cercanos a los 3,5 cm) con una relación con la anchura cercana a 1 y almohadillas metapodiales triangulares en las manos y redondeadas en los pies además los ángulos entre los dedos centrales y laterales muy abiertos (entre 30 y 70°). Si bien en parte sus características coinciden con las observadas en La Sagarreta estas poseen una relación longitud/anchura mayor (llegando a superar un ratio de 2 en el caso de LS-47.1) y sus almohadillas metapodiales si bien son subelípticas en el caso de LS-47.1 para LS-22.1 es subrectangular además de poseer dedos laterales subparalelos a los centrales.

Sin embargo por la morfología de las almohadillas metapodiales, los dedos en dirección subparalela y que se traten de icnitas tetradáctilas las asemejan a las icnitas descritas por Garcés y Díaz-Martínez (2010) en materiales del Eoceno superior de la Cuenca de Jaca clasificadas como cf. *Canipeda*. En este estudio los autores relacionan con dudas con dicho icnogénero ya que por sus características no coinciden con los icnotaxones previamente definidos para dicho icnogénero, al igual que ocurre en este trabajo. En La Sagarreta seguimos la propuesta de los autores y las denominamos como *Canipeda isp.* a falta de material de estudio.

Figura 17. Fotografías, mapas de colores y dibujos de las icnitas de *Canipeda* cf. *isp.*. A) Fotografía de la icnita LS-22.1. B) Mapa de color de la icnita LS-22., se observa que los dedos II y III están más marcados y que el dedo V está poco marcado. C) Dibujo de la icnita LS-22.1. D) Fotografía de la icnita LS-47.1 la cual se encuentra en la pared del yacimiento. E) Dibujo de la icnita LS-47, el dedo V está marcado con una línea discontinua debido a las dudas de su morfología al encontrarse poco marcado.



ICNITAS DE AVES

MORFOFAMILIA: Gruipedidae (Sarjeant y Reynolds, 2001)

Diagnosis: Icnitas avianas con cuatro dedos, tres de los cuales se encuentran orientados frontalmente (II, III y IV) y el cuarto orientado posteriormente (I) cuyo eje coincide o no con el ángulo del dedo III. Las garras pueden ser distinguibles pero comúnmente no se observan almohadillas digitales ni metatarsales. La membrana interdigital o no está presente o se limita a las partes más proximales de los ángulos interdigitales

Gruipedidae indet.

Material: LS6.1, LS6.2, LS8.1, LS8.3, LS8.4, LS10.2 (Fig. 19. D), LS11.1, LS11.2, LS13.1 (Fig. 18.A), LS13.2 (Fig. 18.A), LS16.8, LS16.9, LS16.10, LS16.12, LS18.3 (Fig. 18.E), LS18.4 (Fig. 18.E), LS18.5 (Fig. 18.E), LS19.1 (Fig. 18.G), LS19.2 (Fig. 18.G), LS30.4, LS33.1, LS39.1

DESCRIPCIÓN

Todas las icnitas con hallux presentan características similares con la excepción de las icnitas LS-10.2 y LS-8.3 las cuales presentan ligeras diferencias con el resto de icnitas (Fig. 19.F).

De forma general todas las icnitas presentan un pequeño tamaño con longitudes totales inferiores a los 5 cm y normalmente no llegando a superar los 3,5 cm (con la excepción de LS-10.2 y LS-8.3 que presentan dimensiones ligeramente superiores) y poseyendo valores de la anchura cercana a los valores de la longitud (en ocasiones siendo ligeramente superior o inferior a esta). Todos ellos poseen tres dedos orientados hacia anterior (II, III y IV) y un cuarto dedo (I) en dirección posteromedial. Los dedos frontales poseen dimensiones muy similares entre si aunque en ocasiones el dedo central (III) posee dimensiones ligeramente superiores a los dedos laterales (II y IV), aunque este hecho se observa más claramente en los casos de peor conservación de las icnitas. Entre estos dedos se observa un ángulo interdigital total elevado (superando los 100° normalmente) y los ángulos interdigitales entre los dedos (II^III y III^IV) son simétricos o presentan una ligera asimetría (aunque ocasionalmente dicha asimetría es algo mayor posiblemente por diferencias no relacionadas con la morfología de la icnita sino con su preservación y el modo de desplazamiento del individuo). El hallux (I) en estas icnitas es siempre significativamente menor que los dedos frontales y se encuentran o bien en el mismo eje que el dedo central (III) o ligeramente desviado, hay que recalcar que todas las icnitas presentan el hallux con un ángulo menor respecto al dedo IV con la excepción de las icnitas LS-10.2 y LS-8.3 que presentan un hallux desviado en dirección contraria presentando un menor ángulo con el dedo II (Fig. 19.F).

DISCUSIÓN

La identificación del icnotaxón se basa en las morfofamilias que presenten un hallux: Gruipedidae (Sarjeant y Langston, 1994; Sarjeant y Reynolds, 2001), Anatipedidae (Sarjeant y Langston, 1994) y Ignotornidae (Lockley et al., 2006). Anatipedidae se caracteriza por poseer una unión entre sus dedos mediante una membrana interdigital en la totalidad de su longitud. Y si bien la preservación de este tipo de estructuras y su visibilidad dependen de la conservación de las icnitas, el hecho de estudiar únicamente icnitas con una preservación buena o perfecta y que ninguna de ellas presenta evidencias de dicha membrana nos lleva a concluir que las icnitas de La Sagarreta pertenecen a la morfofamilia gruipedidae. Los principales icnogéneros de la morfofamilia Gruipedidae son: *Gruipeda* (Panin y Avram, 1962), *Ardeipeda* (Panin y Avram, 1962) y *Alaripeda* (Sarjeant y Langston, 2001).

El icnogénero *Gruipeda* se caracteriza por poseer tres dedos frontales grandes y un cuarto dedo en dirección contraria de menor tamaño. Además, sus ángulos interdigitales $II^{\wedge}III$ y $III^{\wedge}IV$ son siempre inferiores a 70° y el dedo I presenta un ángulo menor con el dedo II que respecto al dedo IV, sin coincidir con el dedo III (Sarjeant y Langston, 1994). La mayoría de las icnitas estudiadas poseen alguno de los dos ángulos interdigitales iguales o superiores a 70° y además el dedo I presenta una mayor cercanía con el eje del dedo III y en su mayoría cuando se encuentra ligeramente desviado se acerca al dedo IV poseyendo por lo tanto un valor de $IV^{\wedge}I$ menor que $II^{\wedge}I$. Por ello no se considera que las icnitas del yacimiento pertenezcan a este icnogénero.

Ardeipeda posee características muy similares al icnogénero anterior, sin embargo el dedo I coincide con el eje III y los ángulos interdigitales $I^{\wedge}IV$ y $I^{\wedge}II$ presentan una amplitud similar (Sarjeant y Langston, 1994). Este icnogénero sigue poseyendo ángulos interdigitales que no superan los 70° por lo que otra vez no coincide con lo observado en el yacimiento de La Sagarreta.

Finalmente, *Alaripeda* al igual que los casos anteriores poseen tres dedos frontales y un dedo posterior de menor tamaño en dirección opuesta, este último dedo se sitúa en el mismo eje que el dedo central o ligeramente desviado (no superando los 20°). Los dedos frontales pueden presentarse curvados y se encuentran completamente separados, el dedo central (III) es mayor que los dedos laterales (II y IV) los cuales son similares entre sí (Sarjeant y Langston, 2001). Estas características son muy similares a las observadas en las icnitas del yacimiento, sin embargo las grandes dimensiones observadas en los hallux respecto al resto de dedos.

Como se ha presentado anteriormente las icnitas de La Sagarreta no coinciden de forma completa con las descripciones de los icnogéneros incluidos dentro de Gruipedidae, aunque presentan varias características en común con los distintos icnogéneros existentes. Debido a esto y a falta de poder comparar con los holotipos originales de las icnitas avianas no se ha podido concluir nada más allá de su pertenencia a la morfofamilia Gruipedidae.

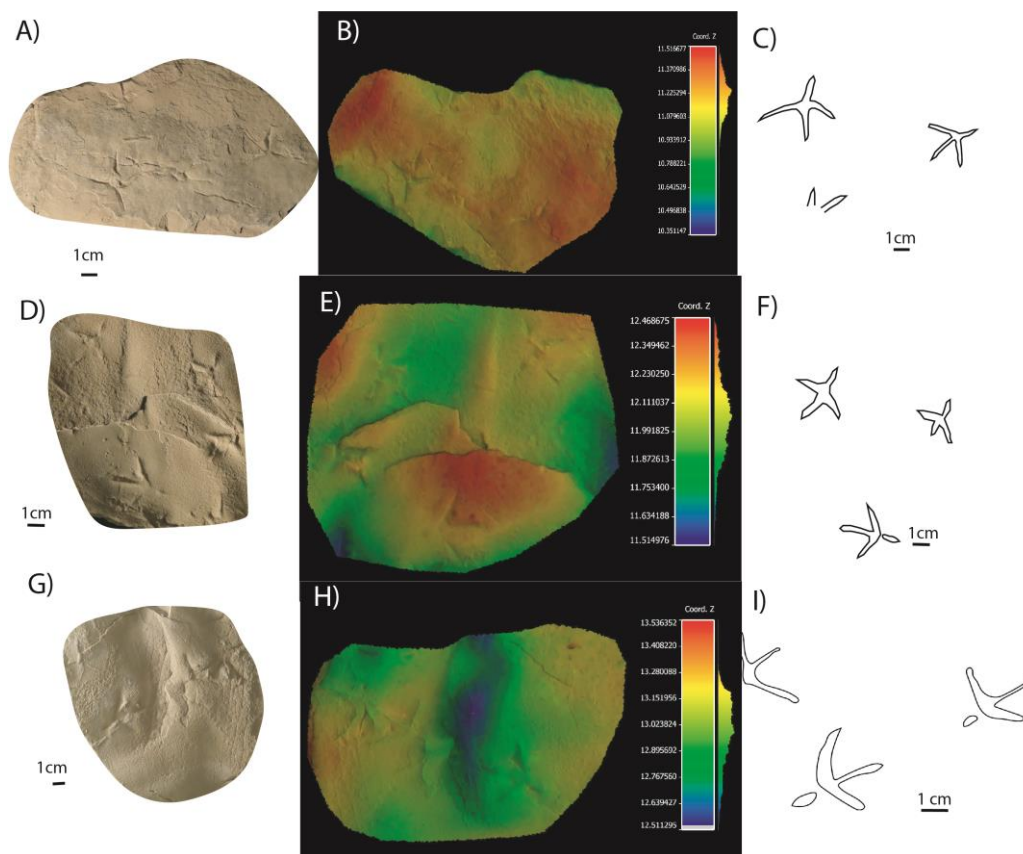


Figura 18. Fotografías, mapas de color y dibujos de las icnitas asociadas a Gruipedidae, en muchas ocasiones se encuentran icnitas sin hallux junto con las icnitas con hallux. A) Fotografía de losa 13 con las icnitas LS-13.1, LS-13.2 y LS-13.3. B) Mapa de color de la losa 13. C) Dibujos de la losa 13. D) Fotografía de la losa 18 con las icnitas LS-18.3, LS-18.4 y LS-18.5. E) Mapa de color de la losa 18. F) Dibujo de la losa 18. G) Fotografía de la losa 19 con las icnitas LS-19.1, LS-19.2 y LS-19.3. H) Mapa de color de la losa 19. I) Dibujo de la losa 19.

MORFOFAMILIA: Avipedidae (Sarjeant y Langston, 1994)

Diagnosis: icnitas avianas con tres dedos todos orientados hacia delante. Los dedos se encuentran unidos o separados proximalmente y no presentan una membrana interdigital o esta solamente se encuentra en la sección más proximal de los ángulos interdigitales.

Avipedidae indet.

Material: LS-4.1 (Fig. 19.A), LS-4.2 (Fig. 19.A), LS-6.3, LS-7.5, LS-8.2, LS-10.1 (Fig. 19.E), LS-12.1, LS-12.2, LS-15.1 (Fig. 16.G), LS-15.2 (Fig. 16.G), LS-15.3 (Fig. 16.G), LS-15.8, LS16.2, LS16.3, LS16.4, LS-16.5, LS-16.7, LS-16.11, LS-18.1, LS-18.2, LS-24.1, LS-24.2, LS-24.3, LS-26.1 (Fig. 19.G), LS-26.2 (Fig. 19.G), LS-26.3 (Fig. 19.G), LS-30.1, LS-30.2, LS-39.2

DESCRIPCIÓN

Todas las icnitas poseen una morfología y dimensiones muy similares entre sí, esto parece indicar que solamente existe un único morfotipo en el yacimiento.

Como se ha comentado todas las icnitas avianas sin hallux poseen un pequeño tamaño, con longitudes totales inferiores o iguales a los 3 cm y una anchura con una gran variabilidad desde icnitas con una anchura ligeramente inferior a la longitud hasta casos en los que la anchura es muy superior a la longitud total. Estas diferencias en la anchura más que responder a diferencias en las dimensiones de sus dedos se deben a diferencias en los ángulos interdigitales de las mismas. Estas icnitas poseen tres dedos orientados hacia la parte anterior en los cuales el dedo central presenta una mayor longitud que los dedos laterales los cuales poseen dimensiones muy similares entre sí, además todos ellos son muy finos al poseer una anchura media en torno a 0,2 cm.

Estas características son comunes para todas las icnitas sin embargo el estudio de los ángulos interdigitales indica grandes diferencias. Así el ángulo de apertura total de las icnitas (II^{IV}) varía desde los 70° hasta los 145°, llegando incluso a los 160° en el caso de icnitas con una peor conservación. Por ello se ha llegado a la conclusión de que dentro de estas icnitas se encuentran dos morfotipos distintos: icnitas con ángulos bajos (II^{IV} menor a 110° y con ángulos interdigitales menores de 60°) e icnitas con ángulos altos (II^{IV} mayor a 110° y ángulos interdigitales mayores de 60°).

