

# MEMORIA

# TRABAJO DE FIN DE

# MÁSTER

*Máster en Biodiversidad Terrestre y Conservación  
en Islas*

Curso 2022-2024



---

## TRAZAS FÓSILES EN HUESOS DE LAGARTO

---

Alumna Celia Martín Ramírez

Tutores Carolina Castillo Ruiz y Mariano Verde Cataldo

---

1. Área de Paleontología. Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología.  
Universidad de La Laguna.

2. Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias  
Geológicas, Universidad de la República, de Uruguay, PEDECIBA Geociencias, SIN  
ANII | UdelaR · Instituto de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias.

# Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Materiales y Métodos.....</b>	<b>8</b>
3.1. Zona de Estudio.....	8
3.1.1 Sima del Pico de La Mata.....	10
3.2. Material estudiado y ficha técnica del muestreo.....	11
3.3 Preparación del material.....	12
3.4. Análisis del material.....	13
<b>4. Resultados.....</b>	<b>16</b>
4.1. Icnología sistemática .....	17
4.1.1 Familia Machichnidae.....	17
4.1.2 Familia Rogerellidae.....	35
4.1.3 Familia Oichnidae.....	41
4.1.4 Familia Circolitidae.....	43
4.1.5 Familia Gastrochaenolitidae.....	44
4.2. Otras estructuras de Bioerosión.....	45
<b>5. Discusión.....</b>	<b>50</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>56</b>
<b>7. Agradecimientos.....</b>	<b>57</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>58</b>

## Resumen

Este estudio trata de la caracterización de estructuras de bioerosión en huesos de lagartos del género *Galliota*, del yacimiento paleontológico de la Sima del Pico de la Mata, en El Hierro (Islas Canarias). Las bioerosiones son icnofósiles que resultan de la acción de organismos vivos modificando sustratos como huesos, mediante procesos mecánicos y/o químicos. El objetivo principal es identificar grupos de rastros fósiles con morfologías constantes o repetitivas. Las señales comunes incluyen depresiones, perforaciones, cámaras, tubos, canales, surcos y estrías. Para esto, se analizaron huesos bajo lupa binocular, describiendo y asignando las estructuras de bioerosión a un icnotaxón. Luego, se infirieron los comportamientos que generaron esas estructuras y se asignaron a posibles productores. Este trabajo enriquece el conocimiento sobre la Paleontología de Canarias y aporta los primeros datos sobre bioerosión en huesos dentro de cavidades volcánicas. Además, busca entender los procesos tafonómicos en tubos volcánicos y la interacción entre organismos y restos fósiles en la etapa de bioestratinomía dentro del proceso de fosilización. Estos datos también son útiles para reconstrucciones paleoecológicas y otras disciplinas, como la conservación, para desarrollar estrategias de preservación de restos fósiles y entender los procesos de descomposición en contextos específicos.

**Palabras clave:** Bioerosión, icnotaxón, paleontología, tubos volcánicos, *Gallotia*, El Hierro, Islas Canarias...

## Abstract

This study focuses on the characterization of bioerosion structures in bones of lizards from the genus *Galliota*, from the paleontological site of Sima del Pico de la Mata, in El Hierro (Canary Islands). Bioerosions are ichnofossils resulting from the action of living organisms modifying substrates such as bones through mechanical and/or chemical processes. The main objective is to identify groups of fossil traces with consistent or repetitive morphologies. Common signs include depressions, perforations, chambers, tubes, channels, grooves, and striations. To achieve this, bones were analyzed under a binocular microscope, describing and assigning the bioerosion structures to an ichnotaxon. Subsequently, the behaviors that generated these structures were inferred and assigned to possible producers. This work enriches the knowledge of the paleontology of the Canary Islands and provides the first data on bioerosion in bones within volcanic cavities. Additionally, it seeks to understand the taphonomic processes in volcanic tubes and the interaction between organisms and fossil remains during the bioestratinomic stage of the fossilization process. These data are also useful for paleoecological reconstructions and other disciplines, such as conservation, to develop preservation strategies for fossil remains and to understand decomposition processes in specific contexts.

**Keywords:** Bioerosion, ichnotaxon, paleontology, volcanic tubes, *Gallotia*, El Hierro, Canary Islands...

## 1. Introducción

La paleoicnología es la ciencia que se encarga del estudio de trazas fósiles producidas por organismos cuando estaban vivos, sobre o dentro del sustrato abarcando tanto el estudio de los procesos como sus productos resultantes (Pemberton, 1992). Dentro de este campo, la bioerosión se definió como toda forma de penetración biológica en sustratos duros (clastos, huesos o rocas) (Neumann, 1966). Con el tiempo, diversos autores han redefinido la bioerosión, entendiéndose como el proceso mediante el cual organismos vivos, como microorganismos, invertebrados y otros agentes biológicos, provocan la degradación o modificación de materiales inorgánicos u orgánicos mediante actividades mecánicas o químicas. Este fenómeno es comúnmente observado en diversos entornos naturales, incluyendo ambientes marinos, terrestres y subterráneos, y puede manifestarse en una variedad de formas, desde la excavación de túneles y cámaras hasta la perforación de superficies duras como conchas, huesos, madera o rocas (Pirrone *et al.*, 2014; Weinstein *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2023).

La bioerosión de huesos y dientes ha sido objeto de varias publicaciones a lo largo de más de 140 años. La primera descripción data de 1864, cuando Wedl encontró túneles de unos 8  $\mu\text{m}$  de diámetro en dientes humanos recientes expuestos a agua de pozo sin tratar, así como en dientes fósiles de reptiles (Jans, 2008). Por otra parte, en el contexto del estudio de las bioerosiones el trabajo de Pirrone *et al.* (2014) puede servir como guía para identificar. Así, Pirrone *et al.* (2014) propuso las siguientes icnotaxobases: 1) morfología general, 2) bioglifos, 3) llenado, 4) ramificación, 5) patrón de ocurrencia, y 6) sitio de emplazamiento. Por tanto podemos clasificar las estructuras de bioerosión para poder identificarlas siguiendo características como surcos, estrías, canales, cámaras, agujeros, ranuras, bioglifos, entre otros.

Durante los últimos años, los rastros fósiles de bioerosión en huesos se han utilizado principalmente, como herramientas para descifrar aspectos de la identidad y paleoecología de sus productores, e igualmente se ha reconocido su importancia en la reconstrucción de los procesos tafonómicos involucrados; particularmente durante las primeras etapas de la descomposición, y las implicaciones de la bioerosión en la preservación ósea (Jans, 2008; Pirrone *et al.*, 2014).

Este estudio se centra en la bioerosión de huesos conservados en tubos volcánicos, una combinación de condiciones que presenta un escenario único para el análisis de

procesos biológicos y geológicos. Los tubos volcánicos son formaciones subterráneas creadas por el flujo de lava durante erupciones volcánicas que proporcionan un ambiente cerrado y relativamente estable que puede influir de manera significativa en la preservación de restos óseos (Rodríguez *et al.*, 2000; Léveillé y Datta, 2010; Oromí *et al.*, 2021).

Los tubos volcánicos presentan una serie de características que los convierten en laboratorios naturales excepcionales para el estudio de la bioerosión. La temperatura y la humedad en el interior de estos tubos suelen ser bastante constantes, lo que minimiza la variabilidad en las condiciones de descomposición y preservación. Además, la ausencia de luz solar directa y la limitada circulación de aire crean un microambiente que puede afectar tanto la actividad de organismos bioerosionadores como la química del entorno. Estas condiciones particulares permiten un análisis detallado de las marcas de bioerosión y la identificación de los agentes responsables, ya sean bacterias, hongos, o incluso pequeños animales (Sauro *et al.*, 2020).

Para entender la interacción entre organismos y huesos en el contexto paleontológico, es fundamental comprender el proceso de fosilización. La fosilización implica un conjunto de cambios químicos y físicos que ocurren cuando un organismo muere y se transforma en un fósil, un proceso fundamental en paleontología. Este proceso puede variar considerablemente dependiendo de las condiciones ambientales en las que se depositan los restos y el tipo de material orgánico que se conserva (Louys, 2012).

El Hierro, la isla más pequeña y occidental de las Islas Canarias, se destaca por su reciente historia geológica y su patrimonio geológico, lo que llevó a su designación como Geoparque Mundial de la UNESCO en 2014 (Dóniz *et al.*, 2021). Con una antigüedad de 1,2 millones de años, presenta 46 yacimientos paleontológicos ubicados en su mayoría en cavidades volcánicas, formadas por materiales expulsados durante el vulcanismo cuaternario (Martín-González *et al.*, 2019); siendo los fósiles más importantes encontrados en estos yacimientos restos de lagartos gigantes y aves, algunos ya extintos (Palacios-García *et al.*, 2019). La colección de sitios paleontológicos de El Hierro es importante, ya que proporciona valiosa información sobre la evolución de la diversidad biológica de la isla, incluyendo procesos de colonización y extinción de especies. En el marco del estudio sobre estructuras de bioerosión en huesos conservados en tubos volcánicos, es crucial considerar el proceso

tafonómico de bioestratinomía que ocurre en la cueva investigada. Los huesos estudiados están sobre la superficie del tubo. Este proceso se refiere a la acumulación gradual de materia orgánica y mineral dentro del ambiente específico de los tubos volcánicos, donde los huesos y las estructuras biogénicas se preservan a lo largo del tiempo (Rodríguez *et al.*, 2000; Fernández, 2001).

La importancia de estudiar las bioerosiones, radica en su capacidad para proporcionar información detallada sobre los procesos tafonómicos que afectan a los restos fósiles y arqueológicos. La identificación y caracterización de las estructuras de bioerosión en estos contextos, pueden ayudar a reconstruir cómo los organismos interactuaron con los sustratos a lo largo del tiempo geológico (Louys, 2012). Además, las bioerosiones son indicadores valiosos de la biodiversidad pasada y de los cambios ambientales, permitiendo entender mejor las dinámicas ecológicas y evolutivas en diferentes ecosistemas.

La documentación de trazas fósiles en tubos volcánicos no solo permite entender mejor cómo los organismos bioerosionadores interactúan con los restos óseos en condiciones ambientales poco variables, sino que también proporciona relevancia sobre los procesos tafonómicos únicos que ocurren en estos entornos. La identificación y caracterización de las estructuras de bioerosión en huesos dentro de los tubos volcánicos pueden revelar patrones específicos de actividad biológica y química, así como las adaptaciones de los organismos a este tipo de hábitats singulares (Rodríguez *et al.*, 2000; Yahez *et al.*, 2005).

Además, este tipo de investigación contribuye significativamente al campo de la paleontología al proporcionar datos sobre la biodiversidad pasada y las interacciones ecológicas en entornos volcánicos específicos. La comprensión de cómo los organismos bioerosionadores han influenciado la preservación de huesos a lo largo del tiempo geológico puede ayudar a reconstruir paleoambientes y a entender mejor las dinámicas evolutivas en condiciones extremas (Villegas *et al.*, 2022).

Este trabajo se lleva a cabo en el yacimiento paleontológico de la Sima del Pico de la Mata en la isla de El Hierro (Islas Canarias). En el año 2001 fue propuesto como Punto de Interés Paleontológico (Castillo *et al.*, 2001), y más tarde como Lugar de Interés Geológico (Martín-González *et al.*, 2019) por la presencia de restos fósiles de lagartos endémicos de Canarias del género *Gallotia* (Rodríguez *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2001;

Palacios *et al.*, 2019). La diversidad de lagartos presentes en estas muestras puede ofrecer una ventana al pasado biológico de la región, revelando qué especies habitaron la isla en diferentes momentos de su historia geológica. Este registro paleontológico no solo proporciona información sobre la biodiversidad pasada, sino que también permite estudiar cómo estas especies han respondido a cambios climáticos y ambientales a lo largo del tiempo (Rodríguez *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2001; Martín *et al.*, 2019).

Además de su valor científico, los yacimientos paleontológicos en El Hierro, también son importantes para la conservación del patrimonio natural y cultural. Estos sitios permiten a los científicos y conservadores estudiar, preservar y compartir el legado paleontológico de la isla, contribuyendo así al entendimiento de la historia de la vida en Canarias y en un contexto más amplio (Martín-González *et al.*, 2019).

La escasez de investigaciones similares que utilicen este enfoque resalta la posible aplicación de la icnología, como ciencia que estudia las interacciones entre los organismos y su entorno, en el contexto de las bioerosiones en huesos fósiles, como un enfoque novedoso que puede proporcionar información relevante sobre los procesos paleoambientales y la paleoecología. Con el fin de poder obtener una visión más completa de cómo las comunidades biológicas antiguas interactúan con su entorno y cómo estas interacciones afectan la preservación de los restos fósiles.

## **2. Objetivos.**

El objetivo principal de este trabajo es identificar y caracterizar las estructuras de bioerosión presentes en los huesos conservados en el tubo volcánico del Pico Sima de la Mata.

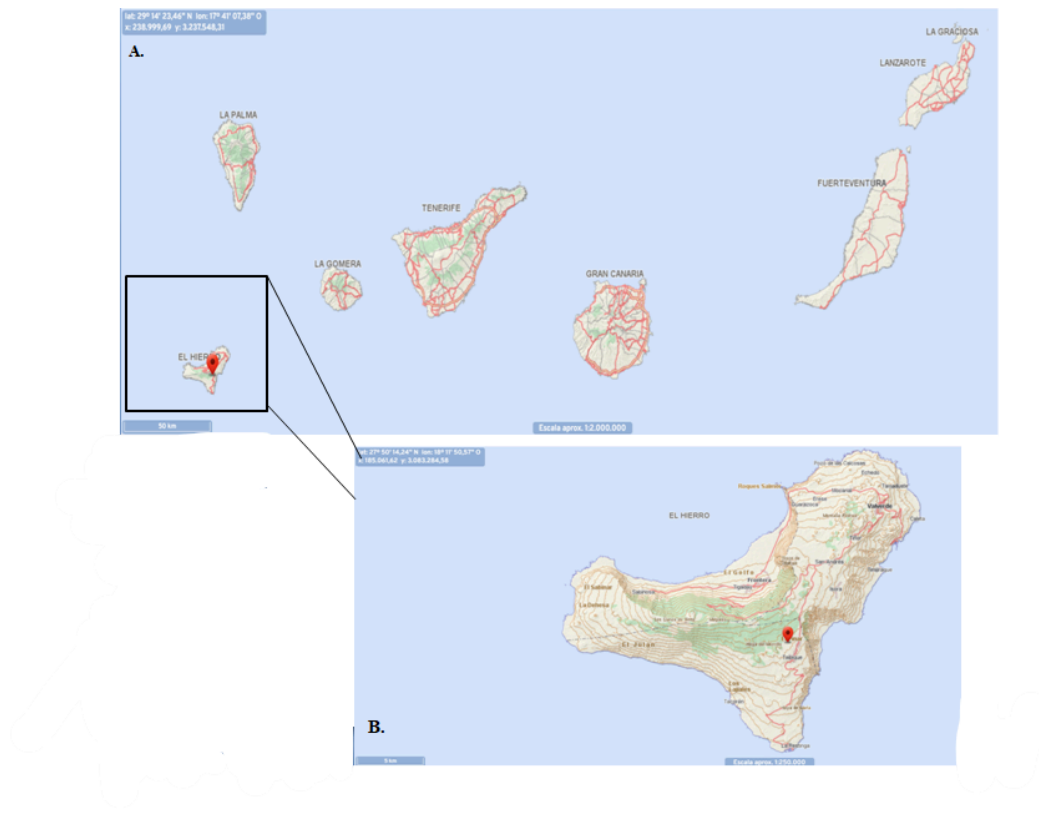
Como objetivos secundarios:

- A. Describir las bioerosiones observadas en los huesos de lacértidos.
- B. Identificar las bioerosiones y asociarlas a un icnotaxón.
- C. Inferir los posibles productores

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1. Zona de Estudio

El material estudiado en este trabajo procede del yacimiento paleontológico de la Sima del Pico de la Mata, localizado en la isla El Hierro (Islas Canarias). Las Islas Canarias están situadas en el Océano Atlántico entre los 29° 24' 40" N y los 27° 38' 16" N y los 13° 19' 54" W; a 97 km de Marruecos y del Sáhara Occidental, y a unos 1.400 km de la Península Ibérica. Es un archipiélago de origen oceánico y volcánico, con ocho islas principales (Tenerife, La Palma, La Gomera, El Hierro, Gran Canaria, Lanzarote, Fuerteventura y La Graciosa), además de cinco islotes mayores (Alegranza, Montaña Clara, Lobos, Roque del Este. y Roque del Oeste) (Fig. 1).