El primer morfotipo se compone de las siguientes icnitas: LS-3.1; LS-4.1; LS-6.4; LS-7.3; LS-7.4; LS-15.2; LS-15.3; LS-15.8; LS-16.6; LS-16.12; LS-23.2; LS-24.2; LS-26.1; LS-26.3; LS-30.1; LS-30.2 y LS-30.3 (Fig. 19.C , Fig. 19.F). El resto de icnitas avianas sin hallux pertenecerían al segundo morfotipo (Fig. 19.I).

DISCUSIÓN

Se reconoce la existencia de dos morfotipos distintos (diferenciados por la amplitud de los ángulos interdigitales principalmente) que presentan morfologías y dimensiones muy similares entre sí. El problema surge en que si bien la hipótesis de dos tipos distintos de icnitas en el yacimiento podría explicar esta separación también hay que tener en cuenta que las condiciones del medio y de desplazamiento del individuo durante la formación de la icnita pueden alterar los valores de caracteres como los ángulos interdigitales (Falk et al., 2017; Marchetti et al., 2019). Sin embargo, el hecho de que en una misma losa (y por lo tanto supuestamente bajo condiciones de formación similares) se encuentren ambos tipos de icnitas parece apoyar la validez de la primera hipótesis. Pero para confirmar dicha hipótesis se va a proceder a realizar análisis multivariantes a partir de los datos obtenidos al medir las icnitas (anexo c), por la complejidad existente en el estudio de las icnitas avianas. Dichos análisis muestran que si bien existen dos morfotipos independientes la principal diferencia entre ellos es la amplitud de las huellas, por la gran susceptibilidad de esta característica a la preservación, el sustrato y el modo de pisar del individuo no se van a considerar como

morfotipos independientes sino un único morfotipo con una gran variabilidad intraespecífica (Falk et al., 2017).

Como ha ocurrido en el caso de las icnitas con hallux se han definido un número limitado de morfofamilias de icnitas avianas tridáctilas: Anatipedidae (Sarjeant y Langston, 1994), Charadriipedidae (Sarjeant y Langston, 1994) y Avipedidae (Sarjeant y Langston, 1994). Charadriipedidae al igual que ocurre con Anatipedidae se caracteriza por poseer dedos con una unión entre ellos por una membrana interdigital en la totalidad de la longitud de los dedos, esta membrana no se encuentra en las icnitas de La Sagarreta por lo que no se han asociado a dicha morfofamilia. En el caso de Avipedidae no posee dicha membrana por lo que se consideran los dos morfotipos como pertenecientes a dicha morfofamilia.

Dentro de la morfofamilia Avipedidae hay numerosos icnogéneros, tales como *Avipeda* (Vialov, 1965); *Aviadactyla* (Kordos, 1985); *Ornithotanocia* (Kordos, 1985); *Fuscinapeda* (Sarjeant y Langston, 1994) y *Aquatilavipes* (Currie, 1981). El icnogénero *Avipeda* se caracteriza por poseer icnitas de pequeño a gran tamaño tridáctilas con el dedo III más grande que los laterales y un ángulo total de apertura de los dedos de 95°. Al presentar las icnitas de la Sagarreta valores del ángulo total tanto mayores como menores de 95° se va a considerar que no pueden pertenecer a dicho icnotaxón. En el caso del icnogénero *Aviadactyla*, si bien fue definida por Kordos (1985), Sarjeant y Langston en 2001 realizaron una enmienda de la diagnosis del icnogénero de forma que atendiendo a esta nueva descripción el icnogénero se caracteriza por ser icnitas de tamaño pequeño a moderado con tres dedos estrechos (que llegan a poseer en ocasiones una mayor anchura) y en ocasiones presentan marcas de garras en su extremo. El dedo central además es ligeramente mayor que los laterales y los ángulos interdigitales totales superan los 95°. Al igual que en el caso anterior el icnogénero *Ornithotanocia* también fue definido por Kordos (1985) y posteriormente su descripción fue enmendada por Sarjeant y Langston en 2001. Estas son icnitas con tres dedos de tamaño moderado a grande los cuales presentan un dedo central mucho mayor (superior al 25% de los dedos laterales) con un ángulo interdigital total superior al 95°. Este icnogénero posee una unión proximal de sus dedos ha llevado a considerar que las icnitas de La Sagarreta no pertenecen a este icnogénero. El icnogénero *Fuscinapeda* se caracteriza por ser icnitas tridáctilas con dedos finos a ligeramente anchos con un tamaño de pequeño a grande, el dedo central es mayor que los dedos laterales (en más de un 25%) y presenta un ángulo interdigital total mayor de 95° y normalmente superando los 110°. Si bien todas estas características asemejan a este icnogénero con lo observado en las icnitas de La Sagarreta este icnogénero se caracteriza por presentar normalmente un “talón” muy distintivo (Sarjeant y Langston, 1994). Al igual que con icnogéneros anteriores *Aquatilavipes* fue enmendado por McCrea y Sarjeant (2001), este icnogénero se trata de icnitas de pequeño a gran tamaño tridáctilas sin membrana interdigital o con membranas proximales poco desarrolladas. Los dedos de *Aquatilavipes* son muy finos suponiendo su anchura menos de un 15% de la longitud total de la icnita, el dedo III mayor que los

dedos II y IV en un 10% además de presentar un ángulo interdigital grande (mayor a 95° y normalmente mayor a 120°)

Las icnitas estudiadas en La Sagarreta presentan grandes semejanzas con *Fuscinapeda*, *Aviadactyla* y *Aquatilavipes*. De los grupos anteriormente mencionados es su asociación a *Aquatilavipes* la que presenta mayores problemas, esto debido a que si bien las icnitas de este icnogénero son muy similares a las observadas en el yacimiento, presentan impresiones de almohadillas digitales según McCrea y Sarjeant (2001) (las cuales los autores indican que serían especialmente visibles en contramoldes e icnitas con una preservación optima) y que no se han podido reconocer en las icnitas del yacimiento ni siquiera en las icnitas que poseen una buena preservación ni son contramoldes. Respecto a *Fuscinapeda* McCrea y Sarjeant (2001) propone también una descripción corregida para este icnogénero, esta nueva descripción es similar a la anterior excepto que incluye que la anchura de los dedos en el caso de *Fuscinapeda* supera el 15% de su longitud. Este hecho no se cumple en el caso de las icnitas de La Sagarreta. El caso de *Aviadactyla* también presenta problemas ya que en su descripción se indica que si bien incluye icnitas con dedos con una unión proximal normalmente estos se encuentran aislados y sin una conexión entre ellos, este hecho se observa en algunas de las icnitas del yacimiento pero en su mayoría poseen dedos unidos entre si generando dudas sobre su pertenecía a dicho género.

Por ello al no poderse determinar a que icnogénero pertenecen estas icnitas se ha decidido clasificarlas a nivel de morfofamilia como Avipedidae indet.

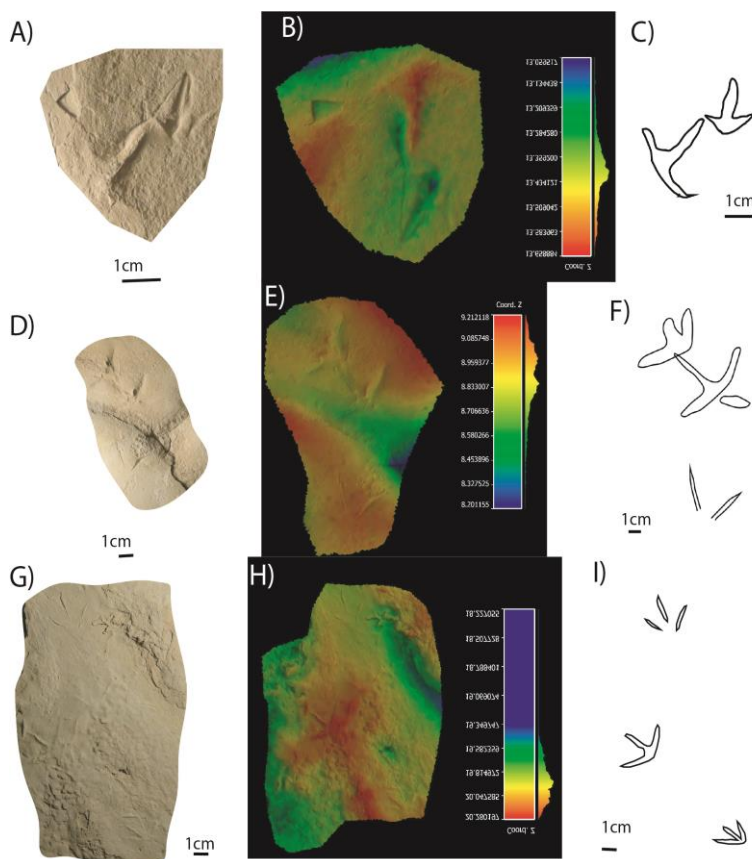


Figura 19. Fotografías, mapas de color y dibujos de las icnitas de Avipedidae, en ocasiones se encuentran junto con Gruipedidae. A) Fotografía de la losa 4, con dos icnitas LS-4.1 y LS-4.2. B) Mapa de color de la losa 4, se observa que la icnita LS-4.1 es una huella verdadera con relieve negativo (en colores verdes-azules) y la icnita LS-4.2 un contramolde (con colores rojizos). C) Dibujo de las icnitas de la losa 4. D) Fotografía de la losa 10 en detalle de las icnitas más completas de la muestra (LS-10.1, LS-10.2 y LS-10.3) a parte la losa presenta impresiones de dedos dispersas y aisladas. E) Mapa de color de las icnitas más completas de la losa 10. F) Dibujo de las icnitas LS-10.1, LS-10.2 y LS-10.3. G) Fotografía de la losa 26. H) Mapa de color de la losa 26, con colores rojizos indicadores de que son contramoldes con relieve positivo. I) Dibujos de las icnitas LS-26.1, LS-26.2 y LS-26.3.

9. DISCUSIÓN GENERAL

a. Preservación de las icnitas y relación con la sedimentología

Uno de los factores claves a la hora de la preservación de las icnitas son las características del sustrato, por ello se han realizado a lo largo de los años diversos trabajos con el fin de conocer dicha influencia. Para la elaboración de este trabajo destaca el experimento realizado por Falk et al. (2017), el cual empleó gallinas que se desplazaron por diversos tipos de sustratos y que generaron huellas similares a las icnitas avianas estudiadas en el trabajo. Pero antes de proceder a comparar las icnitas de La Sagarreta con los resultados de dicho trabajo se tiene que especificar el tipo de sustrato en el que se formaron o al menos una aproximación del mismo. El estudio sedimentológico de los niveles del yacimiento nos muestra que se tratan de areniscas con un tamaño de grano muy pequeño y que el contenido lutítico no era muy importante, la presencia en las mismas superficies que las icnitas de *wrinkle marks* (pequeñas elevaciones producidas por la retracción de un tapiz algal o un sustrato semicohesivo al verse expuesto subaereamente y desecarse) nos indica que al menos en origen las areniscas se depositaron bajo lámina de agua pese a desecarse posteriormente. Por ello se ha concluido que lo más probable es que se trataran en un inicio de arenas finas húmedas o con condiciones intermedias. Su comparación con los resultados obtenidos en el experimento indicarían que las huellas presentan una longitud y anchura análoga a las del pie del productor pero la conservación de los detalles del mismo dependerá de las condiciones de humedad del sustrato, así sustratos con una elevada humedad no permitirán la conservación de los detalles pero sustratos algo más secos sí que permiten la conservación de impresiones de las garras e impresiones de las almohadillas.

Además la presencia de *climbing ripples* indica que hubo una elevada tasa de sedimentación (Reineck y Singh, 1980). Esta elevada tasa de sedimentación ayudaría a preservar las estructuras sedimentarias más delicadas, como las icnitas o las gotas de lluvia.

Las *wrinkle marks* nos indican la presencia de un sustrato semicohesivo en el momento de formación de las icnitas que fomentaría la conservación de las icnitas y un mayor detalle de las mismas (Falk et al., 2017). Si estas se trataran de *Kinneyites* estas expondrían la presencia de un tapiz microbiano en la superficie de formación de las icnitas. Gracias a estudios realizados sobre la conservación de las icnitas de dinosaurios se ha demostrado que este tipo de sustratos favorecen la conservación y el detalle de las icnitas (Dai et al., 2005). Este hecho se produce al generar un sustrato más plástico que recoge mejor los detalles y producir una cementación temprana que favorece su conservación. Además de que con el crecimiento de las comunidades microbianas cubren las icnitas protegiéndolas y formando “*overtracks*” (Dai et al., 2005).

b. Posibles productores de las icnitas

En el Paleógeno hay un importante registro de fósiles de mamíferos, principalmente dientes y huesos aislados (Martínez y Ayera, 2018), pero hay escasez de icnitas en general y especialmente en Europa (McDonald et al., 2007; Costeur et al., 2009), este hecho dificulta la interpretación de las icnitas y su asociación a un productor concreto.

Perisodáctilos

La identificación de los productores de las icnitas de perisodáctilos resulta relativamente fácil por la gran disparidad en las formas entre las principales familias de perisodáctilos (Tappiridae, Rinoceratoidea y Equidae). La familia tappiridae presenta manos tetradáctilas y pies tridáctilos sin embargo sus pies y manos presentan una almohadilla plantar que es visible tanto en ejemplares actuales como en icnitas del pasado (Richard y Julia, 2000; Mustoe, 2002), esta almohadilla no se observa en ninguna de las icnitas de perisodáctilo pese a su buen estado de conservación. Los rinocerontidos no presentan esta almohadilla central pero poseen morfologías mucho más redondeadas en sus pies, hecho que se ve reflejado en sus icnitas (Costeur et al., 2009).

Por ello la icnitas de La Sagarreta únicamente puede pertenecer a un miembro de la superfamilia Equoidea, esta familia ha presentado una evolución muy clara y estudiada en sus autópodos a lo largo de su historia evolutiva. Los primeros miembros de dicha familia (*Hyracotherium*) presentaban morfologías en sus autópodos muy similares las observadas en los tapires (manos tetradáctilas, pies tridáctilos y almohadillas plantares), sin embargo grupos posteriores presentan tanto manos como pies tridáctilos y sin la presencia de almohadillas plantares. Dentro de estos équidos más evolucionados destaca el género *Plagiolophus*, el cual al presentar autópodos tridáctilos y encontrarse en Europa y España supone el productor más probable. Sin embargo este género presenta un género hermano *Palaeotherium*, que presenta características muy similares a *Plagiolophus*. Sin embargo, éste posee un mayor tamaño además de presentar dedos con dimensiones muy similares a diferencia de lo observado en *Plagiolophustipus* (Santamaría et al., 1989-1990; Murelaga et al., 2000) y compone parte de las faunas que desaparecieron a raíz de la “Grande Coupure” (Hooker et al., 2004). Por ello el productor más probable de las icnitas de perisodáctilos sería un miembro del género *Plagiolophus*, aunque también existe la posibilidad de que se traten de miembros de pequeño tamaño del género *Plagiolophus* por sus grandes similitudes con *Plagiolophus*.

Artiodáctilos

En el caso de los artiodáctilos nos encontramos con que hay gran similitud entre las morfologías de los autópodos y las icnitas de la mayoría de las líneas evolutivas (Lucas y Hunt, 2007; Costeur et al., 2009). Este hecho sumado al escaso registro complica aún más la asociación de las icnitas a posibles productores.

Ambos tipos de icnitas de artiodáctilos presentan únicamente dos dedos centrales grandes gracias a esto se pueden eliminar a las familias dentro de los artiodáctilos que presenten más de dos dedos funcionales a la hora de desplazarse. Por lo tanto familias como Anthracotheriidae e Hipopotamidae (con miembros pentadáctilos) y las familias Suidae y Protoceratidae (con miembros tetradáctilos) se pueden eliminar como posibles productores (Clifford, 2010). Por ello son tres grupos distintos los productores más probables de las icnitas de La Sagarreta: el suborden Pecora y las familias Camelidae y Entelodontidae. La familia Camelidae suele presentar grandes almohadillas que rodean los dedos que generan una unión entre ellos, este hecho no se ve reflejado en las icnitas estudiadas por lo que pueden descartarse como sus productores. Así finalmente solo los miembros de Pecora y los entelodóntidos han podido ser los responsables de las icnitas estudiadas.

El primer tipo de icnitas identificadas como miembros del icnogénero *Megapecoripeda* ha sido tradicionalmente asociado a miembros de gran tamaño del suborden Pecora como productores. En este grupo se incluyen la mayoría de los rumiantes actuales. Sin embargo la mayoría de estos grupos no aparecen hasta el Oligoceno superior-Mioceno medio (De Miguel et al., 2014). Además existen restos de posibles miembros de la familia Palemyricidae y más concretamente del género *Amphitragulus* en materiales del Eoceno superior en Aragón que podría indicar que el grupo estuvo presente al menos desde dicha época (Crusafont y Golpe, 1974) y por lo tanto pudieron existir en el Oligoceno inferior. Pero únicamente se ha encontrado una mención a este hecho y no existen más restos hasta el Oligoceno superior por lo que la validez de esta asociación aún no está clara. Algunos autores proponen a la familia Gelocidae como posibles productores de las icnitas de este icnotaxón (Demathieu et al., 1984), sin embargo este grupo aun presenta cuatro dedos bien desarrollados (Webb y Taylor, 1980) que no se observan en las icnitas de La Sagarreta.

El segundo tipo de icnitas de artiodáctilos se han asociado como pertenecientes al icnogénero *Entelodontipus* tradicionalmente asociado a la familia Entelodontidae y sobre todo al género *Entelodon* (Casanovas y Santafé, 1982). Este grupo sí que se encontraba presente en Europa durante el Oligoceno inferior siendo una de las nuevas especies que aparecen a partir de la “Grande copure” (Blonel, 2001; Costa et al., 2011). En Europa la mayoría de estos animales presentaban un pequeño tamaño en comparación con las poblaciones asiáticas y americanas, además las especies primitivas poseían un menor tamaño (Astibia et al. 1994) que explicaría el pequeño tamaño de las icnitas de La Sagarreta. Sin embargo por la similitud en la morfología de los autópodos de los artiodáctilos aún persiste la duda ante esta asociación.

Carnívoros

El hecho que las icnitas de *Canipeda* posean las marcas de garras nos permite descartar a los felinos como posibles productores, ya que estos poseen garras retractiles que no se suelen marcar (Melchor et al., 2019). Este tipo de icnitas se asocia a

miembros de la familia Canidae. Sin embargo trabajos posteriores han planteado dudas de dicha asociación al menos ciertos icnotaxones de icnogénero *Canipeda* como la icnoespecie *Canipeda longigriffa* (Mioceno inferior, Rumania y España), la cual se ha asociado con miembros de la familia Herpestidae mediante la comparación con huellas actuales (Anton et al., 2004). También por sus similitudes aparentes las icnitas de La Sagarreta podrían tratarse de huellas de hienas (familia Hyaenidae), pero estas se caracterizan por poseer almohadillas digitales grandes en contacto cercano con la almohadilla metapodial y si bien las icnitas estudiadas presentan almohadillas digitales grandes estas se encuentran claramente diferenciadas de la almohadilla metapodial. Pero tanto para el caso de las huellas de Herpestidae como para las icnitas de hienas un rasgo definitorio se encuentra en los rastros completos que no se encuentra en el yacimiento.

Sin embargo tanto la asociación con Herpestidae, Hyaenidae y Canidae presenta problemas por la edad del yacimiento ya que tanto las familias Herpestidae como Hyaenidae no aparecen hasta el Mioceno (Barycka, 2007). El caso de Canidae es más complejo ya que si bien los canidos aparecen en Norte América durante el Eoceno tardío permanecen confinados a ella hasta el Mioceno final (Wang et al., 2004). Por ello en lugar de denominarlas como icnitas de canidos sería más correcto emplear el termino icnitas similares a las de un canino (Melchor et al., 2019). Así que finalmente únicamente se ha podido concluir que su productor se trataría de un mamífero similar a un canino pero posiblemente no perteneciera a dicho grupo. Los autores Garcés y Diaz-Martinez (2010) establecieron una comparación entre las icnitas del Eoceno superior de Jaca con icnitas actuales de perros y mangostas. En esta comparación se observa que los perros presentan dedos III y IV más adelantados estando prácticamente a la altura de las marcas de garras de los dedos II y V, a diferencia de las mangostas que presentan dedos III y IV no tan adelantados estando por detrás o a la altura de las marcas de garras de los dedos II y V. En el caso de La Sagarreta se observa que los dedos III y IV están furentemente adelantados asemejándose en mayor medida a lo observado en los perros actuales.

Aves

A la hora de identificar las icnitas avianas hay que tener en cuenta que no se pueden asociar a una categoría taxonómica concreta. Esto se debe a que las características morfológicas de las icnitas de aves no se relacionan con su afinidad a un grupo concreto sino a su comportamiento y al nicho ecológico que ocupan. Por ello resulta difícil identificar el posible productor y solamente en casos muy reducidos se va a poder determinar con confianza (Sarjeant y Langston, 1994). Por lo tanto en la mayoría de los casos se identificaran como icnitas similares a las dejadas por alguno de los grupos actuales. Además la mayoría de los grupos de aves actuales ya existieron durante el Paleógeno, aunque con formas primitivas, y en su mayoría llegaron a Europa durante el Oligoceno Inferior (James, 2005).

Para comenzar con las icnitas avianas que presentan hallux del yacimiento de La Sagarreta se ha determinado su pertenencia al icnogénero *Alaripeda* (Sarjeant y Reynolds, 2001), cuya asociación con un posible productor no está clara. Sin embargo su morfofamilia Gruipedidae presenta morfologías que las similares a aves limícolas actuales (Elbroch y Marks, 2001). Estas aves se asocian a ambientes húmedos, normalmente habitando el borde de masas de aguas y medios deltaicos, por lo que su presencia apoya las interpretaciones geológicas realizadas para el ambiente de La Sagarreta.

Respecto al icnotaxón de La Sagarreta de la morfofamilia Avipedidae, incluye un gran número de icnotaxones que pueden haber sido producidos por diferentes productores, por lo tanto se pueden tratar desde aves limícolas hasta Falconiformes (Sarjeant y Reynolds, 1994). Por la coexistencia de las icnitas con hallux e icnitas sin hallux en un ambiente muy similar es probable que se traten de huellas originadas por otro tipo de ave limícola.

c. Reconstrucción paleoambiental e implicaciones paleoecológicas

La edad del yacimiento La Sagarreta aporta información clave sobre las condiciones ambientales y de la fauna en el Oligoceno inferior. Durante esta época tuvo lugar un momento clave en la evolución de los mamíferos europeos, el evento conocido como “*La Grande Coupure*” (Stehlin, 1909). Este evento supuso un intercambio entre las faunas de Europa y Asia y acarreó la extinción de gran parte de las especies de grandes mamíferos endémicas de Europa, siendo sustituidas por nuevas especies inmigrantes procedentes de Asia (Costa et al., 2011). El cambio se produjo debido a distintas causas como el establecimiento de una conexión entre Europa y Asia que permitió la entrada de las nuevas especies que empezaron a competir con las especies preexistentes ligado a una regresión marina generalizada (Zachos et al., 2008; Costa et al., 2011), debida a un cambio climático a escala global (Fig. 20) que produjo un descenso de la temperatura (Zachos et al., 2008; Costa et al., 2011). Este evento es especialmente significativo para la interpretación del yacimiento La Sagarreta, ya que entre los posibles productores de las icnitas se encuentran tanto grupos preexistentes al intercambio faunístico (*Plagiolophus*) como posteriores (los entelodontidos) (Blonel, 2001).

Durante la bajada de temperatura brusca en el límite Eoceno-Oligoceno tuvo lugar la aparición de casquetes polares permanentes en la Antártida (Fig. 20) asociado a un aumento de la aridez (Blonel, 2001; Costa et al., 2011) y ligado a este cambio modificaciones en los ecosistemas, reduciéndose los bosques cálidos y húmedos dominantes en el Eoceno y dando paso a ambientes más abiertos y secos de pradera que provocaron, a su vez, un cambio en la fauna de mamíferos. Desaparecieron las especies primitivas adaptadas a los ambientes boscosos y fueron sustituidas por nuevos grupos adaptados a praderas abiertas (Cuenca-Bescós et al., 1998).

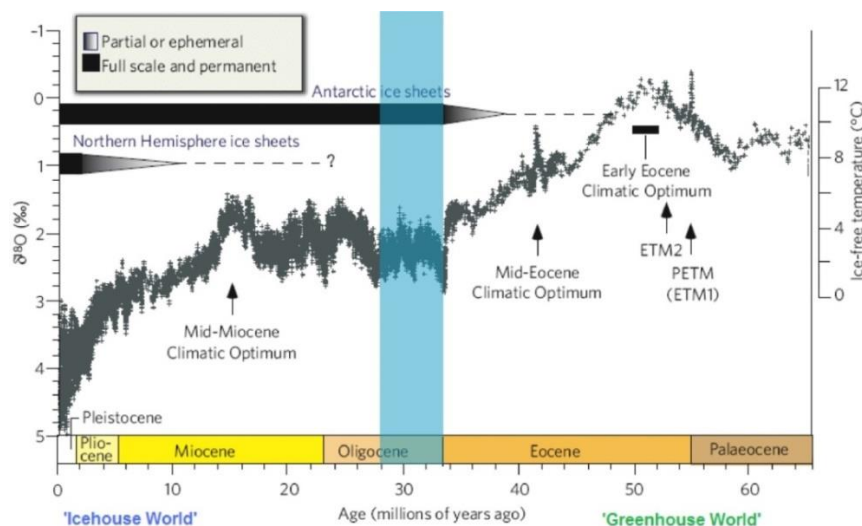


Figura 20.- Variación de la temperatura durante el Cenozoico en base a los valores de isótopos de oxígeno en foraminíferos bentónicos. Se observa el descenso brusco de la temperatura en el tránsito Eoceno-Oligoceno junto con una menor temperatura general durante el Oligoceno inferior ligada a la aparición de las masas de hielo en los polos. Se ha marcado en azul la posible situación temporal del yacimiento. Modificada de Zachos et al. (2008).

El aumento de aridez durante el Oligoceno, se ve reflejado en la zona de trabajo por la elevada salinidad de las aguas del sistema lacustre en cuya orilla se generó el yacimiento La Sagarreta, con presencia carbonatos magnésicos y sales y de facies estromatolíticas, típicas de ambientes salinos. Por ello, se interpreta que las condiciones ambientales serían áridas y más frías que durante el Eoceno, reflejando el clima global. El cambio en el clima y en la paleogeografía fomentó un cambio en los ecosistemas, encontrándose en la Sagarreta tanto especies adaptadas a climas más secos y abiertos, como los entelodontidos, junto con especies ramoneadoras de ambientes boscosos, como *Plagiolophus* (Joomun et al., 2008).

El estudio sedimentológico de la serie que contiene yacimiento evidencia que se desarrolló en un contexto transicional entre un sistema aluvial y un medio lacustre somero salino. En este ambiente tuvo lugar el desarrollo de un delta alimentado por el sistema aluvial. Los sedimentos finos y seguramente cargados de nutrientes favorecerían la alimentación de diversos vertebrados y el comportamiento cohesivo de los mismos la génesis y conservación de las icnitas.