**Figura 1.** Ubicación de la isla de El Hierro y área de estudio (Fuente: Grafcan. Gobierno de Canarias, 2024)

La isla de El Hierro, es la isla más pequeña meridional y occidental del archipiélago canario, con una extensión superficial de 268,71 km. Es una isla muy escarpada, alcanza una altitud máxima 1503 metros en el vértice del Malpaso, situado en el centro geográfico de la isla.



El clima del Hierro es resultado de la acción de los vientos alisios, las borrascas atlánticas y el tiempo subsahariano (Marzol, 2001). Presenta una alta variedad de microclimas dependiendo de la altitud y orientación del relieve. Las precipitaciones son irregulares y varían anualmente entre los 200 mm la costa) y los 600 mm (en el centro de la isla). Las temperaturas siguen un régimen climático mesotérmico que va cambiando en función de la altitud (Fernández-Pello, 1989)

La distribución de la vegetación en la isla de El Hierro, se puede ajustar a los pisos bioclimáticos de las islas centrales y occidentales del archipiélago. Siguiendo los microclimas podemos diferenciar una vegetación zonal o altitudinal, que desde la costa a la cumbre se observan: a) Vegetación halófila costera, b) Piso basal xérico, dominado por especies suculentas, c) Bosque termófilo o termo esclerófilo, de transición entre la vegetación xerófila y la zona forestal, d) Monteverde, en la vertiente norte de la isla y, e) La zona del pinar que está caracterizado por estrato arbóreo (*Pinus canariensis*) y algunas plantas arbustivas. El área de estudio corresponde al piso bioclimático del Pinar (Asociación *Bystropogon offerrensis-Pinetum canariensis*) Del Arco *et al.*,(2006) (Fig.2).



**Figura 2.** Ubicación de la Sima del pico de la Mata en la isla de El Hierro. La leyenda corresponde a la vegetación potencial de El Hierro (Fuente: Grafcan. Gobierno de Canarias, 2024).

Desde el punto de vista geológico, la isla del Hierro emergió desde el fondo del océano atlántico hace 1,2 millones de años. La parte emergida de la isla se produjo en al menos cuatro fases de actividad volcánica que dieron lugar a la superficie insular de la actualidad. La primera corresponde al edificio de Tiñor y se produjo entre el Pleistoceno inferior y medio (1,2-0,88 m.a.), la segunda dio lugar principalmente al Edificio de El Golfo entre 0,545 y 0,158 m.a (Pleistoceno medio y superior). La tercera y cuarta etapa de la actividad volcánica se concentró en las dorsales de la isla formándose los grandes acantilados durante el Pleistoceno superior entre 0,145 y 0,020 m.a, y la plataforma insular que se produjo en los últimos 20.000 años (Carracedo *et al.*, 2001).

### **3.1.1 Sima del Pico de La Mata**

El tubo volcánico estudiado se ubica al occidente del volcán Pico de la Mata, en el municipio de El Pinar (El Hierro), a una altitud de 960 metros sobre el nivel del mar. Desde el punto de vista geomorfológico, la sima presenta forma de embudo invertido con una abertura de 2 metros de diámetro, que actualmente se encuentra obstruida por grandes rocas. El desnivel total de la Sima es de 23,5 metros (Fig. 3). La base tiene unos 50 m de diámetro y en su pared oriental hay una pequeña galería de corto recorrido, con numerosas estalactitas de lava (“estafilitos”). Por debajo de la boca se encuentra un gran cono de derrubios resultantes de derrumbes internos y material que se ha ido depositando en el interior (Rodríguez *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2001; Palacios *et al.*, 2021 )

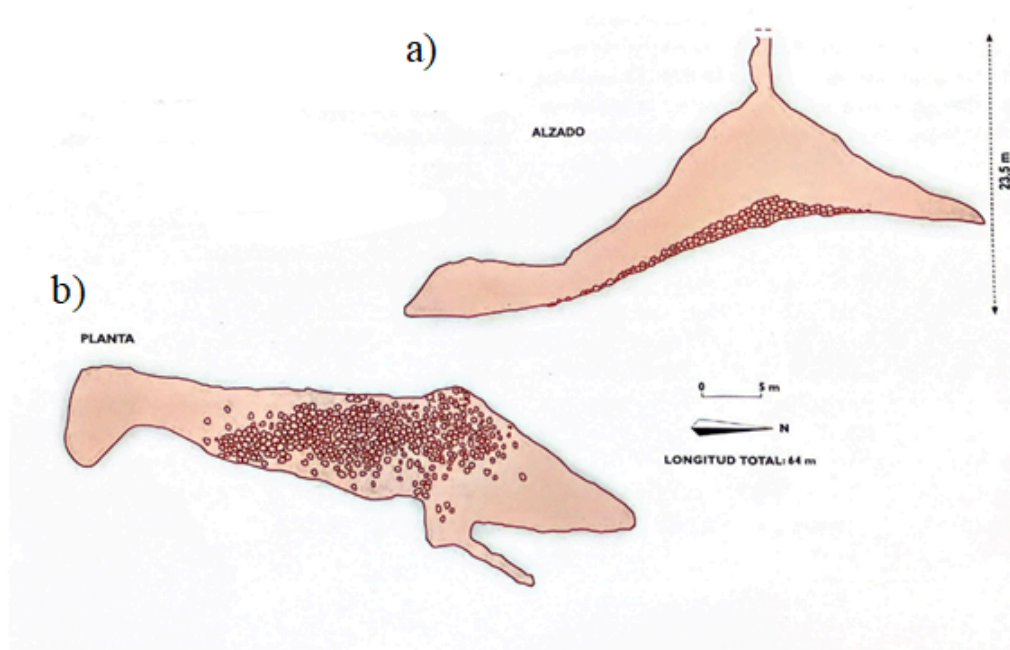
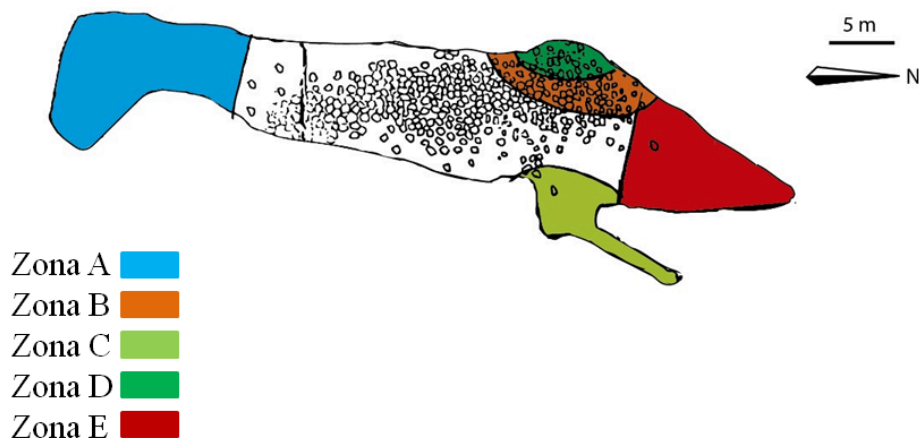


Figura 3. a) Planta y b) alzado de la Sima del Pico de la Mata (tomado de Rodríguez et al., 2000).

### 3.2. Material estudiado y ficha técnica del muestreo.

Para llevar a cabo este trabajo, se analizaron los restos de los 215 huesos desarticulados y mezclados de lagartos del género *Gallotia* del yacimiento paleontológico de la Sima del Pico de La Mata, depositados en el Área de Paleontología del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología. Estos fueron obtenidos en los muestreos realizados en el seno del proyecto de la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias sobre “La distribución antigua del Lagarto Gigante de El Hierro”. Los materiales estudiados corresponden a la campaña de campo de 1995. Para la recogida de restos en el interior del tubo, se siguió la metodología descrita por Castillo *et al.*, (1996).

El material revisado corresponde a las áreas de muestreo D, B y E (Fig. 4; Tabla 1). Bajo la pequeña apertura del techo, en el acúmulo de derrubios, se encuentra la zona D. En esta sección se encontró una gran cantidad de restos de grandes lagartos (*Gallotia goliath* y *Gallotia simonyi*), y fauna doméstica (perro y cabra). Y aparecieron casi todos los restos se encontraban en la pequeña galería lateral (Zona A) o al otro lado (Zona E), junto a la pared (Zona C) y bajo la abertura (Zona D y B).



**Figura 4.** Ubicación de las zonas de procedencia del material muestreado en 1995 en la Sima del Pico de la Mata.

La mayoría de los restos fósiles de lagartos recogidos (Tabla 1) pertenecen a la zona D (52.3%) y la B que corresponde al suelo de la cavidad volcánica que se sitúa más cerca por debajo de la abertura de la sima

**Tabla 1:** Abundancia relativa (%) de los huesos recogidos por zonas de muestreo.

<i>Zona muestreada</i>	<i>Abundancia relativa de los huesos</i>
Zona D	52.3
Zona B	44,0
Zona E	3.7

### 3.3 Preparación del material

Se llevaron los restos al laboratorio donde primero fueron limpiados y restaurados. Para la restauración se consolidaron con una mezcla de pegamento y acetona. Se procedió a la clasificación y etiquetado de los huesos. Las cajas de almacenamiento fueron etiquetadas con información relevante, como la zona del yacimiento donde se encontraron, la fecha de muestreo, el número de colección, la parte del hueso y, en su caso, su identificación taxonómica (en este caso, género *Galliota*)

### 3.4. Análisis del material.

Se revisaron los 215 huesos recuperados del yacimiento de la Sima del Pico de la Mata con el objetivo de identificar las trazas fósiles presentes en estos huesos, buscando un patrón de repetición de estructuras morfológicas. Para ello se tomó de referencia el estudio que realizó Pirrone et al., (2014), donde definió una serie de icnotaxobases para buscar estos patrones analizando la morfología general de las bioerosiones que encontrábamos. Con respecto a estas, se consideró la presencia de hoyos y agujeros, surcos, estrías, cámaras, tubos, y canales. Una vez revisado el material se siguió el siguiente esquema de estudio.

#### A. Visionado de los huesos y selección de material.

- Se realizó un visionado de los huesos utilizando una lupa binocular.
- Se seleccionaron 35 huesos que presentaban trazas de bioerosión mecánicas evidentes, y cuyos resultados se presentan en este trabajo.
- Se realizó la icnología sistemática para 17 de los 35 huesos seleccionados.

#### B. Fotografía y descripción de trazas:

- Se utilizó el programa AxioVision SE64 Rel.4.8 para capturar fotografías de las trazas más destacables.
- Se describieron las trazas más relevantes, teniendo en cuenta su morfología y ubicación en el hueso.

#### C. Identificación de bioerosiones:

-Se extrajo una tabla (Tabla 2) con los icnogéneros ya descritos en sustratos óseos (Wisshak et al., 2019) para realizar un estudio comparativo con las trazas presentes en nuestro yacimiento. Se analizaron las descripciones de estos icnogéneros y, siguiendo las diagnósticos originales, se llegó a la determinación de nuestras propias trazas.

**Tabla 2:** Recopilación de icnotaxa de sustrato óseo (Wisshak et al. 2019; Muñiz et al., 2020).

<b>Ichnotaxón</b>	<b>Sinónimo</b>	<b>Tipo,sustrato, marcador</b>	<b>Referencias</b>
<i>Karethraichnus</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Zonneveld et al., 2015

<i>K. lakkos</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Zonneveld et al., 2015*
<i>K. fiale</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Zonneveld et al., 2015
<i>Knethichnus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Jacobsen & Bromley, 2009
<i>K. parallelus</i>	nom. corr.	Predación; osteico; vertebrado	Jacobsen & Bromley, 2009*
<i>Knethichnusparallelum</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	-
<i>Linichnus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Jacobsen & Bromley, 2009
<i>L. serratus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Jacobsen & Bromley, 2009*
<i>L. bromley</i>		-	Muñiz et al, (2020)
<i>Machichnus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Mikuláš et al., 2006
<i>M. regularis</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Mikuláš et al., 2006*
<i>M. bohemicus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Mikuláš et al., 2006
<i>M. multilineatus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Mikuláš et al., 2006
<i>M. fatimae</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	de Araújo-Júnior et al., 2017
<i>Mandaodonites</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Cruickshank, 1986
<i>M. coxi</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Cruickshank, 1986*
<i>Munitusichnus</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Parkinson, 2016
<i>M. pascens</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Parkinson, 2016*
<i>Nihilichnus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Mikuláš et al., 2006
<i>N. nihilicus</i>	-	Predación; osteico; vertebrado	Mikuláš et al., 2006*

<i>Osedacoides</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Karl et al., 2012
<i>O. jurassicus</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Karl et al., 2012*
<i>Osteichnus</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Höpner&Bertling, 2017
<i>O. ossibiontum</i>	Asthenopodichniu mossibiontum	Macroperforación; osteico; invertebrado	Thenius, 1988*
<i>Osteocallis</i>	-	Pastoreo; osteico; invertebrado	Roberts et al., 2007
<i>O. mandibulus</i>	-	Pastoreo; osteico; invertebrado	Roberts et al., 2007*
<i>O. infestans</i>	-	Pastoreo; osteico; invertebrado	Paes Neto et al., 2016
<i>Palaeomycelites</i>	-	-	-
<i>Sulculites</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Vialov&Nessov, 1974
<i>S. bellus</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Vialov&Nessov, 1974*
<i>Cubiculum</i>	-	Macroperforación; osteico; invertebrado	Roberts et al., 2007
<i>C. ornatum</i>	Cubiculumornatus	Macroperforación; osteico; invertebrado	Roberts et al., 2007*
<i>C. leve</i>	Cubiculumlevis	Macroperforación; osteico; invertebrado	
<i>C. inornatum</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Xing et al., 2015
<i>C. cooperi</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Parkinson, 2016
<i>Abeliella</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Mägdefrau, 1937
<i>A. riccioides</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado?	Mägdefrau, 1937*
<i>A. procera</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado?	Mägdefrau, 1937*

<i>Amphifaichnus</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Pirrone&Buatois, 2016
<i>A.seilacheri</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Pirrone&Buatois, 2016*
<i>Clavichnus</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Höpner&Bertling, 2017
<i>C. ionasi</i>	<i>Trypanitesionasi</i>	Macroperforación; osteico; invertebrado	(Muñiz et al., 2010)*
<i>Cuniculichnus</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Höpner&Bertling, 2017
<i>C. variabilis</i>		Macroperforación; osteico; invertebrado	Höpner&Bertling, 2017

#### 4. Resultados.

De los 215 huesos del yacimiento donde se encontraron más estructuras de bioerosión. Se seleccionaron 35 huesos con estructuras de bioerosion relevantes aunque fueron 17 huesos registrados con trazas descritas e identificadas. Se identificaron 8 icnógenos y 13 icnoespecies.

A continuación mostramos la abundancia relativa de los huesos con trazas descritas. (Tabla 3)

**Tabla 32:** Abundancia relativa (%) de los huesos con trazas descritas recogidos por zonas de muestreo.

Zona muestreada	Abundancia relativa de los huesos con trazas identificadas
Zona D	33.33
Zona B	50
Zona E	16.66



## 4.1. Icnología sistemática

A continuación se presenta la icnología sistemática asociada a las trazas de bioerosión encontradas en los huesos fósiles de *Galliota* sp.

Los resultados se han ordenado por icnofamilias siguiendo la propuesta de Wisshak et al., (2019).

### 4.1.1 Familia Machichnidae

**Ichnogénero:** *Machichnus* Mikuláš, Kadlecová, Fejfar, Dvořák, 2006.

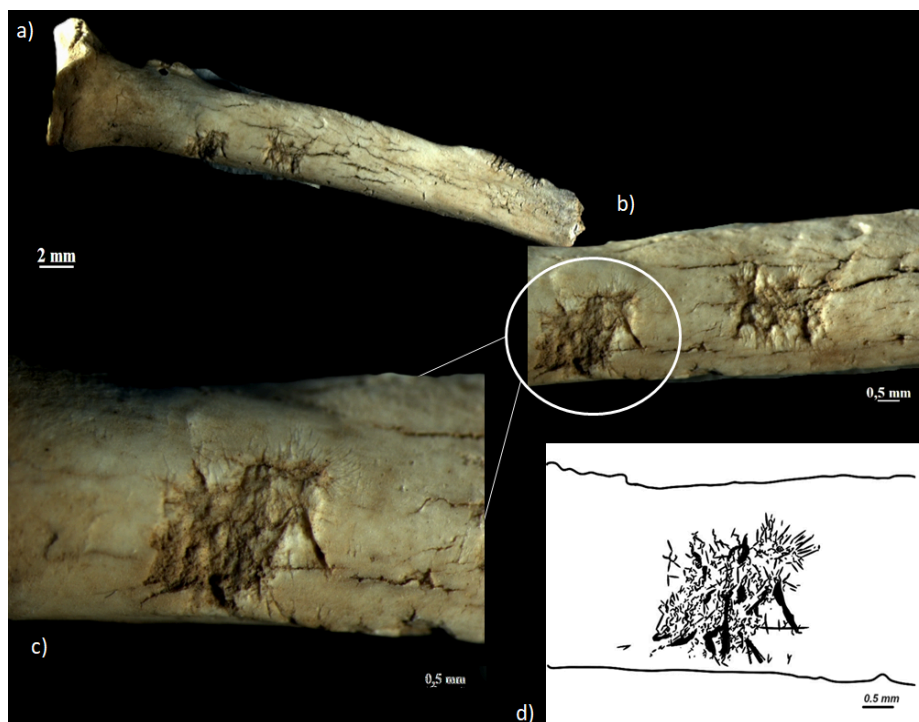
**Ichnoespecie:** *Machichnus* isp. MikulášKadlecová, Fejfar, Dvořák, Z. 2006.