Al llegar los aportes aluviales al sistema lacustre sufrirían una brusca deceleración que produjo el rápido depósito de los sedimentos; ello y una elevada tasa de sedimentación probablemente en relación con una intensa actividad tectónica (como demuestra la existencia de discordancias progresivas en los conglomerados proximales) favoreció la preservación de las estructuras sedimentarias, como las icnitas. A pesar de ello los sedimentos sufrieron retrabajamiento por el oleaje del lago, que queda marcado en la serie al observar paleocorrientes con dirección NE, inversas de la dirección de las paleocorrientes medidas en los canales. El hecho de que se observa esta influencia del

oleaje en todas las secuencias, incluso las más someras, indica que la serie se formó en la parte subacuosa del delta.

En la serie del yacimiento se recogen los depósitos de prodelta (Fm, Mm) así como de las barras de desembocadura (Sr, Sp-Sm), canales deltaicos (St, Sr, Sm) y llanuras interdistriburias entre ellos (Fm-Sm). El delta experimentó una progradación con el tiempo que se interpreta debida al incremento de la actividad tectónica, ya que la serie representa en tránsito entre las UTS T3 y T4 de Luzón (2002).

Respecto al tipo de delta este estuvo dominado por la acción fluvial (Walker y Noel, 1992), con la acción fluvial principal control del depósito pero con retrabajamiento por oleaje. Respecto a los procesos dominantes, las características de la facies indican que pudo estar dominado por la fricción turbulenta (típica de deltas someros) y la flotabilidad (en deltas con una gran diferencia de salinidad del agua que entra y la de recepción). Este hecho se refuerza por las características del medio al entrar en contacto las aguas dulces del sistema aluvial con un lago hipersalino muy somero, como indica la serie estudiada, que llevaría a la formación de un sistema deltaico que combinaría ambos procesos.

Las icnitas se produjeron en un sustrato de arena fina-limo que se encontraba relativamente húmedo, que se habría depositado bajo una fina lámina de agua que permitió el desarrollo de comunidades algales pero que sufrió periodos de desecación produciendo grietas de desecación y *wrinkle marks*, entre otras estructuras. La rápida sedimentación en la zona junto con la presencia de sustratos cohesivos de arenas muy finas húmedas y la presencia de comunidades algales favorecería la preservación en esta zona de las icnitas, explicando porque la Sagarreta es un lugar favorable para encontrar este tipo de fósiles.

A la hora de estudiar el medio y en especial el tipo de sustrato resultan interesantes las *wrinkle marks*, estas estructuras son similares a *ripples* de pequeño tamaño y una morfología irregular los cuales se suelen disponer de forma paralela entre si (Hantzschel y Reineck, 1968). Según Reineck (1969) estas estructuras se originan cuando sustratos parcialmente cohesivos se encuentra bajo una lámina de agua muy fina y están sometidos a fuertes vientos, indicando por ello una exposición intermitente de la superficie del sustrato. Más recientemente, algunos autores, consideran estas estructuras relacionadas con la presencia de estructuras de origen algal. Se originan cuando un tapete microbiano sufre una emersión que produce su retracción y deforma el sedimento; estas estructuras en concreto se denominan *Kinneyia ripples* (Porada y Bouougri, 2007; Porada et al., 2008). El interés de estas estructuras radica en que algunos autores proponen que la presencia de tapices algales favorecería la preservación de icnitas (Dai et al., 2005). También indicarían un ambiente muy somero en la parte marginal del sustrato que sufrió una exposición subaérea. Para determinar si estas estructuras son de origen físico o biológico se requerirían estudios en detalle que se

escapan de los objetivos de este trabajo, si bien dada la relación con la preservación de icnitas se analizarán en un futuro.

El yacimiento de La Sagarreta aporta información de la presencia de grandes artiodáctilos didáctilos junto con entelodontidos, de menor tamaño que convivían con mamíferos perisodáctilos. Además también habría grandes depredadores similares a los canidos actuales. Los animales acudirían a la zona del yacimiento aprovechando la menor salinidad del sistema deltaico por los aportes del río en el margen del lago. En este margen se encontrarían aves similares a las actuales limícolas, alimentándose en la superficie del sustrato.

10. CONCLUSIONES

El yacimiento de La Sagarreta es un nuevo yacimiento de icnitas de aves y mamíferos del Paleógeno de España. Se encuentra en materiales de la Formación Peralta datada como Oligoceno inferior, en una serie sedimentaria compuesta por dos partes: una inferior en la que se alternan depósitos detríticos y carbonatados y una superior con dominancia de depósitos detríticos. Si bien la Fm. Peralta se ha asociado a depósitos de abanico aluvial, la serie aquí estudiada tiene se interpreta en relación con el desarrollo de un sistema deltaico en la zona marginal de un gran lago salino alimentado por un sistema aluvial procedente del Norte. La desaparición progresiva de los carbonatos junto con el desarrollo de canales deltaicos sobre las barras distales en la parte superior de la serie indica una progradación del sistema deltaico sobre las calizas y los depósitos de prodelta de los depósitos más proximales del delta.

Es en la segunda parte de la serie que se sitúa el yacimiento, este se encuentra en un nivel de areniscas de grano muy fino con *ripples*, grietas de desecación, gotas de lluvia y *wrinkle marks*. Todo ello evidencia la existencia de abundantes y rápidos aportes terrígenos finos y una exposición aérea intermitente que favorecería la preservación de las icnitas. Las icnitas del yacimiento presentan cuatro niveles distintos de conservación (perfecta, buena, pobre y mala) y en la conservación de las icnitas ha jugado un papel fundamental las condiciones del sustrato durante su formación y los *wrinkle marks* indican unas condiciones del sustrato que favorecen la conservación de las icnitas y la marca de sus caracteres anatómicos. A nivel taxonómico en el yacimiento se encuentran icnitas de perisodáctilos, artiodáctilos, carnívoros y aves.

Las icnitas tridáctilas de perisodáctilos se han identificado como pertenecientes a la icnoespecie *Plagiolophustipus montfalcoensis*; las icnitas de los artiodáctilos por sus dimensiones y diferencias morfológicas se han dividido en dos tipos: las icnitas de mayor tamaño compuestas por dos dedos con morfología subelíptica se han asociado a la icnoespecie *Megapecoripeda velox* al presentar una morfología similar, las icnitas de menor tamaño en cambio presentan una morfología ligeramente más afilada en su parte anterior además de presentar dedos con una ligera diferencia en sus dimensiones y siendo ligeramente cóncavos en su sección interna siendo similares a *Entelodontipus*

viai. Las icnitas de carnívoro por la presencia de garras, una mayor longitud que anchura y las almohadillas digitales elongadas se han podido agrupar dentro del icnogénero *Canipeda*, pero ninguna de sus características le asemeja a las icnoespecies previamente definidas, asemejándose únicamente a *Canipeda isp.*, descrito en el Eoceno superior de la Cuenca de Jaca. Las icnitas de aves se han agrupado en dos grandes grupos en función de si tienen o no hallux. Las icnitas con hallux se han agrupado dentro de la morfofamilia Gruipedidae al no presentar una unión entre sus dedos sin embargo no se ha podido asociar a ninguno de los icnogéneros definidos dentro de dicha morfofamilia. Las icnitas sin hallux tampoco se han asignado más allá de la morfofamilia Avipedidae al no presentar una unión entre sus dedos pudiéndose concretar el icnotaxón al cual pertenecen ya que se requieren más estudios comparativos y la revisión de los materiales tipo de los diversos icnotaxones.

Respecto a los productores, las icnitas de perisodáctilos tienen al género *Plagiolophus* como productor más probable. Las icnitas de artiodáctilos presentan una mayor complicación no teniendo un productor claro pero tratándose de los entelodontidos el productor más probable de las icnitas clasificadas como *E. viai*. El productor de las icnitas de carnívoros se trataría de un animal similar a un canino moderno aunque no pudo ser un canino verdadero. Finalmente las icnitas avianas no se pueden asociar a un grupo concreto pero sus productores se tratarían de animales con una morfología similar a las aves limícolas actuales. Dentro de los grupos de posibles productores destaca la presencia de especies supervivientes a “*la Grande Coupue*” (*Plagiolophus*) como nuevas especies posteriores a ese evento (entelodontidos).

11. BIBLIOGRAFIA

Alonso-Zarza, A. M. (2003). Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60(3-4), 261-298.

Álvarez Sierra, M., Daams, R., Lacombe, J. I., López Martínez, N., Meulen, A. J. V. D., Sesé, C., y Visser, J. D. (1990). Palaeontology and biostratigraphy (micromammals) of the continental Oligocene-Miocene deposits of the North-Central Ebro Basin (Huesca, Spain). *Scripta Geologica*, 94, 75 pp.

Anton, M., López, G., y Santamaria, R. (2004). Carnivore trackways from the Miocene site of Salinas de Añana (Alava, Spain). *Ichnos*, 11(3-4), 371-384.

Arenas Abad, C., Pardo Tirapu, G., y Villena Morales, J. (1993). *Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la Cuenca del Ebro (zona aragonesa occidental)* (Doctoral dissertation, Universidad de Zaragoza, Prensas de la Universidad).

Arenas, C., y Pardo, G. (1999). Latest Oligocene–Late Miocene lacustrine systems of the north-central part of the Ebro Basin (Spain): sedimentary facies model and palaeogeographic synthesis. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 151(1-3), 127-148.

Arenas, C., Millán, H., Pardo, G., y Pocoví, A. (2001). Ebro Basin continental sedimentation associated with late compressional Pyrenean tectonics (north-eastern Iberia): controls on basin margin fans and fluvial systems. *Basin Research*, 13(1), 65-89.

Astibia, H., de Lersundi, J. D. V., y Murelaga, X. (1994). Icnitas de artiodáctilos (Mammalia) del Paleógeno de Olcoz (Depresión del Ebro, Navarra). *Estudios Geológicos*, 50(1-2), 119-126.

Astibia, H., Pereda Superbiola, X., Payros, A., Murelaga, X., Berreteaga, A., Baceta, J.L., y Badiola, A. (2007). Bird and mammal footprints from the tertiary of Navarre (Wenster Pyrenees). *Ichnos*. 14(3-4): 175-184.

Ataabadi, M. M., y Khazae, A. R. (2004). New Eocene mammal and bird footprints from Birjand area, eastern Iran. *Ichnos*, 11(3-4), 363-370.

Barycka, E. (2007). Evolution and systematics of the feliform Carnivora. *Mammalian Biology*, 72(5), 257-282.

Battacharya, J.P. (2010). Deltas. In *Facies Models* (James, N.P. y Dalrymple, R.W.) Geological association of Canada, Canada, 586p.

Blondel, C. (2001). The Eocene–Oligocene ungulates from Western Europe and their environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 168(1-2), 125-139.

Cámara, P. y Klimowitz, J. (1985). Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental Surpirenaica. *Estudios geológicos*, 41, 391-404

Canudo, J. I. (2004). Icnitas de mamíferos en la Formación Peraltilla (Tránsito Eoceno superior – Oligoceno Inferior en Abiego (Huesca). Yacimiento de Fondota. Informe interno Dirección General de Patrimonio del Gobierno de Aragón, 27 pp.

Casanovas-Cladellas, L., y Santafé-Llopis, J. V. (1982). Icnofauna oligocena de agramunt (Lérida, España). *Acta Geologica Hispanica*, 17(1-2), 113-119.

Clifford, A. B. (2010). The evolution of the unguligrade manus in artiodactyls. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(6), 1827-1839.

Cobos, E. V. (2010). Guía Comarcal de la Litera/La Llitera. *Natural de Aragón: revista trimestral del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón*, (40), 37.

Costa, E., Garcés, M., Sáez, A., Cabrera, L., y López-Blanco, M. (2011). The age of the “Grande Coupure” mammal turnover: New constraints from the Eocene–Oligocene record of the Eastern Ebro Basin (NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 301(1-4), 97-107.

Costeur, L., Balme, C., y Legal, S. (2009). Early Oligocene mammal tracks from southeastern France. *Ichnos*, 16(4), 257-267.

Crusafont Pairó, M., y Golpe, J. M. (1974). Nuevos yacimientos del Terciario continental del NE de España.

Cuenca, G., Canudo, J. I., Laplana, C., y Andrés, J. A. (1992). Bio y cronoestratigrafía con mamíferos en la Cuenca Terciaria del Ebro: ensayo de síntesis. *Acta Geológica Hispánica*, 27(1-2), 127-143.

Cuenca-Bescós, G. (1998). Los pseudoesciúridos (Rodentia) del Eoceno Superior de la cuenca lacustre de Sossís (Pirineos). *Geología Y Paleontología Del Eoceno de La Pobla de Segur. Universitat de Lleida*, 181-233.

Currie, P. J. (1981). Bird footprints from the Gething Formation (Aptian, Lower Cretaceous) of northeastern British Columbia, Canada. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 1(3-4), 257-264.

Dai, H., Xing, L., Marty, D., Zhang, J., Persons IV, W. S., Hu, H., y Wang, F. (2015). Microbially-induced sedimentary wrinkle structures and possible impact of microbial mats for the enhanced preservation of dinosaur tracks from the Lower Cretaceous Jiaguan Formation near Qijiang (Chongqing, China). *Cretaceous Research*, 53, 98-109.

De Miguel, D., Azanza, B., y Morales, J. (2014). Key innovations in ruminant evolution: a paleontological perspective. *Integrative zoology*, 9(4), 412-433.

Demathieu, G., Ginsburg, L., Guerin, C., y Truc, G. (1984). Étude paléontologique, ichnologique et paléoécologique du gisement oligocène de Saignon (Bassin d'Apt, Vaucluse). *Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle. Section C, Sciences de la terre, paléontologie, géologie, minéralogie*, 6(2), 153-183.

Dingus, L. y Rowe, T. (1997). *The mistaken extinction*. Dinosaur Evolution and the Origin of birds. 332 p.