Figura: 5 y 6

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

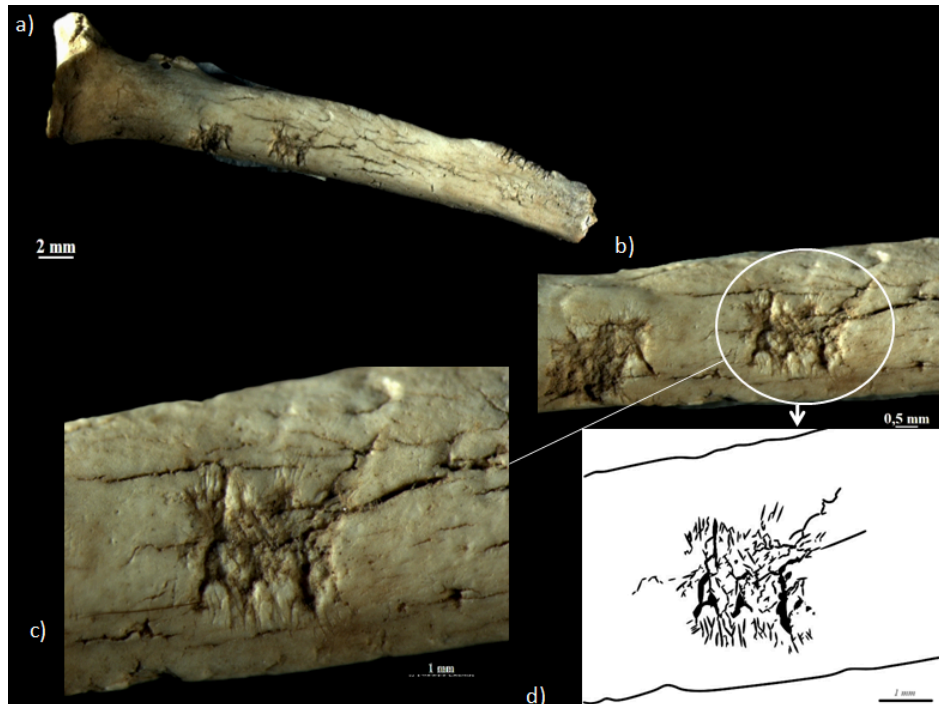
**Diagnosis original:** *Machichnus* formado por surcos con superficie lisa. La sección transversal es regularmente arqueada.

**Materiales:** PCCRULL-256: Radio derecho (Fig. 5 y 6).



**Figura 5:** *Machichnus* isp. a) PCCRULL-256, vista general del hueso b,c) PCCRULL-256, detalle de grupo de estrías que convergen hacia una depresión pudiendo superponerse entre sí. Se observan estrías

que convergen en forma de V con el vértice hacia el interior del hueso, y algunas emparejadas. (Una frente a la otra) d) PCCRULL-256, traza dibujada para ver detalles.



**Figura 6:** *Machichnus* isp. a) PCCRULL-256, vista general del hueso b, c) PCCRULL-256, detalle de estrías, algunas emparejadas (en forma de V) y otras individuales. Estas estrías convergen en una depresión, formada por varios canales (también en forma “V”) que pueden disponerse uno al lado del otro con el vértice hacia la parte interior de la diáfisis o bien siguiendo el eje mayor del hueso d) PCCRULL-256, traza dibujada para ver detalles.

**Descripción:** Se trata de dos rastros fósiles ambos compuestos por estrías que convergen en una depresión donde se superponen diferentes grupos de estrías con diferente tamaño, forma y grosor. Tamaño de la traza completa de 2 mm en el hueso observado. Las estrías que convergen hacia la depresión no superan los 0,3 mm de largo.

**Observación:** Tras observar esta traza, notamos que no se encuentra descrita en la bibliografía. Dadas sus características relevantes y su morfología destacada, consideramos necesario revisar y describirla. Por sus características la hemos incluido en el icnogénero *Machichnus* isp.

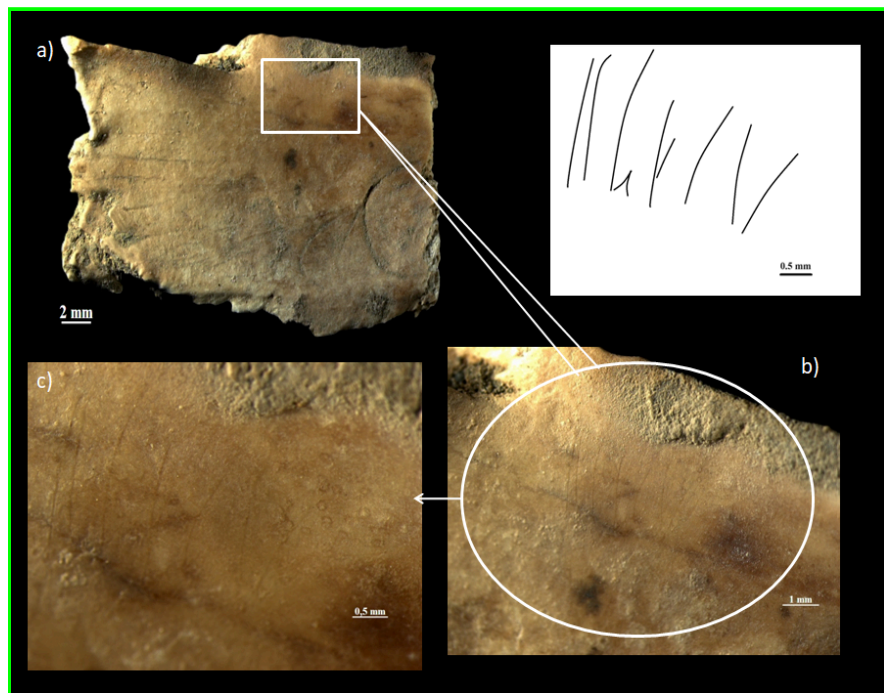
**ICnoespecie:** *Machichnus multilineatus* Mikuláš, Kadlecová, Fejfar, Dvořák, 2006.

Figura: 7 y 8

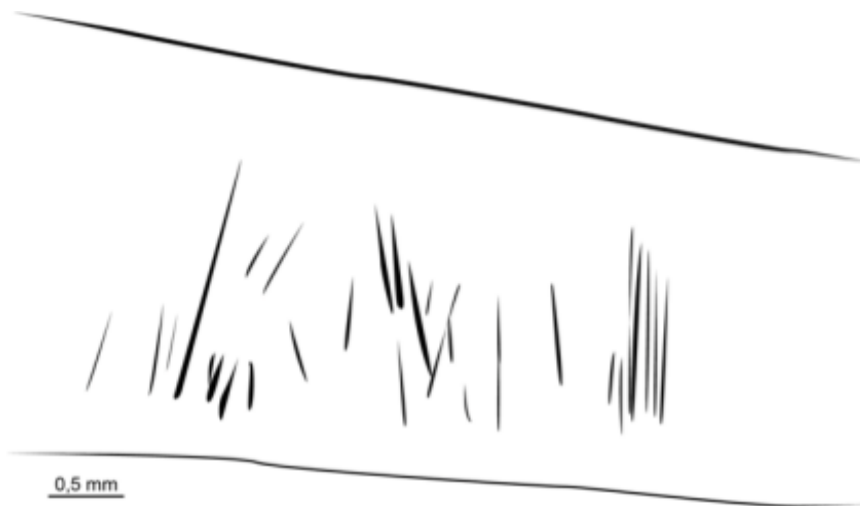
**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** Surcos estriados longitudinalmente, generalmente arqueadas en sección transversal.

**Materiales:** PCCRULL-241, postorbitofrontal (Fig. 7) y PCCRULL- 212, Fémur izquierdo (Fig. 8),



**Figura 7:** *Machichnus multilineatus*. a) PCCRULL-241, vista general del hueso. b, c) PCCRULL-241, conjunto de 9 estriás dispuestas de manera paralela o subparalela, desde la parte posterior a la anterior. Se encuentran a una distancia media de 0,5 mm entre ellas. La longitud media de los surcos estriados es de 1,5 mm. La cuarta estría presenta una forma de “V” y es considerablemente más pequeña que el resto (0,2 mm). d) PCCRULL-241, traza dibujada para ver detalles.



**Figura 8:** *Machichnus multilineatus* a) PCCRULL-212, vista general del hueso. b) PCCRULL-212, conjunto de estrías, mayoritariamente paralelas entre sí cortándose en algunos casos. Orientación en general subperpendicular al eje mayor del hueso. La longitud media de las estrías es de 1,5 mm. Distancia media entre las estrías 0,1 mm c) PCCRULL-212, traza dibujada para ver detalle.

**Descripción:** Estrías curvadas, poco profundas, disponiéndose en series, paralelas o semi paralelas. En la localidad estudiada se encuentran generalmente en regiones corticales y extremos de los huesos; a menudo se superponen dentro de la serie. Cada serie observada consta de siete o más de doce estrías que suelen ser uniformes en forma y dimensiones. El ancho observado es de 0,1mm o inferior; La longitud habitual de los rayones es 0,1 a 1,5 milímetros.

**Observación:** Los arañazos de la morfología presentada muy probablemente se producen durante la actividad de alimentación en los tejidos blandos que rodean los huesos (Mikuláš et al. (2006).)

**Iconoespecie:** *Machichnus regularis* Mikuláš, R., Kadlecová, E., Fejfar, O., Dvořák, Z. 2006.

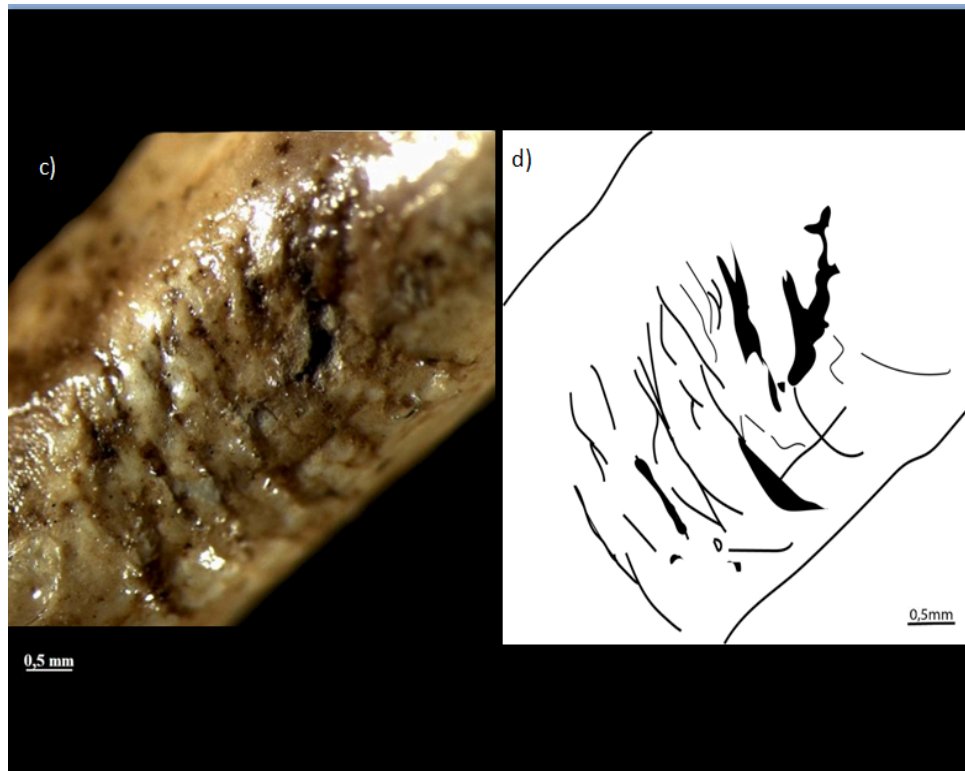
Figura: 9

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** Surcos paralelos o subparalelos en serie poco profundos en sustratos duros. La superficie de la ranura es lisa o estriada longitudinalmente. Cada serie consta normalmente de docenas de ranuras que suelen ser uniformes en forma y dimensiones. Las ranuras están orientadas perpendicularmente al borde del sustrato.

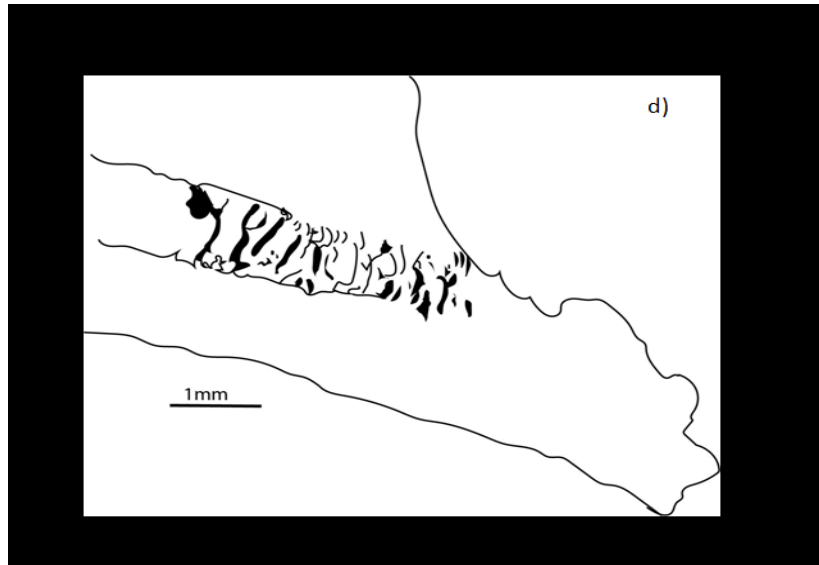
**Materiales:** PCCRULL- 386, Fémur derecho (Fig. 9) y PCCRULL-256 Radio derecho (Fig. 10)





**Figura 9:** *Machichmus regularis* a) PCCRULL-386, vista general del hueso b y c) PCCRULL-386, vista en aumento de agrupación de ranuras dispuestas de manera paralela .Se encuentran en la parte anterior del hueso en el lateral. Miden una media de 1,5 mm, dispuestas a una distancia media de 0,2mm. d) PCCRULL-386, dibujo de la bioerosión.





**Figura 10:** *Machichnus regularis* a) PCCRULL-256, vista general del hueso b) PCCRULL-256 detalle de la traza descrita. c) PCCRULL-256, conjunto de ranuras de longitudes entre 1 mm y 0,5 mm dispuestas paralelamente. Situada en el borde lateral de la parte distal del hueso. Podemos contar 14 ranuras de diferentes grosores y tamaños. d) PCCRULL-256, traza dibujada para apreciar detalles.

**Descripción:** Surcos seriados, paralelos o subparalelos, poco profundos y lisos. En el sitio estudiado, se encuentran en el hueso cortical y en lateral que queda por debajo del trocánter mayor. Cada serie consta normalmente de cuatro a docenas de ranuras que suelen ser uniformes en forma y dimensiones. El ancho varía de menos de 0,1 mm a 0,2 mm. La longitud habitual de los rayones individuales es de 1mm a 2 mm de largo.

**Iknoespecie:** *Machichnus bohemicus* Mikuláš, R., Kadlecová, E., Fejfar, O., Dvořák, Z. 2006.

#### Figura 11

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnos original:** Arañazos poco profundos, finos, discretos, paralelos a subparalelos, de fondo liso. Los arañazos se producen en pequeños grupos o series de anchura y longitud correspondientes.

**Materiales:** PCCRULL-232. Húmero derecho (Fig.11)



**Figura 11:** *Machichnus bohemicus* a) PCCRULL\_232 vista general del hueso b,c) PCCRULL\_232, arañazos dispuestos paralelamente a una distancia media de 0,15 mm. El ancho medio de las ranuras es de 0,125mm y la longitud media es de 0,75mm. La traza se sitúa en la diáfisis del hueso aproximadamente a la mitad entre la parte posterior y la parte anterior.