Elbroch, M., y Marks, E. (2001). *Bird tracks y sign: a guide to North American species*. Stackpole Books.

Ellenberger, P. (1980). Sur les empreintes de pas de gros mammifères de l'Eocène supérieur de Garrigues-Ste-Eulalie (Gard). *Paleovertebrata, Mémoire Jubilé R. Lavocat*, 37-78.

Ezquerro, L., Luzón, A., Simón, J. L., y Liesa, C. L. (2019). Alluvial sedimentation and tectono-stratigraphic evolution in a narrow extensional zigzag basin margin (northern Teruel Basin, Spain). *Journal of Palaeogeography*, 8(1), 1-25.

Falk, A. R., Hasiotis, S. T., Gong, E., Lim, J. D., & Brewer, E. D. (2017). A new experimental setup for studying avian neoichnology and the effects of grain size and moisture content on tracks: trials using the domestic chicken (*Gallus gallus*). *Palaaios*, 32(11), 689-707.

Fornós, J. J., Bromley, R. G., Clemmensen, L. B., y Rodríguez-Perea, A. (2002). Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180(4), 277-313.

Freytet, P., y Verrecchia, E. P. (2002). Lacustrine and palustrine carbonate petrography: an overview. *Journal of Paleolimnology*, 27(2), 221-237.

Garcés, R. R., y Martínez, I. D. (2010). Primeras icnitas de mamífero carnívoro en el Paleógeno de Aragón (España). *Cidaris*, (30), 259-264.

Gatesy, S. (2003). Direct and indirect track features: What sediment did a dinosaur touch?. *Ichnos*, 10(2-4), 91-98.

Hammer, Ø., Harper, D. A., y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.

Häntzschel, W., Reineck, H. E., y Gadow, S. (1968). *Fazies-Untersuchungen im Hettangium von Helmstedt (Niedersachsen)*. Heissig, K. (1979). Die hypothetische Rolle Südosteuropas bei den Säugetierwanderungen im Eozän und Oligozän. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 2, 83-96

Hernandez-Pacheco, F. (1929). Pistas de aves fósiles en el Oligoceno de Peralta de la Sal (Lérida). *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XV, 379-382.

Hooker, J. J., Collinson, M. E., y Sille, N. P. (2004). Eocene–Oligocene mammalian faunal turnover in the Hampshire Basin, UK: calibration to the global time scale and the major cooling event. *Journal of the Geological Society*, 161(2), 161-172.

James, H. F. (2005). Paleogene fossils and the radiation of modern birds. *The Auk*, 122(4), 1049-1054.

Joomun, S. C., Hooker, J. J., y Collinson, M. E. (2008). Dental wear variation and implications for diet: an example from Eocene perissodactyls (Mammalia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 263(3-4), 92-106.

Kordos, L. (1985). Footprints in the Lower Miocene sandstone of Ipolytarnóc. *Geologica Hungarica*, 46, 257-415.

Linares, M. (2020). Paleontología e interpretación medioambiental de las icnitas de mamíferos del yacimiento de Fondota (Paleógeno, Abiego, Huesca). Universidad de Zaragoza, 56pp.

Lockley, M. G. (1991). *Tracking dinosaurs*: Cambridge.

Lockley, M. G., Houck, K., Yang, S. Y., Matsukawa, M., y Lim, S. K. (2006). Dinosaur-dominated footprint assemblages from the Cretaceous Jindong Formation, Hallyo Haesang National Park area, Goseong County, South Korea: evidence and implications. *Cretaceous Research*, 27(1), 70-101.

Lucas, G., y Hunt, A. (2007). Ichnotaxonomy of camelfootprints. *Cenozoic Vertebrate Tracks and Traces*: Bulletin 42, 42, 155.

Luzón, A., González, A., Muñoz, A., y Sánchez-Valverde, B. (2002). Upper Oligocene-Lower Miocene shallowing-upward lacustrine sequences controlled by periodic and non-periodic processes (Ebro Basin, northeastern Spain). *Journal of Paleolimnology*, 28(4), 441-456.

Luzón, A. (2005). Oligocene–Miocene alluvial sedimentation in the northern Ebro Basin, NE Spain: Tectonic control and palaeogeographical evolution. *Sedimentary Geology*, 177(1-2), 19-39.

Marchetti, L., Belvedere, M., Voigt, S., Klein, H., Castanera, D., Díaz-Martínez, I., ... y Farlow, J. O. (2019). Defining the morphological quality of fossil footprints. Problems and principles of preservation in tetrapod ichnology with examples from the Palaeozoic to the present. *Earth-Science Reviews*, 193, 109-145.

Martínez, I. D., y Ayerra, H. A. (2018). Huellas cenozoicas de aves y mamíferos de los Pirineos occidentales. *Registro fósil de los Pirineos occidentales: bienes de interés paleontológico y geológico. Proyección social* (pp. 161-168). Servicio Central de Publicaciones= Argitaipen Zerbitzu Nagusia.

McCrea, R. T., y Sarjeant, W. A. S. (2001). New ichnotaxa of bird and mammal footprints from the Lower Cretaceous (Albian) Gates Formation of Alberta. *Mesozoic vertebrate life*, 453-478.

McDonald, H., White, R., Lockley, M., y Mustoe, G. (2007). An indexed bibliography of Cenozoic vertebrate tracks. *Cenozoic Vertebrate Tracks and Traces: Bulletin* 42, 42, 275.

Melchor, R. N., Feola, S. F., y de Bianco, T. M. (2019). Canid Paleoichnology: Taxonomic Review and producers of Canipeda from the late Pleistocene of Argentina. *Ichnos*, 26(2), 85-107.

Miall, A. D. (1977). *Fluvial sedimentology: an historical review*.

Miall, A. D. (1978). *Fluvial sedimentology*.

Miall, A. D. (1996). *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Springer.

Muñoz, A., Arenas, C., González, A., Luzón, A., Pérez, A., Pardo, G. y Villena, J., (2002). Ebro Basin (Northeastern Spain). *Geology of Spain*. Geological Society of London, London, 301-309.

Mustoe, G. E. (2002). Eocene bird, reptile, and mammal tracks from the Chuckanut Formation, northwest Washington. *Palaaios*, 17(4), 403-413.

Murelaga, X., Baceta, J. I., Astibia, H., Badiola, A., y Pereda Suberbiola, X. (2000). Icnitas de perisodáctilos en el Oligoceno de Navarra: posición estratigráfica y sistemática. *Geogaceta*, 27, 15-18.

Murie, O.J., 1974, A field guide to animal tracks: Boston, Houghton Mifflin Company, 375 p

Panin, N., y Avram, E. (1962). Noi urme de vertebrate in Miocenul Subcarpatilor Rominesti. *Studii si Cercetari de Geologie*, 7, 455-484.

Pardo, G., Arenas, C., González, A., Luzón, A., Muñoz, A. y Pérez, A., (2004) Cuencas cenozoicas: La Cuenca del Ebro. *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. 343-353

Porada, H., y Bouougri, E. H. (2007). Wrinkle structures—a critical review. *Earth-Science Reviews*, 81(3-4), 199-215.

Porada, H., Ghergut, J., y Bouougri, E. H. (2008). Kinneyia-type wrinkle structures—critical review and model of formation. *Palaaios*, 23(2), 65-77.

Prats, M., y López, G. (1995). Síntesi de la Icnofauna del Sinclinal d'Agramunt, entre el Meridià d'Agramunt i el riu Segre (Prov. de Lleida). *Paleontologia i evolució*, (28), 247-268.

Reille, J.L. (1967). Sur l'importance des Charophytes dans l'étude des formations continentales tertiaires du versant meridionale des Pyrénées. *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 265, pp.778-780.

Rabal-Garcés, R., Castanera, D., Luzón, A., Barco, J. L., & Canudo, J. I. (2018). A palaeoichnological itinerary through the Cenozoic of the southern margin of the Pyrenees and the northern Ebro Basin (Aragón, northeast Spain). *Geoheritage*, 10(3), 499-509.

Reineck, H. E. (1969). *Die entstehung von runzelmarken*.

Reineck, H.E. and Singh, I.B. (1980) *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, New York, 549.

Remeika, P. (2001,). The fish creek canyon ichnofauna: a pliocene (blancan) vertebrate footprint assemblage from anza-borrego desert state park, california. In *Proceedings of the 6th Fossil Resource Conference: Lakewood, Colorado, USA, Geologic Resources Division Technical Report*

Riba, O. (1976). Syntectonic unconformities of the Alto Cardener, Spanish Pyrenees: a genetic interpretation. *Sedimentary Geology*, 15(3), 213-233.

Richard, E., y Juliá, P. J. (2000). Aspectos generales de la biología, estatus, uso y manejo del Tapir (*Tapirus terrestris*) en Argentina. REHM, Serie Apuntes, (1), 78.

Rust, B. R. (1977). *A classification of alluvial channel systems*.

Santamaria, R., López, G., y Casanovas Cladellas, M. L. (1990). Nuevos yacimientos con icnitas de mamíferos del Oligoceno de los alrededores de Agramunt (Lleida, España). In *Bioeventos y sucesiones faunísticas en el Terciario continental iberico* (No. 23, pp. 141-152).

Santolaria, P., Casas, A. M., Luzón, A., y Soto, R. (2015). *Coupling far and near tectonic signals in syn-orogenic sediments: the Olvena growth strata (Sierras Marginales, southern Pyrenees)*.

Sarjeant, W. A., y Langston Jr, W. (1994). *Vertebrate footprints and invertebrate traces from the Cadronian (Late Eocene) of Trans-Pecos Texas*. Texas Memorial Museum, The University of Texas at Austin.

Sarjeant, W. A., y Reynolds, R. E. (2001) Bird footprints from the Miocene of California. In *The changing face of the east Mojave Desert: abstracts from the 2001 Desert Symposium* (pp. 21-40). Fullerton: California State University.

Sarjeant, W. A. S., Reynolds, R. E., y Kissell-Jones, M. M. (2002). Fossil creodont and carnivore footprints from California, Nevada, and Wyoming. Between the

Basins: *Exploring the Western Mojave and Southern Basin and Range Province*. Fullerton, California State University, Desert Studies Consortium, 37-50.

Senz, J.G., y Zamorano, M. (1991) Memoria de la Hoja nº 326 (Monzón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000 (MAGNA), Segunda Serie, Primera edición. IGME, 22 pp

Senz, J. G., y Zamorano, M. (1992). Evolución tectónica y sedimentaria durante el Priaboniense superior-Mioceno inferior, en el frente de cabalgamiento de las Sierras Marginales occidentales. *Acta geológica hispánica*, 195-209.

Stehlin, H.G., 1909. Remarques sur les faunules de mammifères descouches Éocènes et Oligocènes du Bassin de Paris. *Bulletin de la Societe Geologique de France* 4 (9), 488±520.

Vera, J. A. (Ed.). (2004). *Geología de España*. Igme.

Vialov, O. S. (1965). Stratigrafija neogevüh molassz Predkarpatszkovo progiva. Part K. *Naukova Dumka*, Kiev., 191p.

Vialov, O. S. 1966. Sledy zhiznedeyatel' nosti organizmov I ihk paleontologicheskoe znachenie. *Akademii Nauk Ukrainan, SSSR*, 29 p.

Visher, G.S. (1969) Grain-Size Distribution and Depositional Processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 1074-1106.

Walker, R. G., y Noel P. J. 1992. *Facies models: response to sea level change*. St. John's, Nfld: Geological Association of Canada = Association géologique du Canada

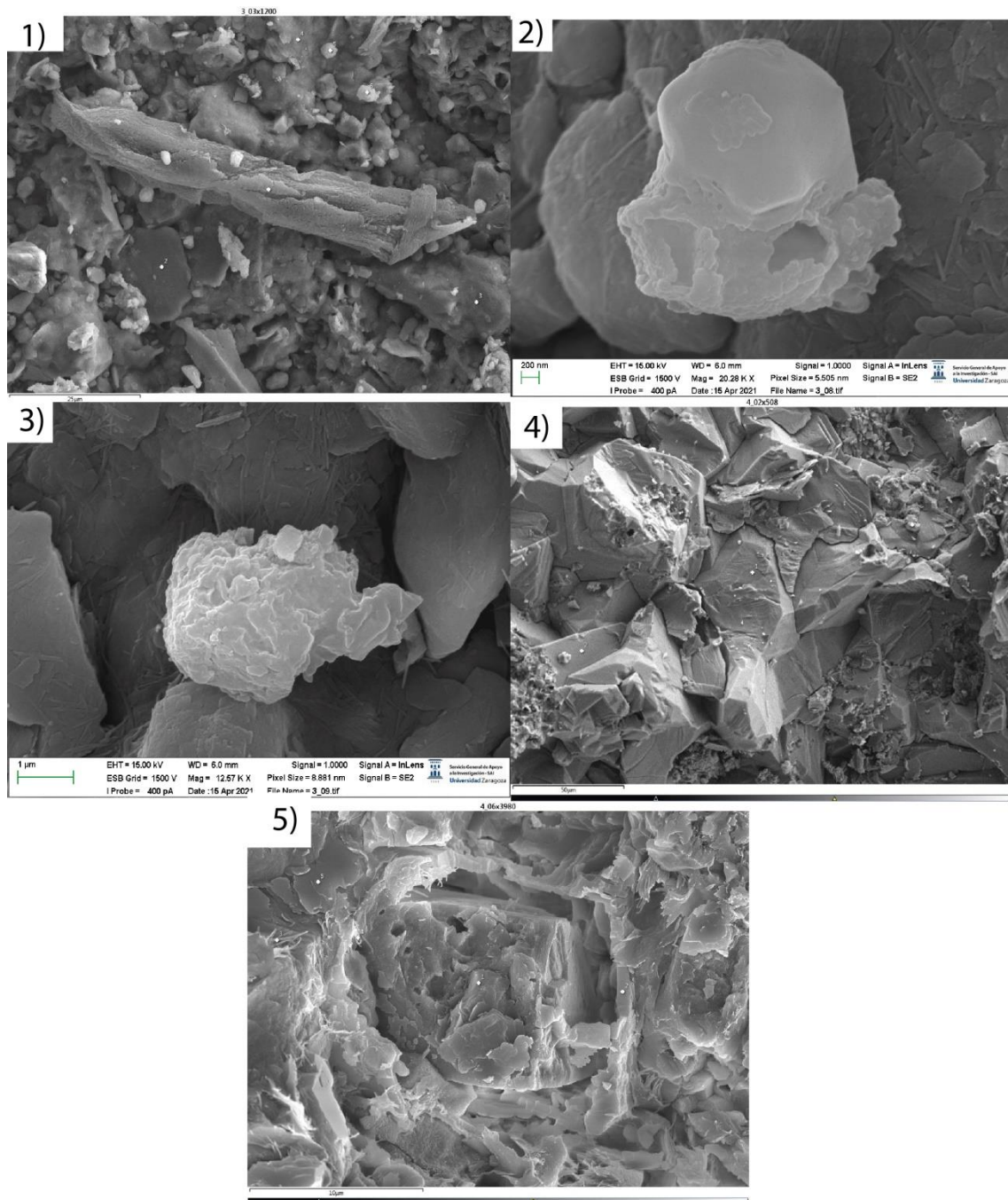
Wang, X., Tedford, R. H., Van Valkenburgh, B., y Wayne, R. K. (2004). Evolutionary history, molecular systematics, and evolutionary ecology of Canidae. *Biology and conservation of wild canids (DW Macdonald and C. Sillero-Zubiri, eds.)*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, 39-54.