**Descripción:** Arañazos poco profundos, disponiéndose en series, paralelas. El ancho observado es de 0,1mm o inferior; La longitud habitual de los rayones es de 0,8 milímetros, en el hueso observado (Fig. 11)

**Iconogénero:** *Linichnus*. Jacobsen Aa. R., Bromley R. G., 2009.

**Iconoespecie:** *Linichnus serratus* Jacobsen Aa. R. and Bromley R. G. (2009)

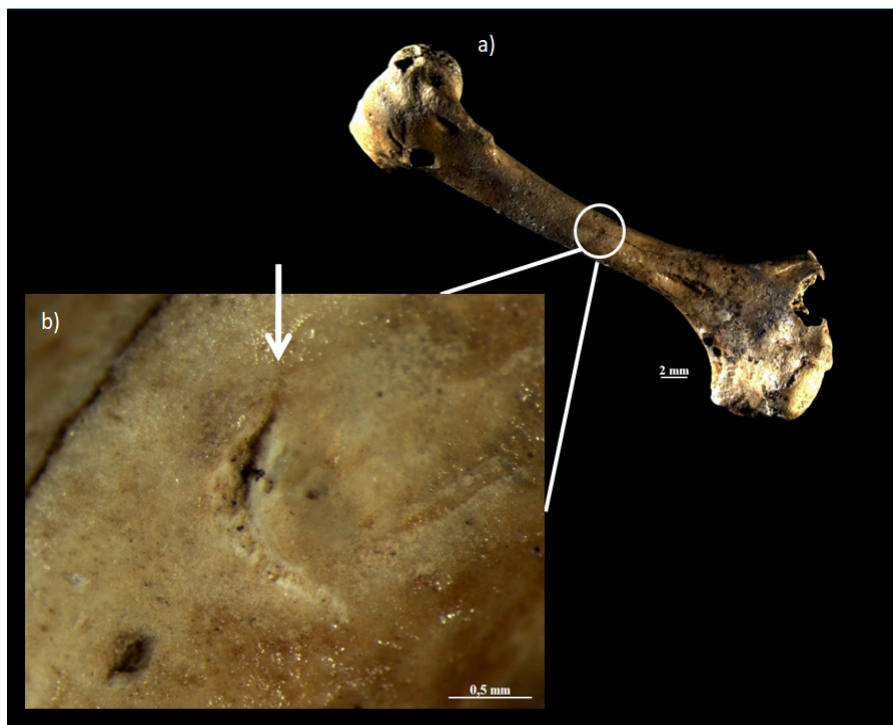
Figura: 12,13 y 14

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** surco único y alargado de origen biogénico en el material esquelético (por ejemplo, huesos, dientes). El surco, en forma de U o de V en la sección transversal, puede afectar sólo a la superficie del hueso, o las fibras óseas pueden cortarse, curvarse o romperse dentro del surco. El surco tiene una morfología dentada



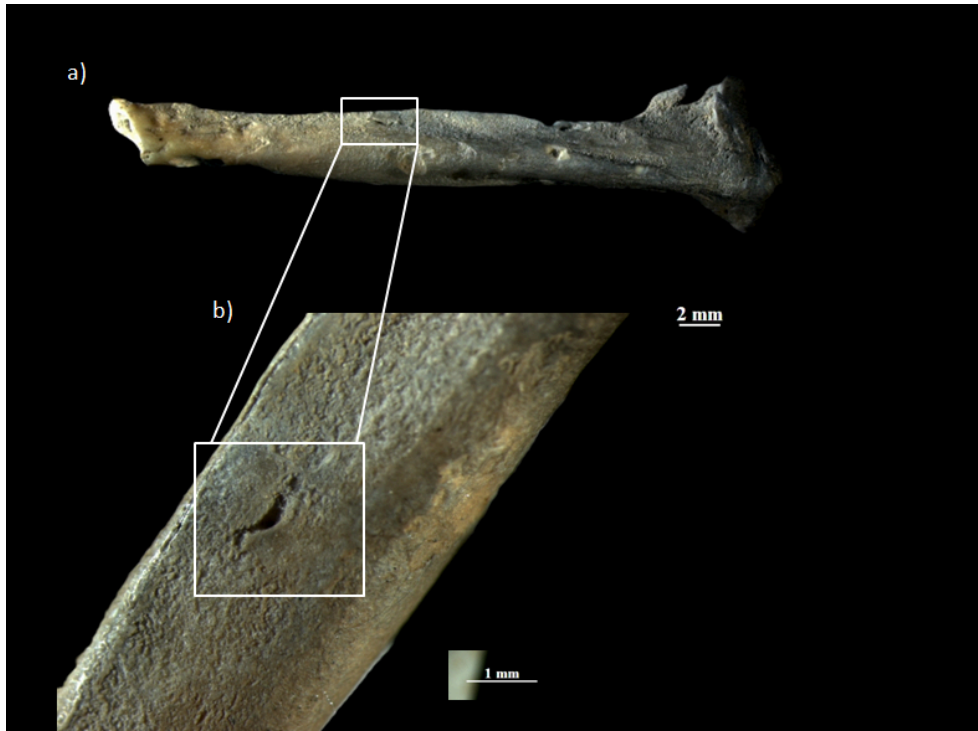
**Materiales:** PCCRULL- 232, Húmero derecho, PCCRULL- 403, Fibula izquierda y PCCRULL-402, Húmero derecho.



**Figura 12:** *Linichnus serratus* a) PCCRULL- 232, vista general del hueso b) PCCRULL- 232, surco en forma de "C" donde la línea de la curvatura se muestra con morfología dentada. La anchura máxima es de 0,3 mm y longitud de 0,9 mm.



**Figura 13:** *Linichnus serratus* a) PCCRULL-402, vista general del hueso. b) PCCRULL-40 Detalle de surco curvado de longitud 1,4 mm y ancho total de 0,5mm. Presenta morfología dentada.



**Figura 14:** *Linichnus serratus* a) PCCRULL-403, vista general del hueso b) PCCRULL-403, surco en forma de semiluna con una bifurcación en el extremo más próximo a la parte distal del hueso, las ramas de dicha bifurcación miden 0.1mm, el tamaño del surco es de 0,6mm de alto y 0,2 mm de anchura máxima. Se encuentra en la diáfisis del hueso.

**Descripción:** Depresión o surco en forma de “V” o de “C”. Podemos encontrarlo de manera deprimida en el hueso con morfología dentada en los bordes o de forma más superficial sin penetrar en la superficie del hueso. El tamaño observado es variable desde menos de 0,1 mm hasta 4 mm.

**Observación:** El material PCCRULL-403 debe revisarse y analizar en más detalle, no se consigue una foto a más aumento.

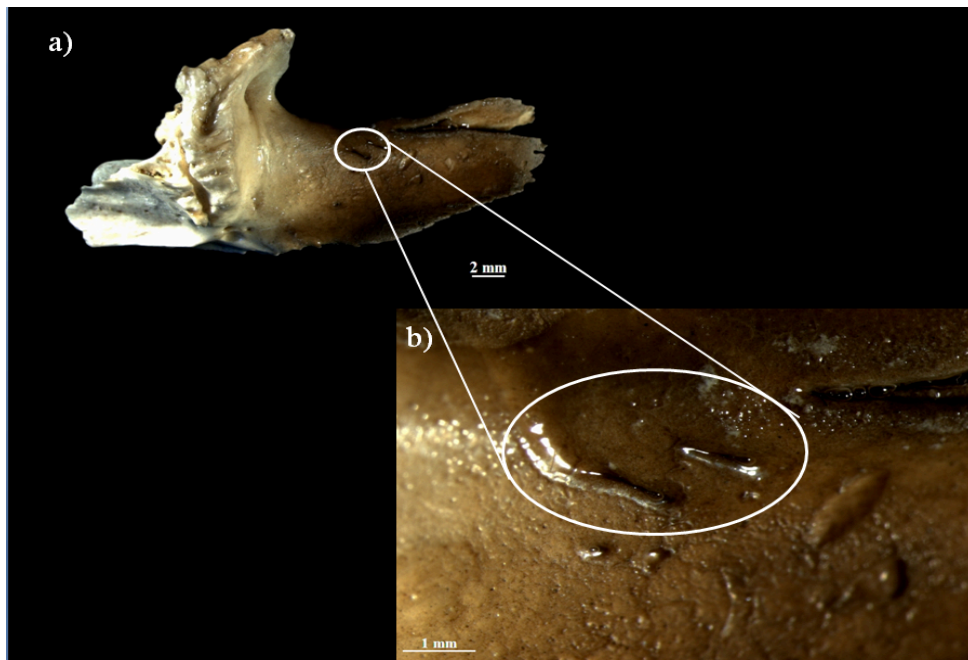
**ICnoespecie:** *Linichnus bromley* Fernando Muñiz, Zain Belaústegui, Antonio Toscano, Samuel Ramirez-Cruzado & José A. Gámez Vintaned, (2009)

Figura: 15,16, 17 y 18

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** Surco único alargado, recto o curvo de origen biogénico en material esquelético (p. ej., huesos, dientes). El surco, en forma de U o V en sección transversal, puede afectar a diferentes tipos de sustratos biogénicos El surco tiene una morfología dentada o no dentada (según Jacobsen y Bromley 2009) *Linichnus* con filo no dentado (según Muñiz et al., 2020)

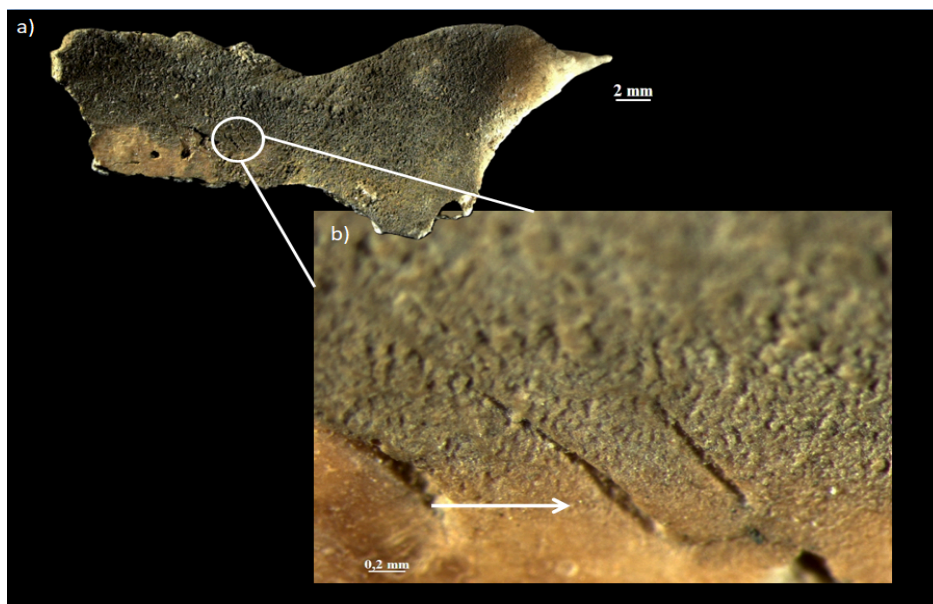
**Materiales:** PCCRULL-304, palatino derecho, PCCRULL-232, húmero derecho PCCRULL-291, postorbital izquierdo PCCRULL-294, postorbital izquierdo derecho



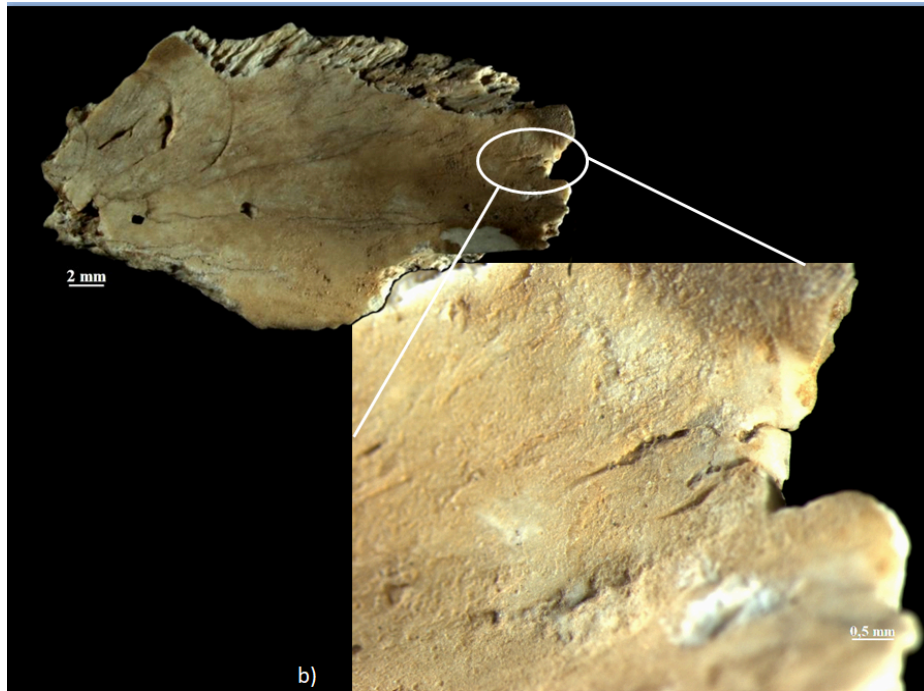
**Figura 15:** *Linichnus bromley* a) PCCRULL-304, vista general del hueso b) PCCRULL-304, dos surcos dispuestos de forma paralela a una distancia de 1 mm, con bordes lisos y con cierto grosor. La longitud de las estrías es muy similar aproximadamente de 1,6mm x 0,2 mm.



**Figura 16:** *Linichnus bromley* a) PCCRULL-232, vista general del hueso b) PCCRULL-232, las flechas señalan surcos dispuestos de manera paralela a una distancia de 0,4mm, ancho inferior a 0,1 con una longitud 0,4 mm.



**Figura 17:** *Linichnus bromley* a) PCCRULL-291, vista general del hueso b) PCCRULL-291, dos surcos agrupados dispuestos de manera paralela, alargados y rectos. Miden 0,9 mm x 0,1 mm y 0,6 mm x 0,1mm, de derecha a izquierda respectivamente



**Figura 18:** *Linichnus bromley* a) PCCRULL-294, vista general del hueso b) PCCRULL-294, detalle de dos surcos alargados y rectos, a una distancia de 1mm entre ellos, cada surco mide 1,4 mm y 1mm de arriba a abajo respectivamente. No presentan morfología dentada.

**Descripción:** Surco o depresión observados en pareja a una distancia no superior de 1 mm, uniformes en forma y dimensiones. Surco alargado, recto o curvo.

**Observación:** La diferencia entre *Linichnus serratus* y *Linichnus bromley* es la morfología dentada o no, no hemos observado bioglifos claros en las trazas, a pesar de que en la diagnosis dice forma de U y de V se ha observado en otras asignaciones del taxón que puede ser recto (Muñiz et al. 2009).

**Iconogenero:** *Nihilichnus*, Mikuláš R., Kadlecová, E., Fejfar, O., & Dvořák, Z (2006.)

**Iconoespecie:** *Nihilichnus nihilicus* Mikuláš, R., Kadlecová, E., Fejfar, O., & Dvořák, Z (2006.)

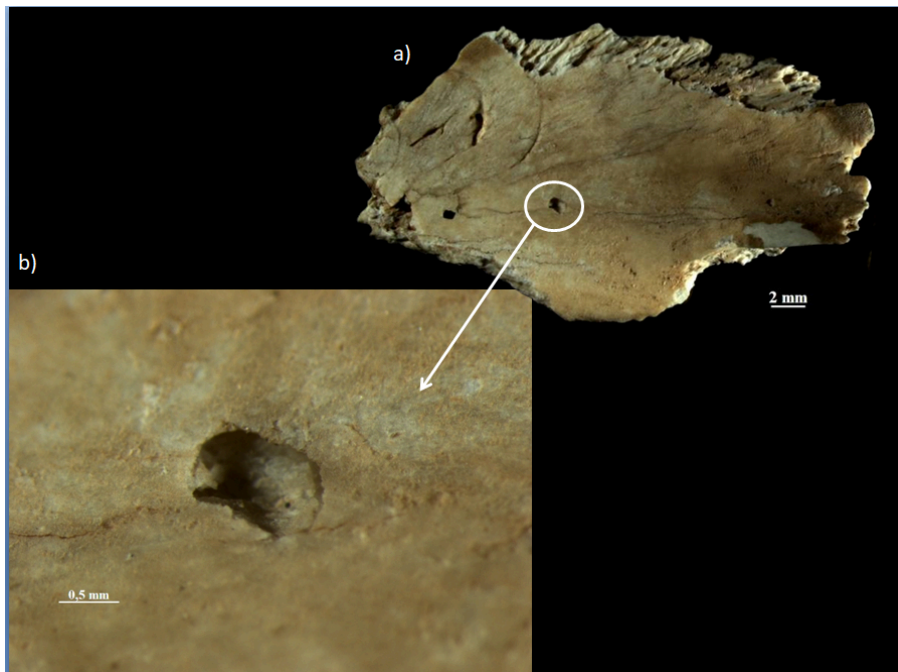
Figura: 19, 20, 21, 22, 23,24,25 y 26

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

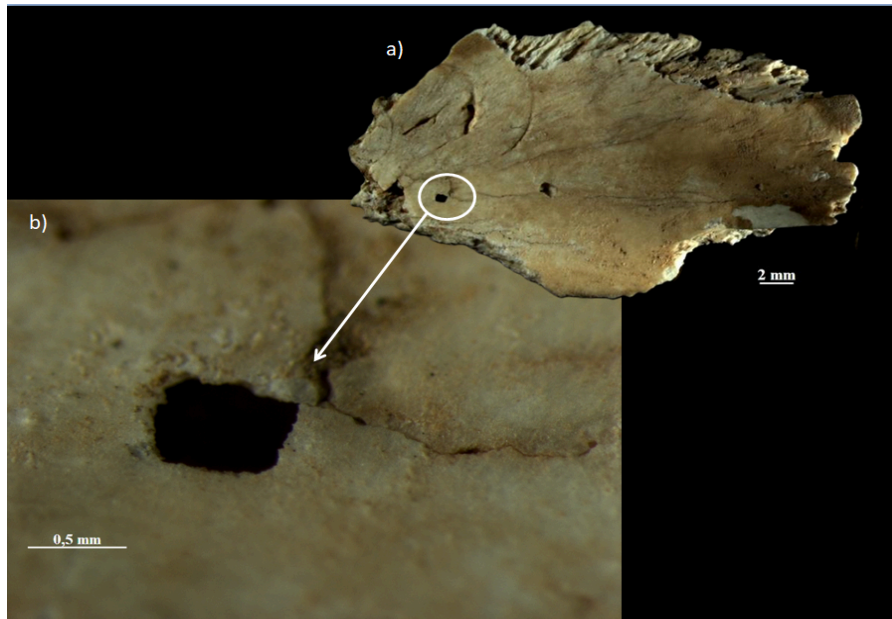
**Diagnosis original:** Agujeros o fosas externas aproximadamente triangulares, circulares u ovóides, que se presentan de forma solitaria o en grupos, y que pueden mostrar

patrones recurrentes. La parte exterior del margen de la cavidad muestra irregularidades diminutas, resultantes de una deformación frágil

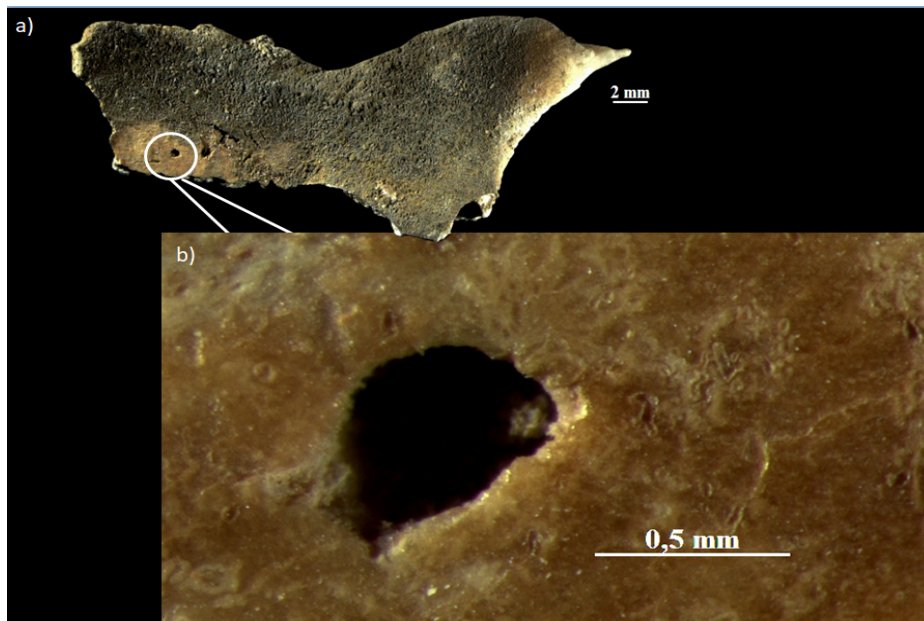
**Materiales:** PCCRULL-291, postorbitofrontal izquierdo, PCCRULL-232, humero derecho, PCCRULL-294, postorbitofrontal derecho, PCCRULL-384, fémur izquierdo, PCCRULL-384, fémur izquierdo, PCCRULL-256, radio derecho, PCCRULL-276, dentario derecho, PCCRULL-393, tibia derecha.



**Figura 19:** *Nihilichmus nihilicus* a) PCCRULL-294 en vista general. b) PCCRULL-294, detalle de agujero de forma cuadrangular situado en la cara interna del hueso pegado al extremo anterior del postorbitofrontal. Tamaño de 0,4 mm x 0,5 mm



**Figura 20:** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-294 en vista general. b) PCCRULL-294 detalle de agujero de forma ovoide con un diámetro de 0,5 mm. Situado en la cara interna del hueso próximo a la parte anterior.



**Figura 21:** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-291 en vista general. b) PCCRULL-291, agujero de forma ovoide con un diámetro de 0,5 mm. Situado en la cara interna del hueso próximo a la parte anterior.

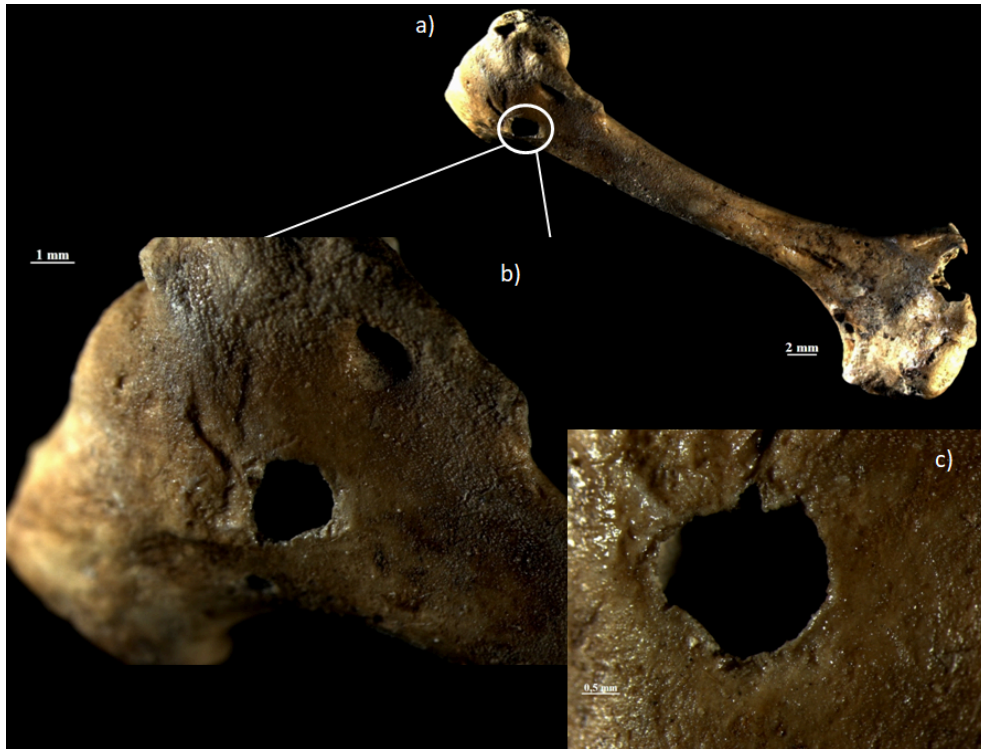


**Figura 22:** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-384 en vista general b) PCCRULL-384, agujero de forma subtriangular, con 1mm de alto y 1mm de ancho. Se encuentra en la parte anterior del hueso.

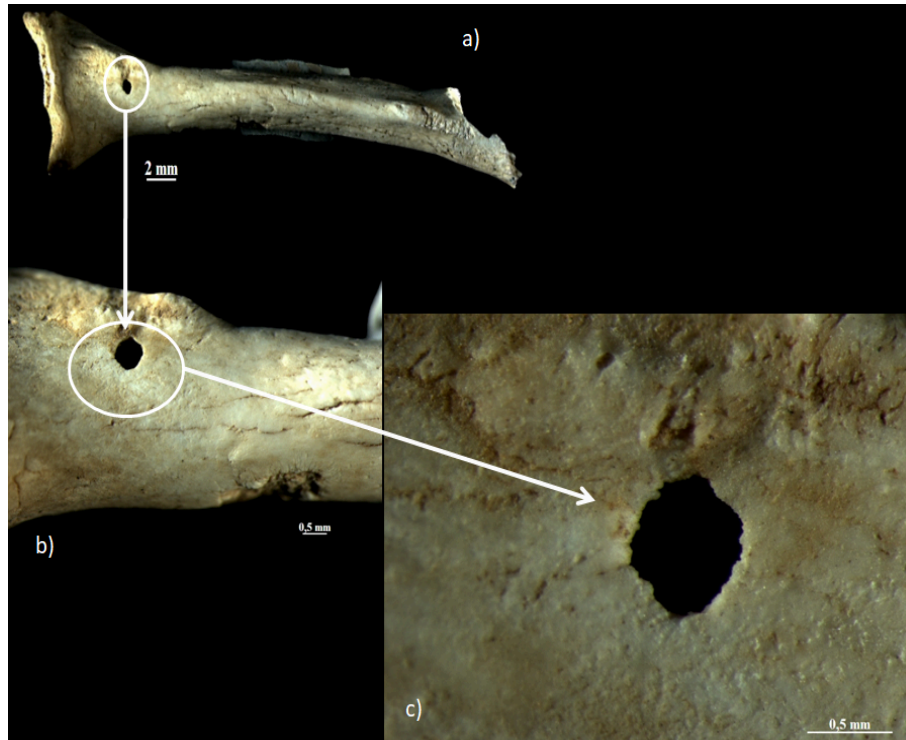


**Figura 23** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-384 en vista general b) PCCRULL-384, agujero de forma semi cuadrangular con 0,9 mm de ancho y 1,5 mm de altura

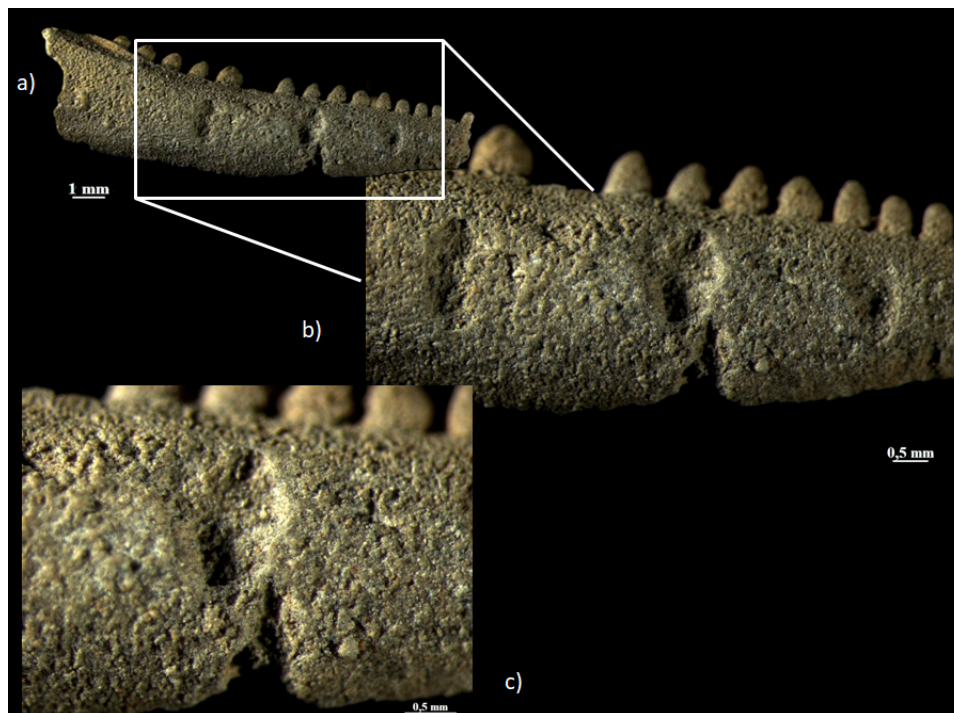




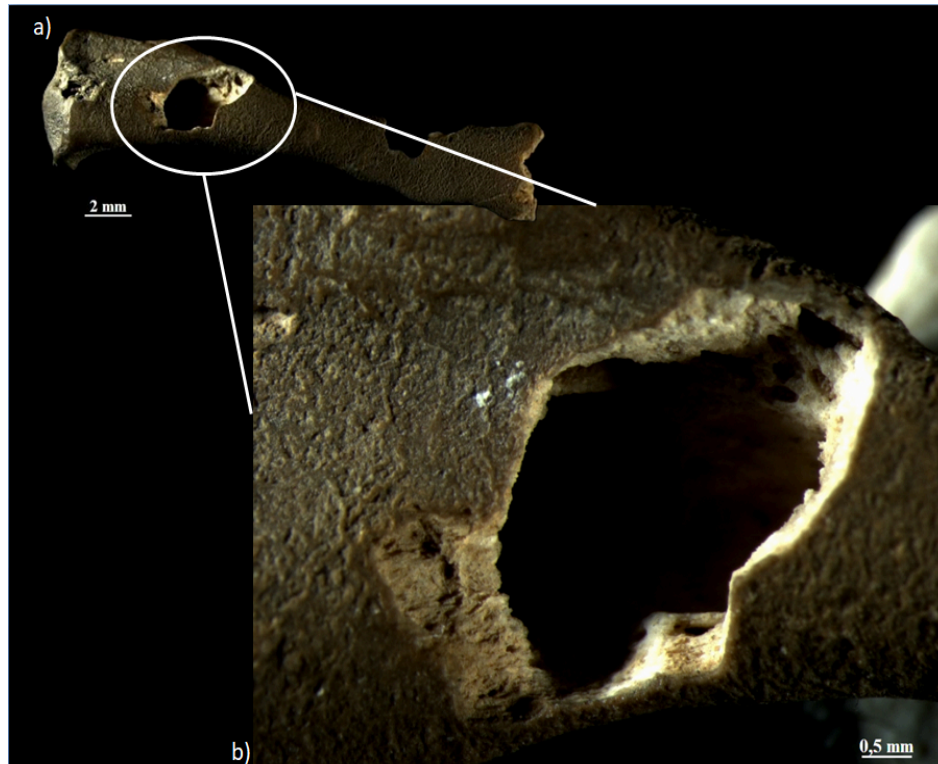
**Figura 23:** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-232 en vista general b) PCCRULL-232, agujero ovoide de diámetro 1,9mm. Esta traza está situada en el trocánter mayor del húmero.



**Figura 24:** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-256 en vista general b) PCCRULL-256,detalle de agujero circular o subcircular de diámetro de 0,6 mm. Borde estriado. Está situado por debajo de la epífisis proximal del hueso.



**Figura 25:** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-276 en vista general b,c) PCCRULL-276, detalle de cuatro hoyos externos con medidas: 0,7 mm x 0,4mm, 1,4mmx0, 8mm, 1,5mmx1mm, 1,5mmx1mm, 1,1mmx0,5mm,respectivamente tomando como referencia de izquierda a derecha, arriba y abajo. Los anchos están medidos en su máxima. Morfología interior de relleno activo.



**Figura 26:** *Nihilichnus nihilicus* a) PCCRULL-393 en vista general b) PCCRULL-393,detalle de un agujero de forma ovoide tamaño de 3 mm anchura máxima y 2mm de ancho mínimo

**Descripción:** Agujeros circulares, semicirculares, ovoides, aproximadamente triangulares, o fosas externas que se producen en diferentes partes y en diferentes tipos de huesos. El diámetro varía de 0,4 a 2 mm.