Webb, S. D., y Taylor, B. E. (1980). The phylogeny of hornless ruminants and a description of the cranium of *Archaeomeryx*. *Bulletin of the AMNH*; v. 167, article 3.

Zachos J.C., G.R. Dickens and R.E. Zeebe (2008). An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature* 451: 279-283.

12. ANEXOS

a. Microscopia electrónica (FESEM).



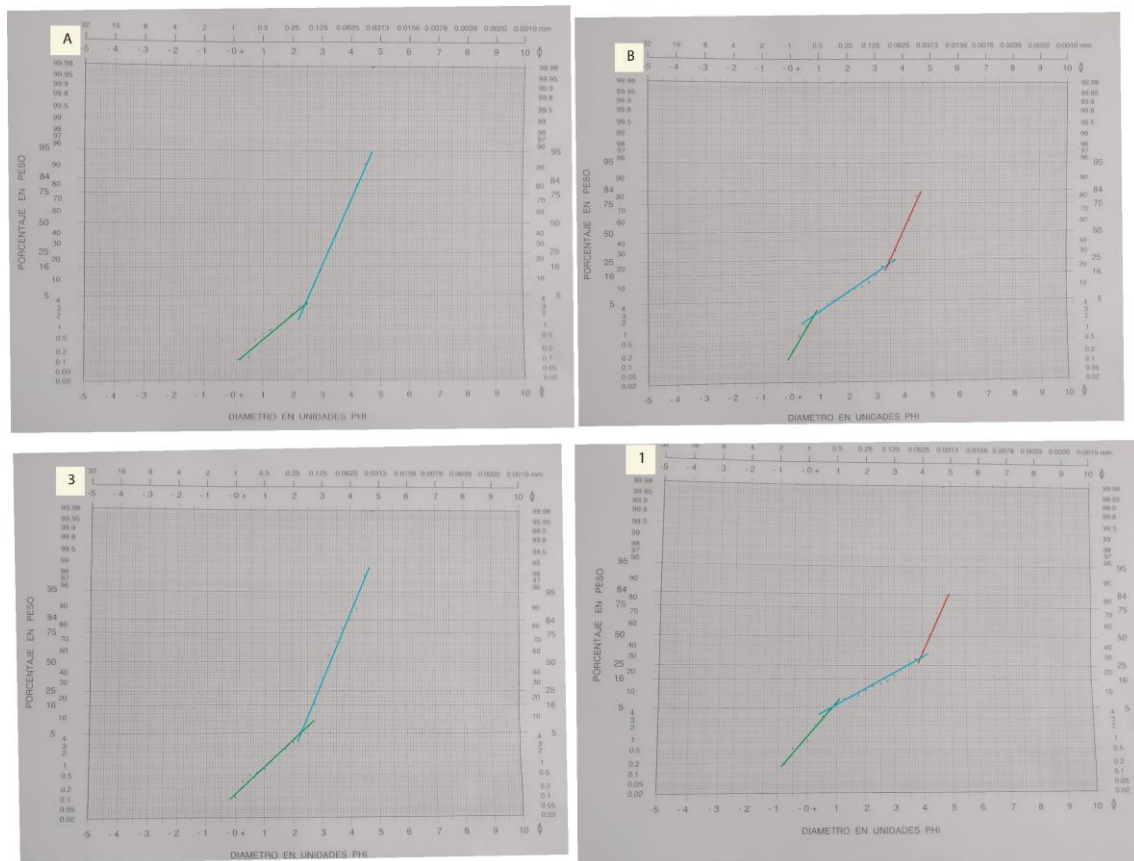
Anexo a: 1) Fotografía en FESEM de una muestra de calizas estromatolítica. En ella se observa un fragmento de alga que conserva una morfología elongada y su estructura biológica (punto 1). También se observa que pese a tratarse de materiales carbonatados hay influencia detrítica, incluyendo plagioclasas sódicas que indicarían que se formaron en un medio con abundantes sales disueltas (NaCl , disuelto). 2) Resto de un cristal de cloruro sódico encontrado en las calizas estromatolíticas. Muestra marcas de haber sufrido procesos de disolución. 3) Posible resto óseo con una fuerte alteración. Se cree que puede ser un resto óseo por el elevado contenido en P al realizar un análisis espectrométrico preliminar. 4) Fotografía tomada con el FESEM de una muestra del nivel de arenisca del yacimiento. En ella se observan dos tipos

de clastos unos más grandes y angulares de carbonato cálcico (1 y 2) y un segundo tipo de menor tamaño y más redondeados (3). 5) Fotografía tomada con el FESEM de una muestra del nivel de arenisca del yacimiento. Se observa un grano de cuarzo (1) en torno al cual se encuentra una matriz carbonatada (2), esta matriz carbonatada presenta una gran abundancia de Mg que indicaría un carácter dolomítico de la misma.

b. Granulometrías

Las granulometrías A y 3 se han realizado en las areniscas con ripples de los tramos 11 y 14 respectivamente. Las granulometrías B y 1 en cambio se corresponden a las granulometrías de las areniscas con estratificación cruzada planar de los tramos 11 y 14.

En las granulometrías la línea verde indica el porcentaje de granos transportados por tracción, la azul el porcentaje transportado por saltación, la tercera línea (de color rojo) se corresponden a material removilizado que han vuelto a sufrir una tracción y saltación.



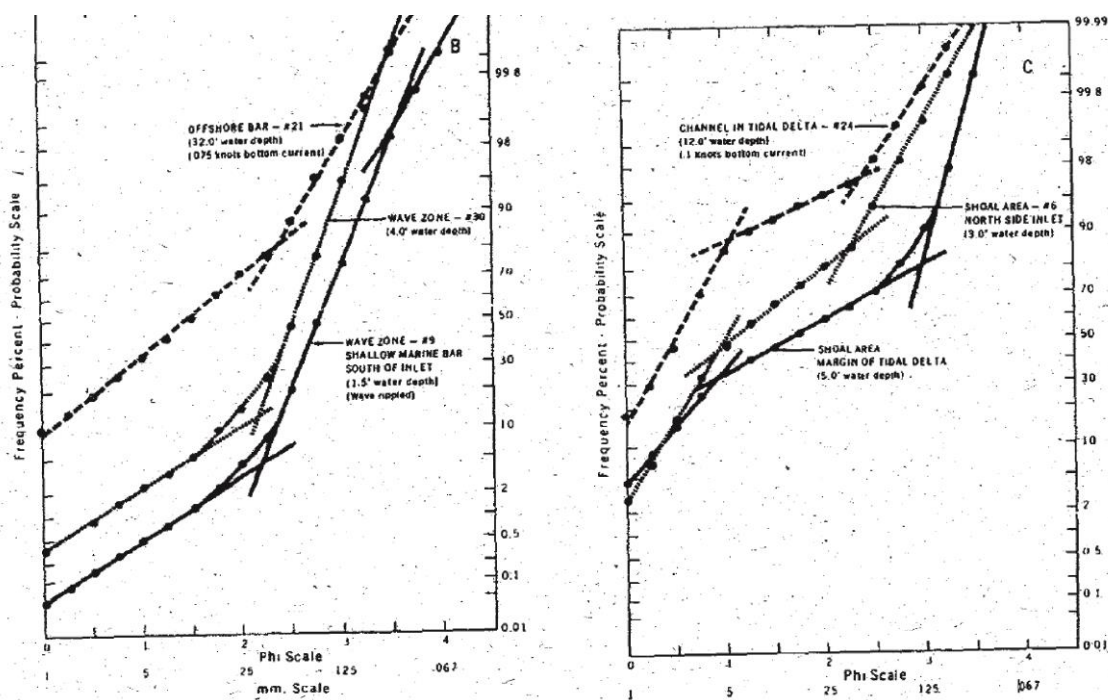
Anexo b. 1 Gráficos de las granulometrías realizadas en la serie de La Sagarreta.

Como se observa en la figura anterior (anexo b.1) las muestras presentan un tamaño de grano fino (entre 0 y 5 phi). Las cuatro muestras presentan tamaño de granos similares, sin embargo su distribución es muy distinta. En el caso de la granulometría A y 3 se

observa una dominancia de los granos más finos mayor de lo observado en las muestras B y 1, indicando por lo tanto un menor tamaño de grano en A y 3 que en B y 1.

Además se observa que en las muestras A y 3 únicamente han actuado procesos de tracción y saltación. Las muestras B y 1 en cambio han estado sometidas a un retrabajamiento, a parte de la tracción y saltación, que no sufrieron las muestras anteriores. Esto indicaría que B y 1 estuvieron sometidas a una corriente posterior a su depósito que removilizó los granos.

Estas características las asemejan a las granulometrías definidas por Visher (1969) (anexo b.2) para barras de desembocaduras (muestras A y 3) y un canal deltaico (muestras B y 1)



Anexo b.2 Granulometrías realizadas por Visher (1969).

c. Análisis multivariantes de las icnitas de aves.

A continuación se pasaran a explicar los análisis multivariantes realizados para establecer la posibilidad de existencia de dos grupos dentro de las icnitas avianas tridáctilas.

METODOLOGIA

En primer lugar cabe destacar que si bien los resultados obtenidos se han aplicado al conjunto de icnitas avianas tridáctilas con conservación buena y pobre para su elaboración solamente se han seleccionado icnitas con una preservación buena. Esto se ha realizado para intentar eliminar los posibles efectos de la conservación que puedan

ser responsables de las diferencias entre los grupos. Para ello se aplicara el algoritmo de Ward para la elaboración del clúster. Una vez obtenido el clúster se determinara una distancia a partir de la cual se determinarían los grupos existentes.

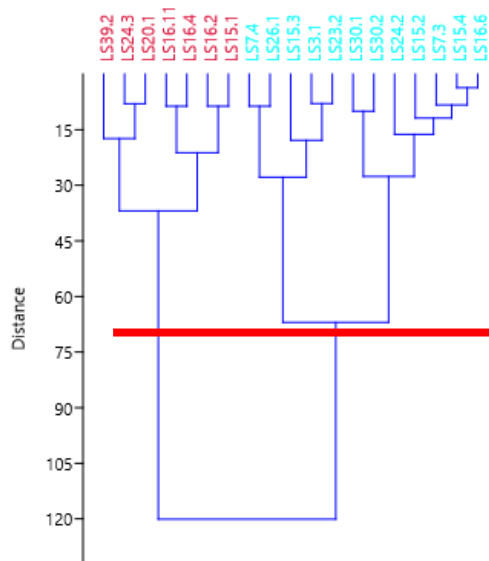
En primer lugar se elaboró un análisis clúster con todos los datos obtenidos. Esto con la finalidad de obtener grupos preliminares que nos permitan agrupar a las icnitas. Previamente se han realizado análisis de caja para eliminar posibles datos anómalos que generen posteriormente errores en el análisis clúster.

Tras ello se ha proseguido a realizar el análisis de componentes principales que nos permite establecer las variables en la clasificación de las icnitas, además de establecer los nuevos componentes que las controlaran. Esto nos permitirá determinar las variables aportan una mayor diversidad en los individuos además de establecer si existe una clara separación entre los grupos definidos por el análisis clúster que permitan determinar una clara separación entre ambos grupos.

Con los grupos ya establecidos se ha procedido a realizar un análisis discriminante que nos permita establecer la validez de la clasificación establecida y los principales factores responsables de la separación de ambos grupos.

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Tal y como se observa en la figura inferior se reconocen dos grupos diferenciados (Azul y rojo), cabe destacar que dentro de los rojos se observa que la icnita LS-24.2 se encuentra separado en un cluster independiente del resto de los miembros del grupo rojo (Anexo c.1).