**Observación:** *Nihilichnus* puede confundirse con otros icnogéneros debido a que la perforación es una traza recurrente producida por diversas actividades animales, comúnmente relacionadas con la depredación. Para diferenciarlo de otros icnogéneros como *Oichnus* o *Gastrochaenolites*, se consideran el tipo de sustrato y la morfología de los bordes irregulares en el margen de la traza. En particular, *Nihilichnus* se distingue por producirse en un sustrato duro y por tener un contorno aproximadamente triangular, circular u ovalado, geoméricamente mal definido. (Mikulas et, al. 2006)

#### 4.1.2 Familia Rogerellidae

**icnogénero:** *Cubiculum* Eric M. Roberts, Raymond R. Rogers, and Brady Z. Foreman (2007)

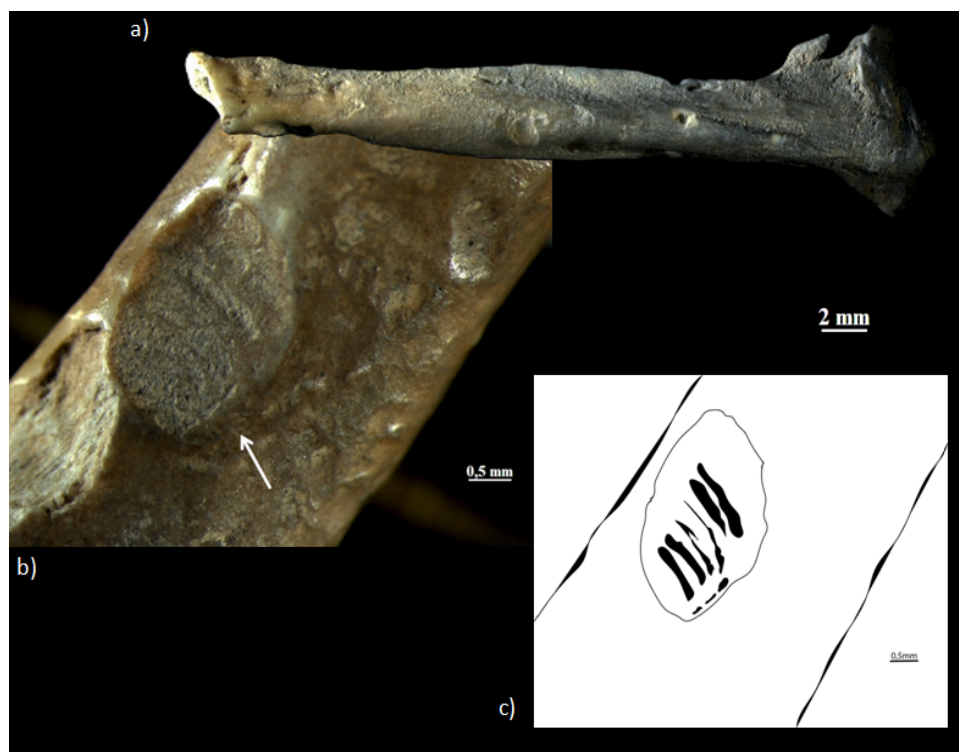
**Iknoespecie:** *Cubiculum isp.* Eric M. Roberts, Raymond R. Rogers, and Brady Z. Foreman (2007)

Figura 27

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** Perforaciones ovoides discretas en el hueso. Cámaras ovaladas, huecas, con flancos cóncavos, perforadas en las superficies óseas esponjosa interna y cortical externa. La longitud de la cámara es de tres a cuatro veces mayor que el diámetro. Pueden estar aisladas, pero es más frecuente observarlas en concentraciones densas, a veces superpuestas. Paredes comúnmente rugosas, compuestas de surcos poco profundos, arqueados (aparentemente pareados).

**Materiales:** PCCRULL-403, fibula izquierda.



**Figura 27:** *Cubiculum isp* a) PCCRULL-403 vista general del hueso b) PCCRULL-403 , depresión de forma elíptica, con bioglifo en forma de arañazo c) PCCRULL-403 Dibujo de la traza para apreciar más detalles

**Descripción:** Depresión de forma elíptica, presenta bioglifos en forma de arañazos por ser paralelos y curvados. Al menos se observan nítidamente cuatro. Tamaño de la

cámara 2,8mm de longitud y anchura de 2,4mm, el bioglifo interior tiene una longitud media de 0,4mmx0,2 mm. Situada en la parte distal de la diáfisis de la fíbula.

**Observación:** No hemos podido llegar a identificar la icnoespecie, ya que el icnogénero *Cubiculum* en sustratos óseos presenta cuatro icnoespecies, *C.levis*, *C.inornatus*, *C.ornatum* y *C.cooperi*. (Wishak et al 2019.) En el caso de *C. levis* y *C. inornatum*, presenta similitudes en cuanto a su morfología ( perforaciones discretas en forma de cuenco, Pirrone et al, 2014), pero la diagnosis difiere en la ausencia de bioglifos en el interior.. En cuanto a *C. ornatum*, la forma de los bioglifos no coincide, y *C. cooperi* está descrito con paredes rectas, base plana y paralelas al hueso, lo que tampoco coincide con nuestra descripción. Parkinson, A. H. (2016).

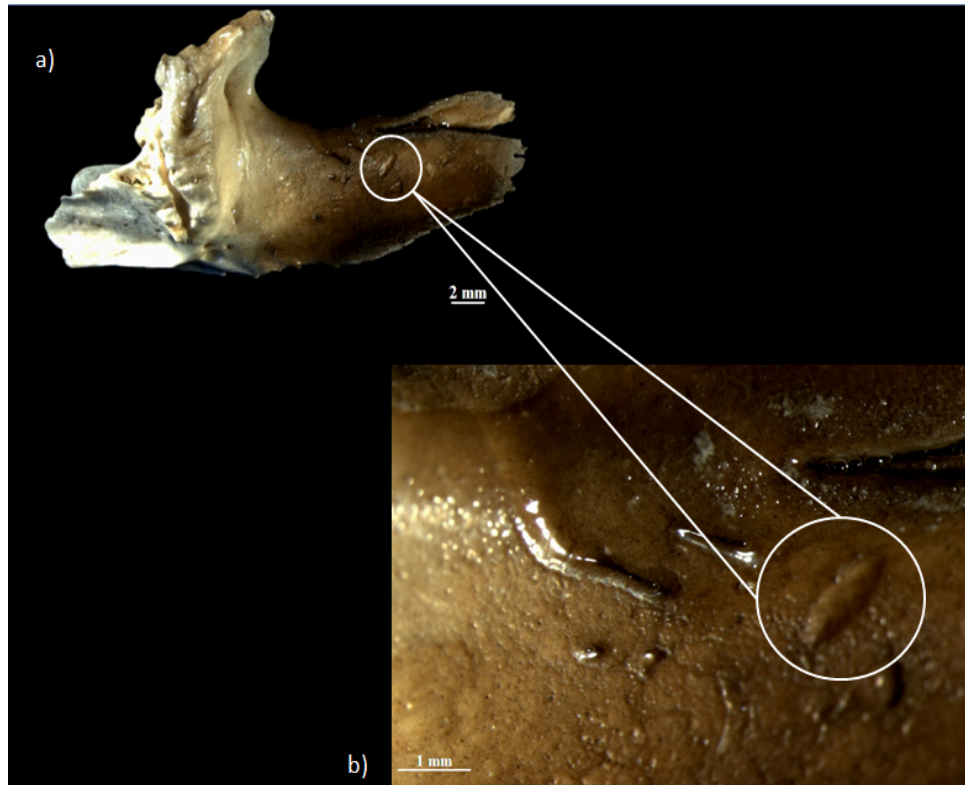
**ICnoespecie:***Cubiculum inornatus* Eric M. Roberts, Raymond R. Rogers, and Brady Z. Foreman (2007)

#### Figura 28

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** Perforaciones elipsoidales incrustadas en el hueso cortical que penetran en el hueso trabecular. Los taladros muestran una relación longitud-ancho que oscila entre 2:1 y 5:1 y se estrechan ligeramente hacia un extremo. Las paredes discurren perpendiculares a la superficie del hueso, mientras que la base de la perforación es redondeada. No hay relleno ni bioglifos.

**Materiales:** PCCRULL-304, palatino derecho



**Figura 28:** *Cubiculum inornatus* a) PCCRULL-304, vista general del material. b) Detalle de la perforación elíptica sin aparente relleno ni presencia de bioglifos. Ancho 0,6 mm y longitud 0,8 mm

**Descripción:** Perforaciones elípticas o cilíndricas sin aparente relleno ni presencia de bioglifos. Tamaño observado: ancho de 0,6mm y longitud de 0,8mm

**Icnogénero:** *Cuniculichnus* Sara Höpner & Markus Bertling (2017)

**Icnoespecie:** *Cuniculichnus seilacheri* Sara Höpner & Markus Bertling (2017)

*Figura 29*

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnos original:** Muestras, agujeros y túneles como tipos continuos sucesivos, principalmente paralelos a la fibra ósea, casi rectos, paredes lisas, aberturas redondeadas, relleno pasivo.

**Materiales:** PCCRULL-236, postorbitofrontal izquierdo.



**Figura 29:** *Cuniculichnus seilacheri* a) PCCRULL-236, vista general del postorbitofrontal b) PCCRULL-236,detalle de túneles alargados, rectos, con ramificación de anchura máxima 0,5mm y mínima 0,2. Longitud de los túneles 3,5 mm.

**Descripción:** Túnel alargado, recto, y ramificado en forma de “y”. A veces podemos apreciar cómo se conectan los túneles. Relleno pasivo y paredes lisas. Con aberturas en forma de agujero y redondeadas.

**Observación:** Según Höpner y Bertling(2017), es importante distinguir entre *Cubiculum* Roberts et al. (2007) y la fase de muesca de *Cuniculichnus*. La fase de muesca de *Cuniculichnus* se diferencia de *Cubiculum* por tener extremos afilados y rectos, además de que no presenta ninguna fase de túnel en desarrollo a diferencia de *Cuniculichnus*

**ICNOGÉNERO:** *Munitusichnus* Alexander H. Parkinson (2016)

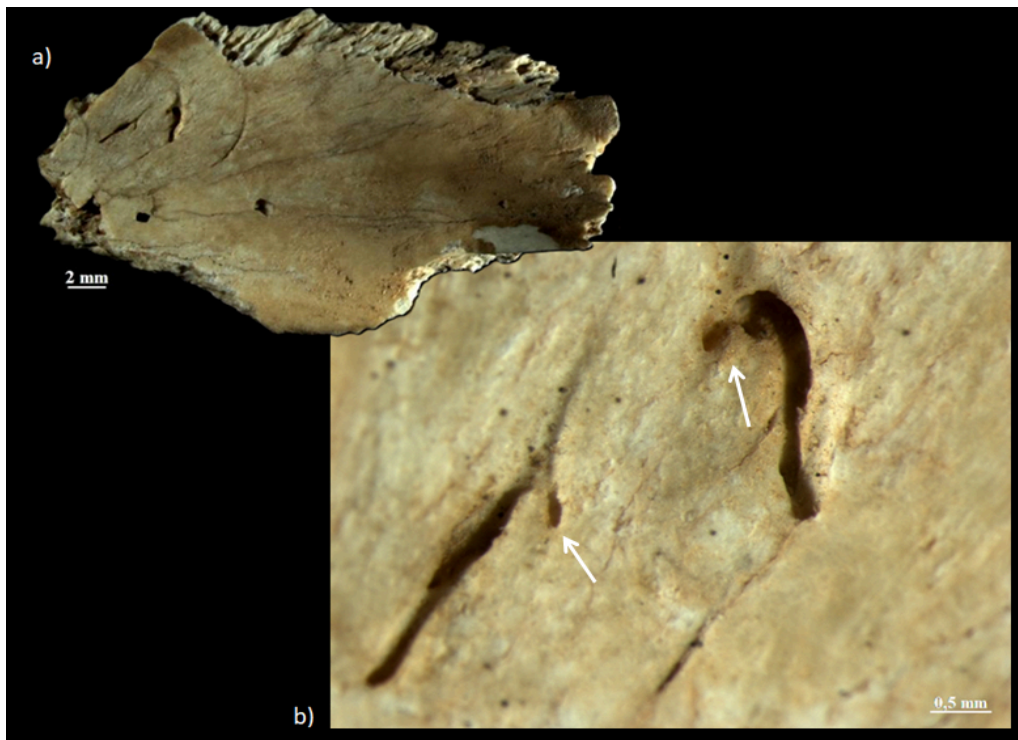
**ICNOESPECIE:** *Munitusichnus pascens* Alexander H. Parkinson (2016)

*Figura 30 y 31*

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

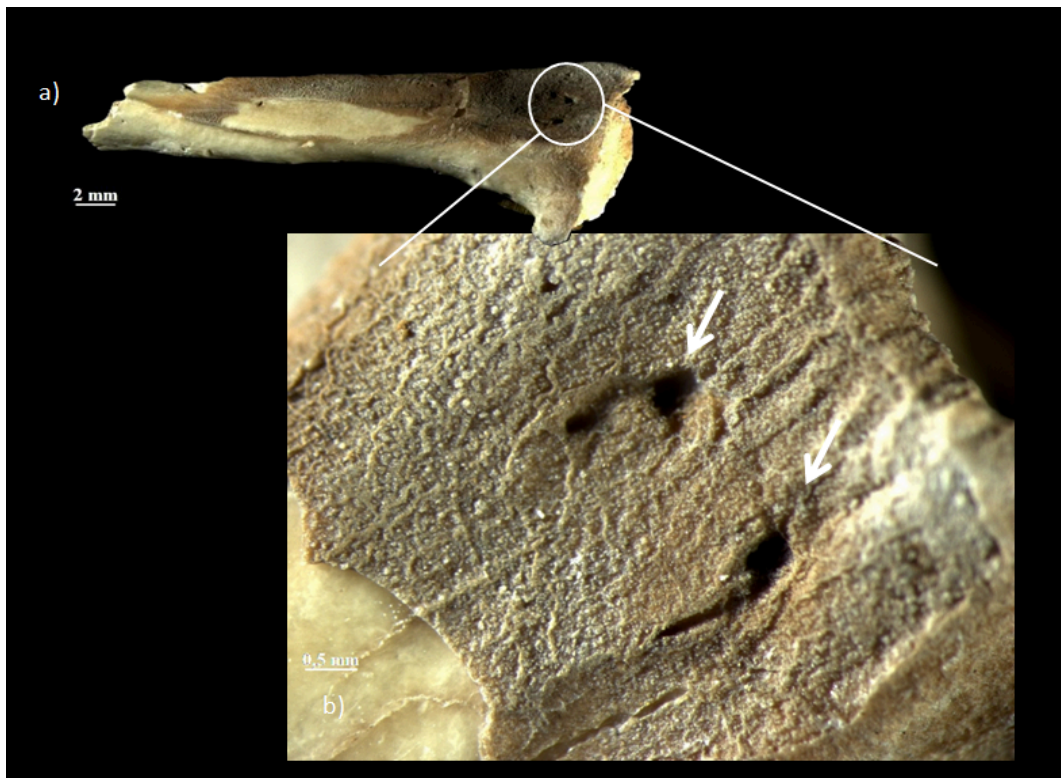
**Diagnosis original:** Agujeros elipsoidales con surcos ramificados. Tanto los orificios y los surcos penetran a través del hueso cortical en el hueso esponjoso, pero ninguno contiene relleno o bioglifos. Los orificios son perpendiculares a la superficie ósea y tienen bordes afilados, mientras que los surcos tienen un fondo liso, morfología de sección transversal en forma de U y bordes lisos.

**Materiales:** PCCRULL-294, postorbitofrontal PCCRULL-323, ulna ( cubito)



**Figura 30:** *Munitusichnus pascens* a) PCCRULL-294, vista general del hueso b ) PCCRULL-294, vista de dos agujeros de forma elipsoidal (flechas) conectados a canal los dos miden aproximadamente 2 mm. Los agujeros tienen un diámetro de 0,2 mm. Los canales y los agujeros penetran en la superficie del hueso.





**Figura 31:** *Munitusichnus pascens* a) PCCRULL-294, vista general del hueso b) PCCRULL-294, vista de los agujeros de forma elipsoidal (flechas) conectados cada uno a un canal. Los agujeros tienen un diámetro de 0,5mm. Los canales y los agujeros penetran en la superficie del hueso, ambos tienen una longitud entre 0,7-0,9mm

**Descripción:** Agujeros elipsoidales conectados a un canal cada uno. La estructura penetra en la superficie del hueso.

#### 4.1.3 Familia Oichnidae

**ICNOGÉNERO:** *Dipatulichnus* Nielsen y Nielsen, 2001.

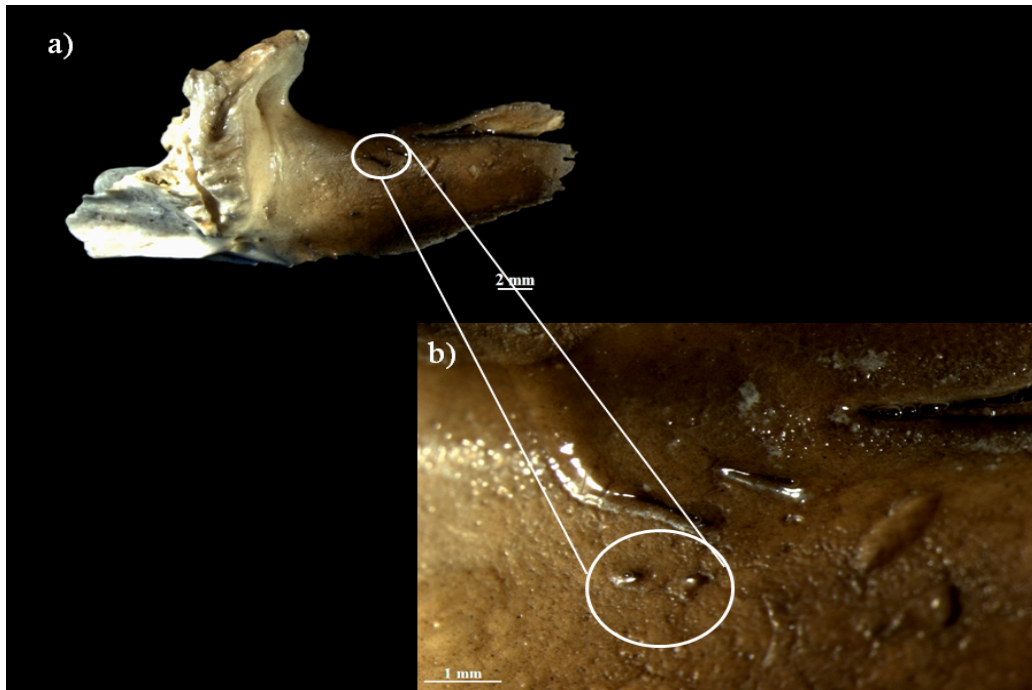
**ICNOESPECIE:** *Dipatulichnus rotundus*. Nielsen y Nielsen, 2001.

Figura 32 y 33

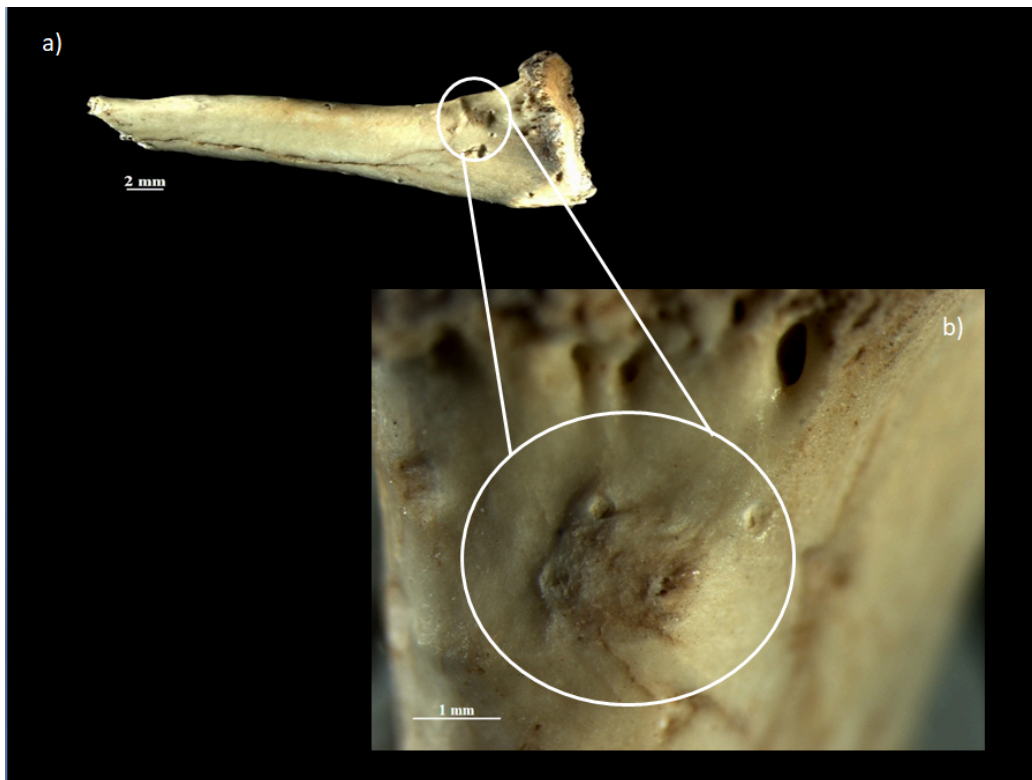
**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** Par de agujeros biogénicos, no conectados, pero situados en el mismo sustrato esquelético. Cada orificio tiene una forma cilíndrica simple, orientada perpendicularmente a la superficie del sustrato. Tanto las aberturas externas como las internas son afiladas y de contorno circular.

**Materiales:** PCCRULL-304, palatino derecho, PCCRULL-323, ulna (cubito)



**Figura 32:** *Dipatulichnus rotundus*. a) PCCRULL-304, vista general del hueso b) PCCRULL-304 vista de dos agujeros dispuestos de manera paralela circulares con borde liso y fondo plano a una distancia de 0,4mm. Diámetro de 0,2mm



**Figura 33:** *Dipatulichnus rotundus*. a) PCCRULL-323, vista general del hueso b) PCCRULL-323., Agregación de cuatro agujeros dispuestos de manera semi paralela. La primera pareja de agujeros

mantiene una distancia de 1,5mm. Diámetro: 0.2mm La segunda pareja se encuentra a 0,4 mm por debajo de la primera, entre ellos tiene una distancia de 1 mm. diámetro: 0.2mm

**Descripción:** Agujeros de forma circular simple dispuestos de manera paralela.

**Observación:** Hemos identificado estas bioerosiones como *Dipatulichnus* (Nielsen et Nielsen (2001), a pesar de estar asociados en sustratos no óseos, lo cual destaca la capacidad de algunos icnogéneros para manifestarse en diferentes tipos de sustratos debido a variaciones tafonómicas, adaptaciones evolutivas o relaciones entre especies relacionadas. Höpner, S., & Bertling, M. (2017).

#### 4.1.4 Familia Circolitidae

**Ichnogénero:** *Osteocallis* Paes Neto, Parkinson, Pretto, Soares, Schwanke, Schultz, Kellner (2016)

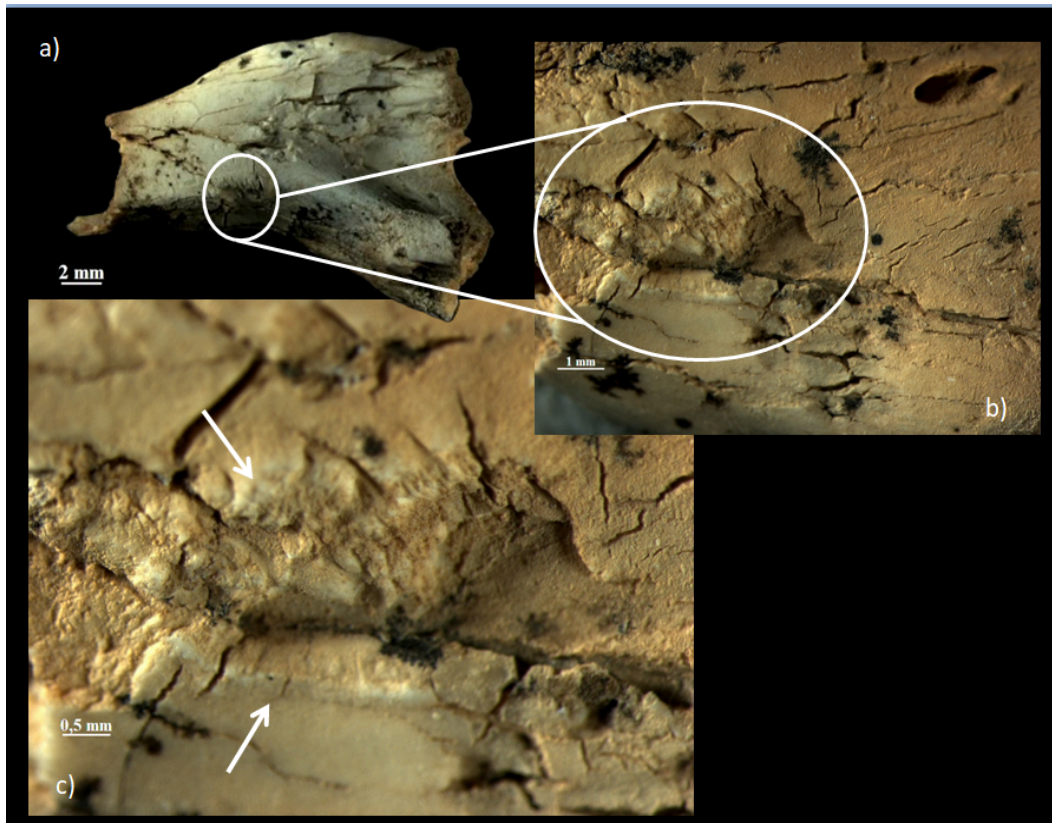
**Ichnoespecie:** *Osteocallis infestans*. Paes Neto, Alexander H. Parkinson b,c , Flávio A. Pretto a , Marina B. Soares a , Cibele Schwanke d , Cesar L. Schultz a , Alexander W. Kellner (2016)

#### Figura 34

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canarias.

**Diagnosis original:** Rastro meandriforme, de poco profundo a moderadamente profundo, de surcos gruesos, generalmente rectos, superpuestos, excavados en las superficies óseas corticales. Los surcos están orientados de forma aleatoria y a menudo se superponen a otros surcos perpendiculares o paralelos entre sí. La intensidad de los surcos culmina en una morfología irregular en forma de surco.

**Materiales:** PCCRULL-381, fémur derecho fracturado



**Figura 34:** *Osteocallis infestans* a) PCCRULL-381, vista general del hueso b y c) PCCRULL-381, detalles de rastro serpenteante curvado con surcos que se superponen en los bordes. Longitud 3,5 mm aproximadamente.

**Descripción:** Rastro serpenteante curvado con surcos que se superponen en los bordes. Longitud 3,5 mm aproximadamente.

#### 4.1.5 Familia Gastrochaenolitidae

**Ichnogénero:** *Clavichnus* Sara Höpner & Markus Bertling (2017)

**Ichnoespecie:** *Clavichnus ionasi* Muñiz, de Gibert y Esperante, (2010).

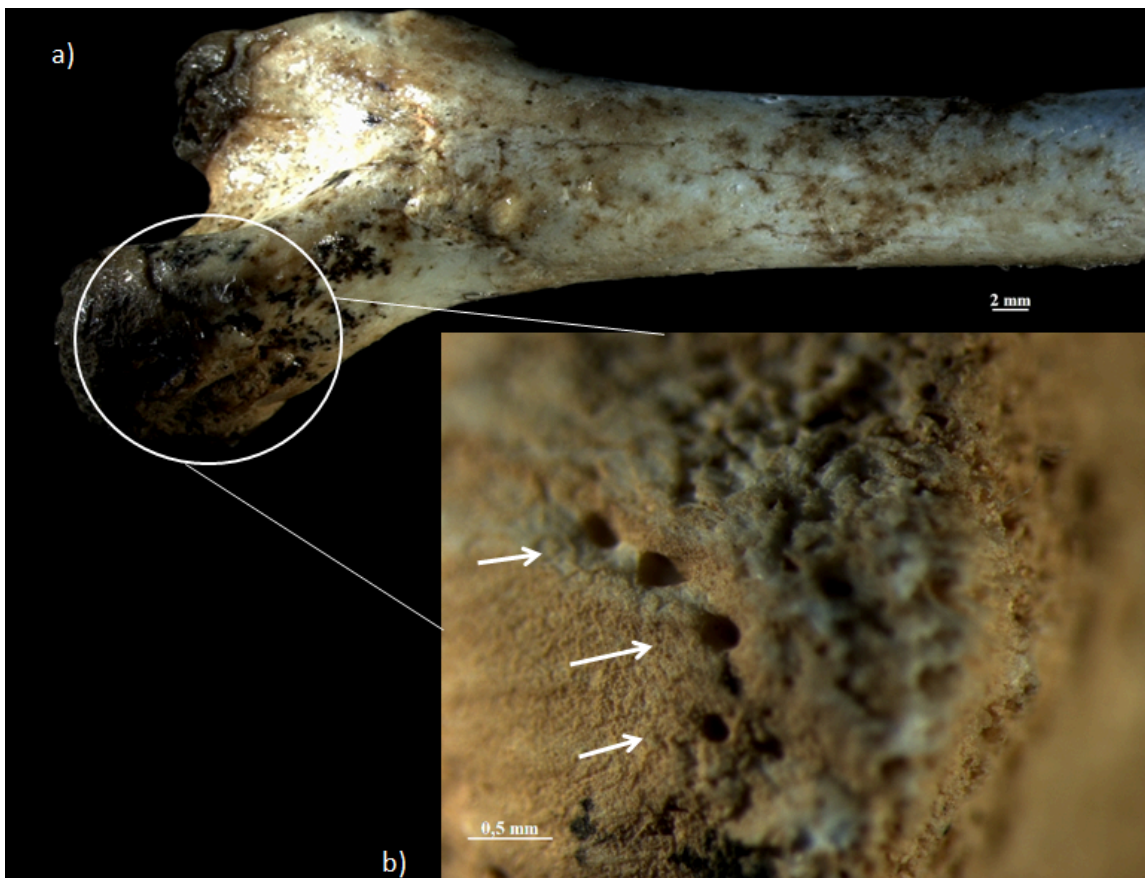
#### Figura 35

**Localización:** Sima Pico de la Mata, El Hierro, Islas Canaria

**Diagnosis original:** Perforaciones cilíndricas, orientadas mayoritariamente perpendicular a la superficie de apertura, con una parte proximal lisa y terminal irregularmente abultado.

**Diagnóstico (revisado):** Sección redondeada, exterior coagulación irregular al menos en las partes distales, relleno pasivo. Ocurre en los huesos

**Materiales:** PCCRULL-371, fémur izquierdo



**Figura 35:** *Clavichnus ionasi* a) PCCRULL-371, vista general de la parte proximal del hueso b) PCCRULL-371, vista en detalle de cuatro perforaciones circulares o cilíndricas, de diámetro aproximado 0,2 m. Orientadas en serie dispuestas una detrás de la otra.

**Descripción:** Perforaciones cilíndricas orientadas en serie.

**Observaciones:** Según Höpner et al., (2017) se propone y se revisan icnotaxones existentes de perforaciones en hueso, ya que algunos autores anteriores podrían no haber considerado adecuadamente el sustrato óseo al asignar estos icnotaxones a géneros originalmente asociados con sustratos no óseos. En este caso *Trypanite ionasi* Muñiz, De Gibert, Esperante, 2010, pasa a ser *Clavichnus ionasi* (Muñiz, De Gibert, Esperante, 2010).

#### **4.2. Otras estructuras de Bioerosión.**

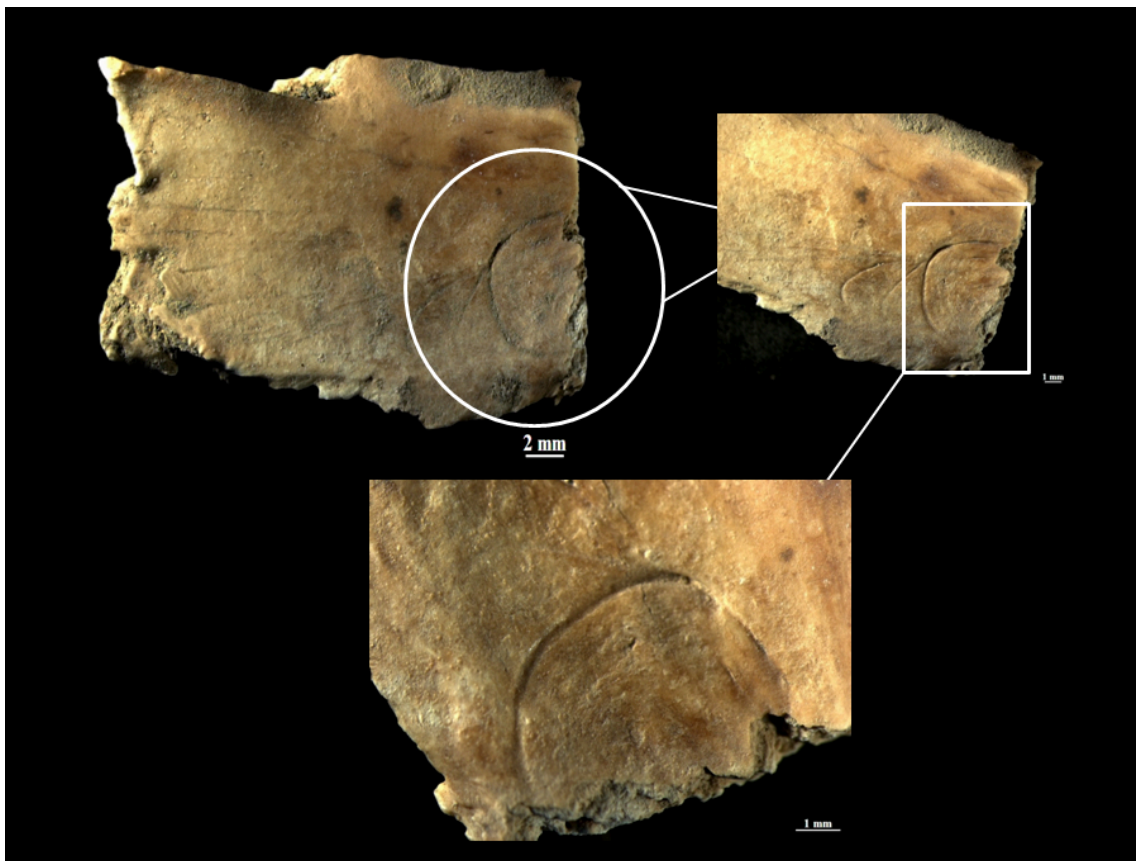
Se presentan a continuación otras estructuras de bioerosión que aún no han sido clasificadas dentro de la icnología sistemática debido a la falta de evidencia para diagnosticarlas como estructuras biogénicas. Se ha optado por no incluir todas las

fotografías debido a la extensión del trabajo. No obstante, se han incluido algunas estructuras encontradas en los huesos postorbitofrontales debido a la controversia existente (véase la discusión).