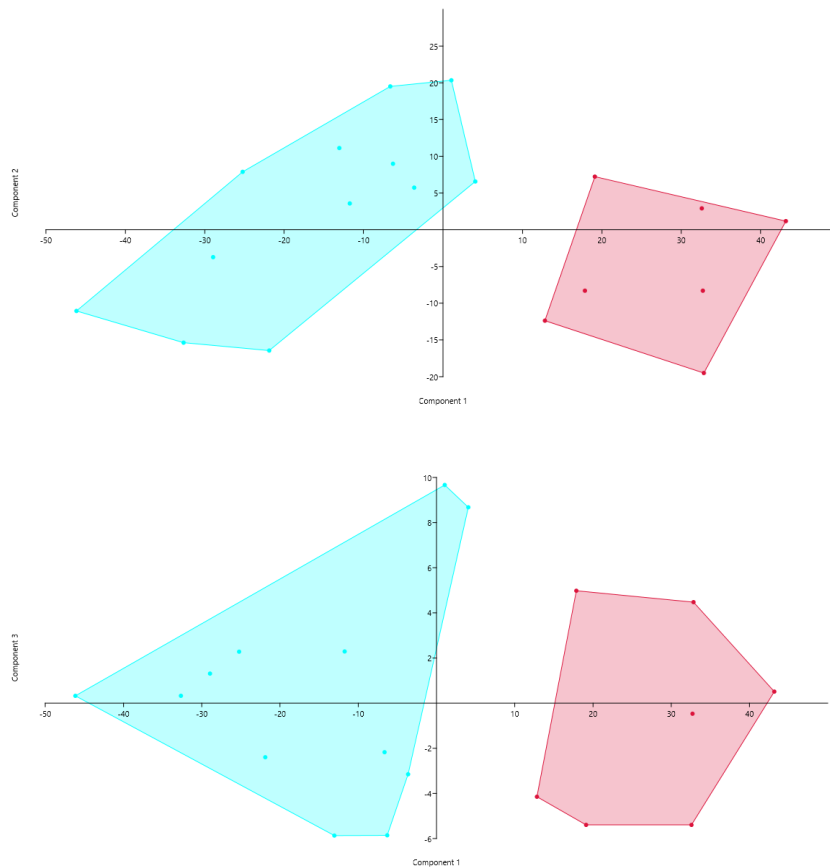
ANEXO c.1. Dendograma con todas las icnitas tridáctilas con preservación buena existentes en el yacimiento. La línea roja indica el punto de establecimiento de los clúster y por lo tanto el número de grupos existentes.

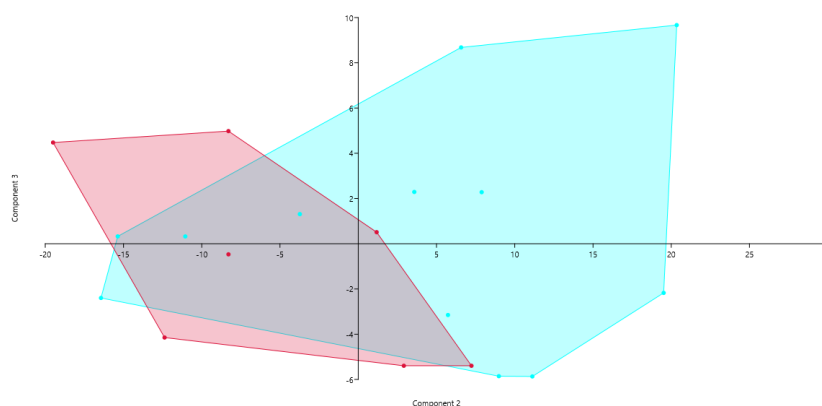
Al realizar el análisis de componentes principales se han podido determinar la existencia de tres componentes principales, todos ellos se basados en los ángulos

interdigitales y las relaciones entre ellos. Así el primer componente principal relaciona los ángulos $\text{II}^\wedge\text{III}$, $\text{II}^\wedge\text{IV}$ y $\text{III}^\wedge\text{IV}$, el segundo componente se relaciona con $\text{III}^\wedge\text{IV}$ y $\text{II}^\wedge\text{IV}$ y finalmente mente el tercer componente relaciona $\text{II}^\wedge\text{III}$ y $\text{III}^\wedge\text{IV}$. A continuación se presentaran los resultados (Anexo c.2).

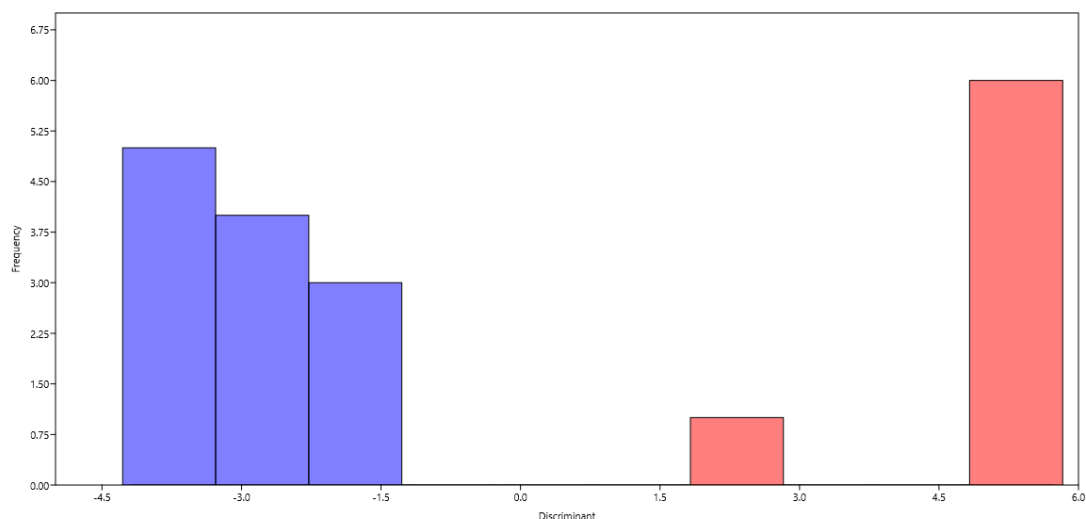
Tal y como se observa en los gráficos inferiores (Anexo c.2) el componente 1 el que aporta la mayor una mayor disparidad entre ambos grupos, sin embargo al analizar únicamente los componente 2 y 3 se observa que no existe una separación clara entre ambos.

Anexo c.2. Análisis de componentes principales de las icnitas aviares. El primer grafico muestra la relación entre los componentes 1 y 2, el segundo relaciona los componentes 1 y 3 y finalmente el tercer grafico la relación entre los componentes 2 y 3.





Finalmente la realización de un análisis discriminante entre ambos grupos nos muestra una clara diferenciación clara entre ambos grupos (Anexo c.3).



Anexo c. 3 Resultados del análisis discriminante en el que se observan los dos grupos diferenciados.

d. Inventario y medidas

1. Icnitas de Perissodactyla

LOSA	LS 1	LS43	LS45	LS46	LS17	LS36
ICNITA	LS1.1	LS43.1	LS45.1	LS46.1	LS17.1	LS36.1
Tipo	Perissodactyla	Perissodactyla (contramolde)	Perissodactyla (contramolde)	Perissodactyla	Perissodactyla	Perissodactyla (contramolde)
Grado de preservación (Marchetti et	buena (0-1)	Buena (1)	Buena (1)	Buena (1)	Pobre (2)	Pobre (2)

al., 2019)						
Punto de recogida	1	2	2	2	6	1
L	8	8	9	10	6	11
A	7	6,2	8	8,5	-	12
L-III	2,5	4	4	4	-	5,5 frag
A-III	2	3,3	4	3,5	3	6
L-II	2	2,6	3,5	2,2	2,5	3 frag
A-II	0,9	0,8	1	1,5	1,5	-
L-IV	1,7	3,7	3	2	1	-
A-IV	0,7	1	1	1,5	1	4
II^III	45	0	30	40	1,7	1
III^IV	45	0	30	45	40	-
II^IV	90	0	50	85	50	40

2. Icnitas de Artiodactyla

LOSA	LS5	LS37	LS42	LS44	LS44
ICNITA	LS5.1	LS37.1	LS42.1	LS44.1	LS44.2
Tipo	Artiodactyla	Artiodactyla (contramolde)	Artiodactyla (en campo)	Artiodactyla (contramolde)	Artiodactyla (contramolde)
Grado de preservación (Marchetti et al., 2019)	pobre (2)	Pobre (2)	Buena (1)	Pobre (2)	Pobre (2)
Punto de recogida	1	2	2	2	2
Longitud total	3,4	7	8	2,5	2,5
Anchura total	3	7	7	2,5	2,5
L-III	2,5	6,5	6,3	2	2
A-III	1	3	3,1	1	1
L-II	2,4	6,5	5,7	2,5	2,5
A-II	1,3	3,5	2,3	1	1

3. Icnitas de Carnivora

LOSA	LS22	LS47
ICNITA	LS22.1	LS47.1
Tipo	Carnivora	Carnivora (en

Grado de preservación (Marchetti et al., 2019)	campo)	
	buena (0-1)	Buena (1)
Punto de recogida	5	5
L	6,7	6,68
A	5	3
L-II	2,21	2,44
A-II	0,8	0,83
L-III	3,36	2,53
A-III	1,13	0,86
L-IV	3,52	2,45
A-IV	1,5	0,98
L-V	1,68	1,52
A-V	1	0,55
II^III	28	10
III^IV	15	15
IV^V	31	20

4. Icnitas de Avianas

L I	Tipo	Grado	Pun	L	A	L	A	L	A	L	A	I	I	I	L	A	I
O C		de	to			-	-	-	-	-	-	I	I	I	-	-	I
S N		preserv	de			I	I	I	I	I	I	^	I	^	1	1	I
A I		ación	reco			I	I	I	I	V	V	I	^	I			^
T		(Marche	gida			I	I					I	I	V			I
A		tti et al.,										I	V				
		2019)															
L S	L S	ave	pobre (2)	2	2	2	1	0	0	0	1	0	6	5	1	-	-
2	2	(contra				,	,	,	,	,	,	,	0	5	0		
1	1	molde)				6	2	8	3	2				5			
L S	L S	ave	Buena	3	2	2	1	0	1	0	1	0	5	4	9	-	-
3	3	(contra	(1)			,	,	,	,	,	,	,	5	0	0		
1	1	molde)				5	2	3	1	3							
L S	L S	ave	pobre (2)	3	2	2	2	0	0	0	0	0	7	8	1	-	-
3	3	(contra				,	,	,	,	,	,	,	0	0	1		
		molde)				7	2	9	2	8	2			0			

					u													
					x													
)													
L S 6 . 3	Ave	pobre (2)	4	2	2	1	0	1	0	0	0	4	9	1	-	-	-	
				,	,	,		,	,	,	0	0	2					
				5	7	5		2	8	3			0					
L S 6 . 4	Ave	Mala (3)	4	2	2	1	0	0	0	0	0	5	6	1	-	-	-	
					,		,	,	,	,		0	0	1				
					1	2	8	2	6	2			0					
L S 7 . 1	Ave(co ntramol de)	Mala (3)	4	1	-	1	0	-	-	0	0	-	6	-	-			
				,			,			,	,		0					
				5			1			8	1							
L S 7 . 2	Ave(co ntramol de)	Mala (3)	4	1	-	1	0	-	-	1	0	-	5	-	-			
				,		,	,				,		0					
				5	2	1				1								
L S 7 . 3	Ave(co ntramol de)	Mala (3)	4	1	2	1	0	1	0	1	0	4	6	1	-			
				,	,	,	,		,		,	0	0	0				
				5	5	2		1		1				5				
L S 7 . 4	Ave(co ntramol de)	Mala (3)	4	1	1	1	0	1	0	1	0	4	6	9	-			
				,	,	,	,		,		,	0	0	0				
				7	8	3	2		3		1							
L S 7 . 5	Ave(co ntramol de)	pobre (2)	4	1	2	1	0	1	0	1	0	7	6	1	-			
				,	,	,	,		,		,	0	0	2				
				6	3	2		3		3				0				
L S 8	Ave (con halux)	buena (1)	4	2	2	1	0	1	0	1	0	6	6	1	0	0	3	
				,	,	,	,	,	,		,	0	0	2	,	,	0	
				5	7	3	2	1	2		2			0	3	1		

.	1																		
L	Ave	pobre (2)	4	2	2	1	0	1	0	1	0	6	7	1	-				
S				,	,	,	,		,	,	,	0	0	2					
8				2	4	2	2		2	2	3			0					
.	2																		
L	Ave	buena	4	3	3	1	0	1	0	1	0	8	7	1	0	0	1		
S	(con	(1)				,	,		,	,	,	0	0	2	,	,	8		
8	halux)					1	1		2	3	2			0	5	1	0		
.	3																		
L	Ave	pobre (2)	4	3	2	1	0	1	0	1	0	4	7	1	0	0	5		
S	(con			,	,	,	,	,	,	,	,	5	0	1	,	,			
8	halux)			4	6	2	2	1	3	5	2			5	5	2			
.	4																		
L	L	Ave	pobre (2)	4	2	2	1	0	1	0	1	0	6	6	1	-	-	-	
S	S					,	,	,	,	,	,	0	0	2					
1	1				5	1	1	2	1	3	2			0					
0	0																		
.	1																		
L	Ave	pobre (2)	4	4	4	2	0	1	0	1	0	6	8	1	0	0	1		
S				,		,	,		,	,	,	0	0	3	,	,	8		
1				4		5	4		3	5	5			0	6	4	0		
0																			
.	2																		
	Dedos	pobres	4	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
				,	2														
L	L	Ave	Pobre	4	2	2	1	0	1	0	1	0	7	9	1	0	0	3	
S	S	(con	(2)			,	,	,	,	,	,	0	0	3	,	,	0		
1	1	halux)				5	5	1	5	1	2	3		0	6	3			
1	1																		
.	1																		
L	Ave	Pobre	4	2	2	1	0	1	0	1	0	8	4	1	0	0	3		
S	(con	(2)		,	,		,		,		,	0	5	1	,	,	0		
1	halux)			4	4	2	2	2	2	2				5	4	2			

1																	
.																	
2																	
L	Ave	Pobre	4	2	2	1	0	0	0	1	0	6	4	9	-	-	
S	(alterad	(2)		,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	0			
1	a)			4	4	5	3	8	5	3	3						
1																	
.																	
3																	
L	Ave	Mala (3)	4	2	2	1	0	?	?	0	0	?	5	?	-	-	
S	(alterad			,			,			,	,		3				
1	a)			4			3			7	2						
1																	
.																	
4																	
L	Ave	Pobre	4	-	-	1	0	0	0	1	0	6	6	1	-	-	-
S		(2)					,	,	,		,	5	5	2			
1							1	7	2		1			0			
2																	
.																	
1																	
L	Ave	Pobre	4	-	-	1	0	0	0	1	0	6	5	1	-	-	-
S		(2)					,	,	,	,	,	5	0	1			
1							5	1	6	2	1	2		5			
2																	
.																	
2																	
L	Ave	Mala (3)	4	2	2	1	0	1	0	f	f	5	-	-	-	-	-
S	(dedos						,	,	,	,	r	r	5				
1	II yIII)						5	1	5	2	a	a					
2											g	g					
.																	
3																	
L	Ave	Mala (3)	4	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	(dedo)						,	,									
1							3	3									
2																	
.																	
4																	
L	Ave	Perfecta	4	3	3	1	0	1	0	1	0	9	6	6	1	0	2
S	(con	(0)		,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	0	,	,	0

1	1	halux)			6	2	7	3	2	2	5	3			4	2
3	3															
	.															
	1															
	L	Ave	buena	4	2	3	1	0	1	0	1	0	7	6	1	0 0 3
	S		(0-1)		,		,	,	,	,	,	,	0	0	3	, , 0
	1				2		6	1	3	2	6	2			0	4 2
	3															
	.															
	2															
	L	Ave	Pobre	4	1	2	0	0	1	0	1	0	6	4	1	- - -
	S		(2)		,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	0	
	1				5	5	6	3	5	3	5	3			5	
	3				fr		fr									
	.				a		a									
	3				g		g									
L	L	Ave	Mala (3)	4	1	3	0	0	1	0	1	0	5	7	1	- - -
S	S	(sin la			,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	3	
1	1	zona de			3		9	3	2	2	f	2			0	
4	4	la			fr						r					
	.	palma)			a						a					
	1				g						g					
	L	Ave	Mala (3)	4	2	3	1	0	1	0	-	-	6	-	-	- - -
	S	(sin					,	,	,	,			0			
	1	dedo					2	3	5	3						
	4	IV)														
	.															
	2															
L	L	Ave	buena	4	2	3	1	0	1	0	1	0	9	5	1	- - -
S	S		(1)			,	,	,		,	,	,	0	5	3	
1	1					3	7	3		1	3	1			0	
5	5															
	.															
	1															
	L	Ave	buena	4	2	3	1	0	1	0	1	0	5	6	1	-
	S		(1)		,	,	,	,		,	,	,	0	0	0	
	1				5	3	9	3		4	4	2			0	
	5															
	.															
	2															
	L	Ave	buena	4	1	1	1	0	1	0	1	0	4	4	7	- - -

S	(contra	(1)											0	0	0			
1	molde)																	
5																		
.																		
3																		
L	Ave	Buena	4	2	3	1	0	1	0	1	0	5	6	1	-	-	-	
S		(1)										0	0	1				
1																		
5																		
.																		
4																		
L	Ave	pobre (2)	4	2	2	1	0	1	0	1	0	6	5	1	-	-	-	
S												0	0	0				
1																		
5																		
.																		
5																		
L	Ave	pobre (2)	4	2	1	1	0	-	-	1	0	-	5	-	-	-	-	
S													0					
1																		
5																		
.																		
6																		
L	dedo	Mala (3)	4	1	3	1	0	0	0	1	0	9	9	1	-	-	-	
S												0	0	7				
1																		
5																		
.																		
7																		
L	Dedo	Mala (3)	4	2	3	1	0	0	0	1	0	8	8	1	-	-	-	
S												0	5	7				
1																		
5																		
.																		
8																		
L	L	Ave	Mala (3)	4	2	1	1	0	1	0	-	-	-	-	0	0	6	
S	S																	
1	1																	
6	6																	
.																		
1																		

L S 1 6 . 2	Ave	Mala (3)	4	1	3	1	0	1	0	1	0	8	6	1	-	-	-
				,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	3			
				8	6	2	3	1	1	1				5			
L S 1 6 . 3	Ave	pobre (2)	4	1	2	1	0	0	0	1	0	8	6	1	-	-	-
				,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	3			
				5	3	5	1	7	2		1			5			
L S 1 6 . 4	Ave	buena (1)	4	2	2	1	0	1	0	1	0	8	7	1	-	-	-
				,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	4			
				1	5	5	4		2	2	2			5			
L S 1 6 . 5	Ave	pobre (2)	4	1	3	1	0	1	0	1	0	8	7	1	-	-	-
				,	,	,	,	,	,	,	,	0	5	5			
				5	3	2		1	1	1				0			
L S 1 6 . 6	Ave	buena (1)	4	3	3	2	0	1	0	1	0	4	6	1	-	-	-
					,	,	,	,	,	,	,	5	0	1			
					2		4	6	2	6	3			0			
L S 1 6 . 7	Ave	pobre (2)	4	2	2	1	0	1	0	1	0	4	7	1	-	-	-
					,	,	,	,	,	,	,	0	0	2			
					6	5	3	2	2	3	1			5			
L S 1 6 .	Ave (con halux)	pobre (2)	4	3	3	1	0	1	0	1	0	6	7	1	0	0	1
				,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	1	,	,	0
				5	5	5	4	3	4	5	5			0	4	2	

8																			
L	Ave	pobre (2)	4	3	3	1	0	1	0	1	0	7	5	1	1	0	4		
S	(con						,		,		,	0	0	4		,	0		
1	halux)						2		2		2			0		2			
6																			
.																			
9																			
L	Ave	buena	4	3	3	1	0	1	0	1	0	6	6	1	0	0	2		
S	(con	(1)		,		,	,	,	,	,	,	0	5	4	,	,	0		
1	halux)			2		6	2	6	2	7	2			0	5	1			
6																			
.																			
1																			
0																			
L	Ave	buena	4	2	2	1	0	0	0	1	0	7	6	1	-	-	-		
S		(1)		,	,	,	,	,	,	,	,	0	5	4					
1				1	5	5	2	8	2	2	2			0					
6																			
.																			
1																			
1																			
L	Ave	Pobre	4	1	2	0	0	0	0	1	0	5	4	8	0	0	5		
S	(contra	(2)		,	,	,	,	,	,	,	,	0	5	5	,	,			
1	molde)			5		9	1	9	1		1				3	1			
6																			
.																			
1																			
2																			
L	Ave	pobre (2)	4	3	1	3	0	0	0	1	0	4	4	7	-	-	-		
S	(contra			,		,	,	,	,	,	,	0	0	5					
1	molde)			4		2	7	2	3	2									
6																			
.																			
1																			
2																			
L	Ave	pobre (2)	4	1	2	-	-	0	0	1	0	7	7	1	-	-	-		
S				,	,			,	,		,	0	0	3					
1	1			2	4			6	2		2			0					
8	8																		
.																			
1																			

L S 1 8 . 2	Ave	Pobre (2)	4	1 , 2	3	1	0 , 1	1 , 1	0 , 1	1 , 1	0 , 1	8 5	8 0	1 2	-	-	-
L S 1 8 . 3	Ave	Buena (1)	4	2 , 5	3 , 5	1 , 5	0 , 1	1 , 3	0 , 2	1 , 7	0 , 1	8 0	8 0	1 4 0	0 , 5	0 , 1	1 5
L S 1 8 . 4	Ave (con halux)	Perfecta (0)	4	2 , 5	3 , 3	1 , 5	0 , 3	1 , 4	0 , 2	1 , 2	0 , 3	8 5	7 0	1 2 5	0 , 5	0 , 5	2 0
L S 1 8 . 5	Ave (con halux)	Perfecta (0)	4	2	3 , 5	1 , 5	0 , 2	1 , 4	0 , 2	1 , 4	0 , 3	7 0	8 0	1 3 5	0 , 5	0 , 5	3 0
L S 1 9 . 1	L S 1 9	Ave (con halux)	Perfecta (0)	4	3 , 5	3	2 , 3	0 , 3	1 , 3	0 , 2	1 , 5	0 , 2	5 0	5 0	9 5	0 , 1	0 , 1
L S 1 9 . 2	Ave (con halux)	Perfecta (0)	4	2 , 5	3	2	0 , 1	1 , 6	0 , 1	1 , 3	0 , 1	6 0	6 0	1 5	0 , 5	0 , 5	1 5
L S 2 0 .	L S 2 0	Ave	buena (0-1)	4	2 , 3	3 , 3	1 , 2	0 , 2	1 , 1	0 , 1	1 , 2	0 , 1	7 5	6 0	1 2 0	-	- -

L	L	Ave	Pobre	3	2	2	1	0	1	0	0	0	6	6	1	-	-	-
S	S	(contra	(2)				,	,		,	,	,	0	0	1			
2	2	molde)					5	3		2	8	3			0			
4	4																	
	.																	
	1																	
	L	Ave	Mala (3)	3	1	3	1	0	1	0	1	0	4	9	1	-	-	-
	S	(contra			,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	3			
	2	molde)			8	2	1	5	1	1	1			0				
	4																	
	.																	
	2																	
	L	Ave	Mala (3)	3	1	2	0	0	0	0	1	0	7	5	1	-	-	-
	S	(contra			,	,	,	,	,	,	,	,	0	0	2			
	2	molde)			7	8	2	7	2	2	1				0			
	4																	
	.																	
	3																	
	L	Ave	Mala (3)	3	1	1	1	0	0	0	-	-	5	-	-	-	-	-
	S	(contra			,			,	,	,			5					
	2	molde)			5			1	7	1								
	4	(dedo																
	.	III y																
	4	parte																
		del IV)																
	L	Ave	Mala (3)	4	2	2	1	0	1	0	-	-	6	-	-	-	-	-
	S	(contra			,	,	,	,	,	,			0					
	2	molde)			1	1	7	2	5	2								
	5	(dedo II																
	.	y III)																
	1																	
	L	Ave	buena	5	2	2	1	0	1	0	1	0	4	5	8	-	-	-
	S		(1)		,	,	,	,		,		,	5	0	5			
	2				4	2	8	1		1		2						
	6																	
	.																	
	1																	
	L	Ave	Mala (3)	5	2	1	1	0	1	0	-	-	5	-	-	-	-	-
	S	(contra			,	,	,	,		,			0					
	2	molde)			8	4	2		3									
	6	(dedo II																

.	y III)																
2																	
L	Ave	pobre (2)	5	1	1	0	0	0	0	0	0	4	5	8	-		
S				,	,	,	,	,	,	,		5	0	0			
2				2	5	7	1	7	1	6	1						
6																	
.																	
3																	
L	L	Ave	buena	5	2	2	1	0	0	0	1	0	5	8	1	-	-
S	S	(contra	(1)			,	,	,	,	,	,		0	0	1		
3	3	molde)				1	4	2	5	2	3	1			0		
0	0																
.																	
1																	
L	Ave	buena	5	2	2	1	0	1	0	1	0	6	7	1	-	-	-
S	(contra	(1)		,	,	,	,	,	,	,		0	0	1			
3	molde)			5	6	5	1	4	2	4	2			0			
0																	
.																	
2																	
L	Ave	pobre (2)	5	2	1	1	0	0	0	0	0	3	5	8	-	-	-
S	(contra			,		,	,	,	,	,		0	0	0			
3	molde)			2		2	5	1	7	2							
0																	
.																	
3																	
L	Ave	pobre (2)	5	3	2	2	0	1	0	1	0	6	5	1	0	0	2
S	(contra			,		,	,	,	,	,		0	5	1	,	,	0
3	molde)			5		1	3	1	5	1				0	4	1	
0	(con																
.	hallux)																
4																	
L	Ave	pobre (2)	5	1	2	1	0	1	0	1	0	4	7	1	-	-	-
S	(contra			,	,		,		,	,		0	0	1			
3	molde)			6	7		2		2	3	3			0			
0																	
.																	
5																	
L	Ave	Mala (3)	5	2	2	2	0	1	0	1	0	5	5	1	-	-	-
S	(contra			,	,		,	,	,			0	5	0			
3	molde)			2	5		1	5	1		1			5			

0																		
.																		
6																		
L	Ave	Mala (3)	5	3	2	2	0	2	0	-	-	5	-	-	-	-	-	
S	(contra			,	,	,	,					5						
3	molde)			2	5	1	1											
0	(dedos																	
.	II y III)																	
7																		
L	L	Ave	Perfecta	1	3	2	1	0	1	0	1	0	6	7	1	1	0	2
S	S		(0)			,	,	,	,	,	,	,	0	0	3	,	0	
3	3				5	5	3	3	2	2	2			0	2			
3	3																	
.																		
1																		
L	L	Ave	Perfecta	4	2	3	1	0	1	0	1	0	7	7	1	0	0	1
S	S	(contra	(0)		,	,	,	,	,	,	,	,	0	5	4	,	,	0
3	3	molde)			8	5	2	5	2	3	2			0	4	1		
9	9																	
.																		
1																		
L	Ave	buena	4	2	2	1	0	1	0	1	0	6	6	1	-	-	-	
S	(contra	(1)		,	,	,	,	,	,	,	,	0	5	3				
3	molde)			1	6	6	2	4	2	2	2			0				
9																		
.																		
2																		
L	Ave	Mala (3)	4	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	(contra					,	,											
3	molde,					5	2											
9	dedo																	
.	III)																	
3																		
L	Ave	pobre (2)	4	-	2	-	-	1	0	1	0	8	5	1	-	-	-	
S	(contra				,				,	,	,	0	0	4				
3	molde,				5				1	2	2			0				
9	dedo II																	
.	y IV)																	
4																		