**Material:** PCCRULL: 241, Postorbitofrontal izquierdo fragmentado. Ausencia de parte anterior:

Traza 1.

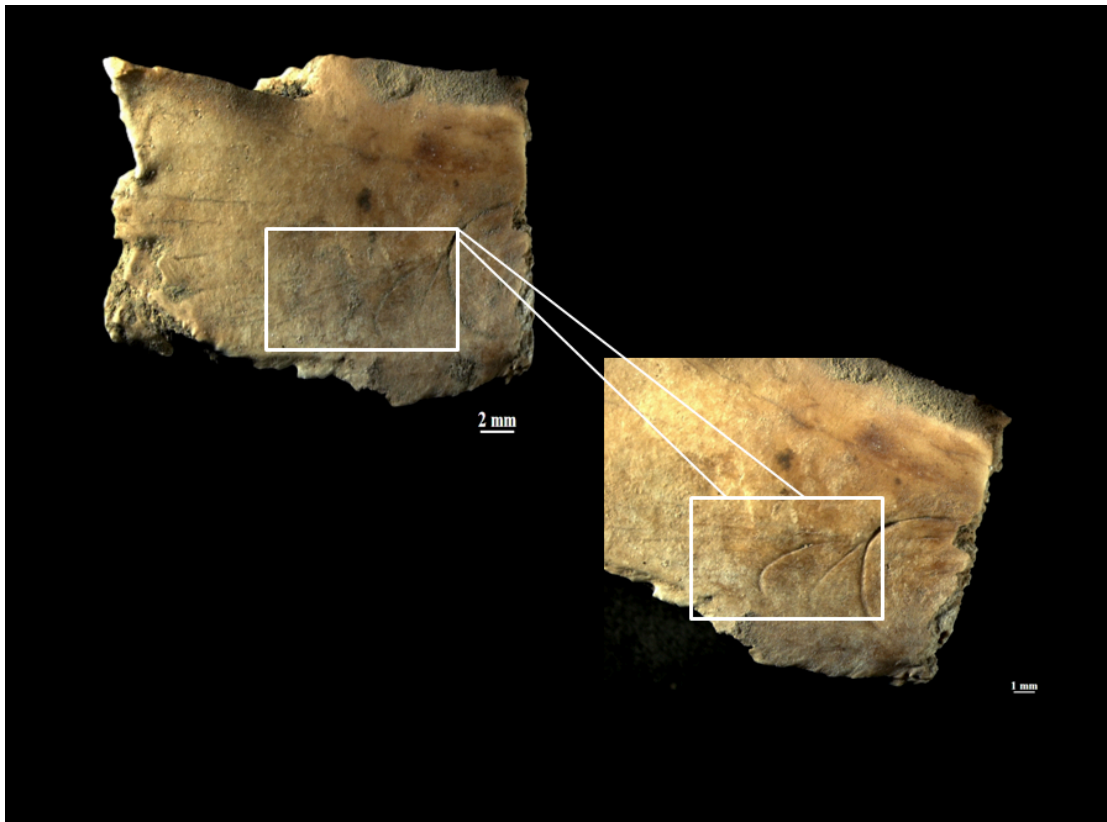
**Descripción de la traza.** Canal con recorrido semicircular visible con diámetro de 6 mm; la anchura máxima del canal es de aproximadamente 0,1 mm. Aparece de manera individual. Situada en la parte media interna de postorbitofrontal, ocupando algo más de la mitad de la anchura de dicho hueso (Fig. 36).



**Figura 36.** PCCRULL: 241, Traza 1. Vista general de hueso y aumento.

Traza 2.

**Descripción de la traza:** Dos surcos arqueados (en forma de C) dispuestos de manera paralela, de tamaño en longitud aproximadamente entre 2.7 y 2.8 mm. Situados en la parte media interna de postorbitofrontal (Fig. 37).



**Figura 37.** PCCRULL: 241, Traza 2. Vista general de hueso y aumento.

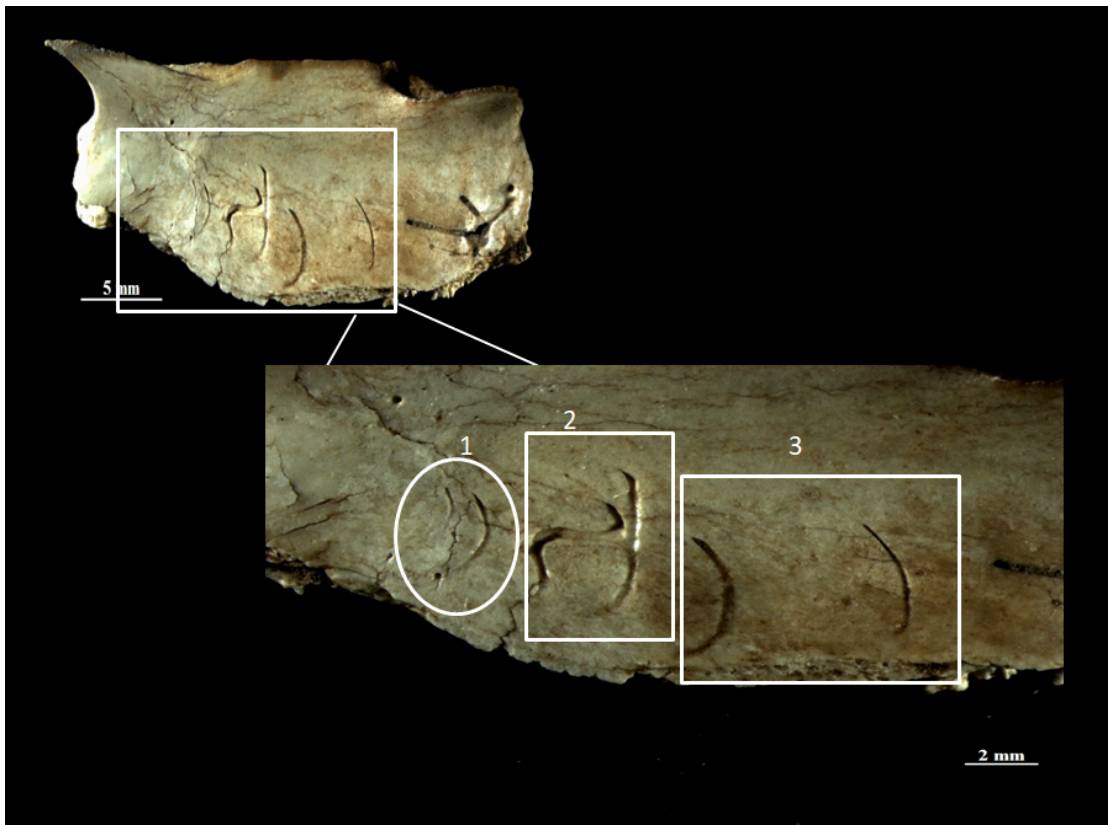
**Material:** PCCRULL: 379, Postorbitofrontal derecho.

Traza 1 (t1).

**Descripción de la traza:** Se trata de una composición de dos surcos se sitúan en la cara interna en particular en la parte inferior pegado al borde del hueso. El primer canal con respecto a la parte más proximal del hueso tiene un tamaño de 1.2 mm x 0.1mm presenta curvatura y paralelo a una distancia de 0,5 mm se encuentra el segundo canal con tamaño aproximado de 2,4 mm x 0,1 mm presenta curvatura en dirección a la parte proximal del hueso al igual que el primer canal(Fig. 38, t1).

Traza 2 (t2):

**Descripción de la traza:** Observamos dos canales situados en la parte interna del postorbitofrontal, en particular próximo al borde inferior del hueso ocupando una parte considerable de la superficie. El primer canal presenta dos curvaturas destacables, la primera es convexa a la parte proximal con un radio de 0.9mm con una anchura máxima de 0,4 mm , la segunda curvatura es cóncava con respecto a la parte proximal con un radio de 0.6 mm y una anchura máxima de 0,3 mm. La curvatura del primer surco une los dos canales descritos, este muestra curvatura en los dos extremos con un tamaño de 4,2mmx0,1 mm



**Figura 38.** PCCRULL-379, Traza 1,2 y 3, representadas en figura como t1,t2 y t3 Vista general de hueso y aumento.

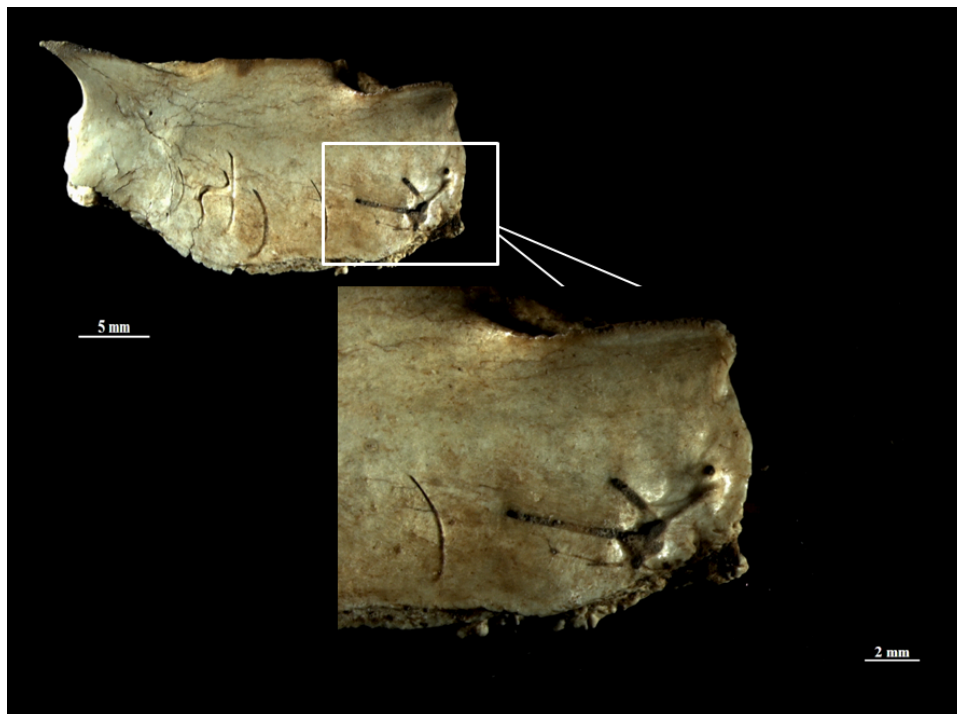
Traza 3:



**Descripción de la traza:** Se trata de dos canales situados a una distancia de 3,5 mm dispuestos paralelamente y curvados de manera similar, situados en la parte inferior del hueso a una distancia media entre la parte proximal y distal en la cara interna del post-orbitofrontal. La longitud del primer canal es de 2,9 mmx0,3 mm y la longitud del segundo es de 2,6mmx0,05mm. Ambos canales presentan un relleno activo. Agrupados.

Traza: 4

**Descripción de la traza:** Agrupación superpuesta de tres canales, dos surcos y una cámara central formada por cuatro lóbulos, que se sitúa en la cara interna del hueso, en la parte posterior del borde lateral externo. Desde la cámara irradian tres canales: El primero, que es el más largo (4 mm x 0,2 mm), se dispone hacia el interior del hueso cuasi paralelo al borde lateral. El segundo, orientado hacia el centro del hueso, forma un ángulo de aproximadamente 45 grados con el primero. Este y el tercer canal convergen en el mismo lóbulo de la cámara. Presentan un tamaño de 1,6mm x 0,35mm y 2,3 mm x 0,2 mm respectivamente. (Fig 39)



**Figura 39.** PCCRULL-379, Traza 4. Vista general de hueso y aumento.

## 5. Discusión

Se ha observado señales de bioerosión en los restos fósiles de *Gallotia* sp. procedentes del Punto de Interés Paleontológico y LIG La Sima del Pico de la Mata en la Isla de El Hierro. A partir del estudio morfológico de las señales en 17 huesos (de un total de 215), se ha podido identificar y clasificar al menos ocho icnogéneros y 13 icnoespecies. Junto a estas bioerosiones mecánicas, se han observado otras marcas que requieren un estudio en profundidad para su asignación icnotaxonómica. Para ello, hemos recurrido a los trabajos de Wisshak et al. (2019) y descrito las icnotaxobases según Pirrone et al. (2014), identificando algunas de nuestras trazas como icnogéneros y, en los casos que fue posible, como icnoespecies. A pesar de haber logrado identificar los icnogéneros mencionados previamente, encontramos más estructuras de bioerosión en nuestros huesos que no pudimos identificar completamente. Esto se debió tanto a limitaciones de tiempo y trabajo como a la falta de pruebas evidentes de que estas estructuras fueran producidas biogénicamente de forma mecánica, como por ejemplo, la ausencia de bioglifos identificables.

Los icnogéneros identificados en este estudio fueron *Machichnus*, *Linichnus*, *Nihilicus*, *Cubiculum*, *Munitusichnus*, *Dipatulichnus*, *Osteocallis* y *Clavichnus*, y todos ellos corresponden a trazas sobre sustratos duros por (Wisshak et al., 2019).

El icnogénero *Machichnus* está representado por cuatro icnoespecies, una de ellas no conocida en la bibliografía. Se trata de trazas a modo de estrías o surcos en serie, paralelos o subparalelos, poco profundos, estriados longitudinalmente, específicamente en la icnoespecie *Machichnus multilineatus* (Mikuláš et al., 2006). Al igual que *M. regularis*, *M. multilineatus* también representa surcos paralelos o subparalelos sobre los huesos, y es muy característico del hábito roedor; con una superficie de la ranura lisa o ranurada longitudinalmente. Las ranuras están orientadas perpendicularmente al borde del sustrato y están asociadas con el movimiento de raspado del sustrato (Reis, 2022).

Mikuláš et al. (2006) señalaron que el rastro más probable de *M. regularis* y *M. multilineatus*, se puede encontrar entre las especies de castores que se encuentran abundantemente en la localidad donde hicieron su estudio, mientras que posteriormente se sostuvo que ante la falta de evidencia de que los castores roen huesos (ni fósiles ni recientes), el carácter de roer de las icnoespecies *M. regularis* y *M. multilineatus* fue atribuido al puercoespín (Diedrich, 2007). Sin embargo, más recientemente se han

definido nuevos caracteres para *M. multilineatus*, relacionados con trazas fósiles caracterizadas por un perfil de rayado con fondo plano horizontal y microrelieve ondulado de rayas, que han permitido rechazar a los castores y puercoespines como trazadores, y se ha propuesto una ardilla grande como nuevo trazador del rastro fósil. En la isla El Hierro no hay castores, puercoespines ni ardillas, y por lo tanto estos roedores no pueden ser los trazadores de *M. regularis* y *M. multilineatus*; existiendo en cambio en la isla, otros roedores como la rata doméstica (*Rattus norvegicus*), la rata de campo (*Rattus rattus*) y el ratón (*Mus musculus*) (Rodríguez *et al.*, 2000); los cuales posiblemente sean los productores de estas icnoespecies.

Hemos encontrado varias perforaciones que se asemejan a *Nihilichnus nihiculus*, basándonos en la descripción original de *Nihilichnus*, estas marcas presentan un contorno aproximadamente triangular, circular u ovoide, aunque geoméricamente poco definido. Los agujeros individuales, sin un patrón específico, podrían interpretarse como resultado de mordidas individuales, reflejando la forma completa del diente o los nódulos o cúspides dentales. Por otro lado, los agujeros estampados podrían ser rastros de caza, sin un efecto alimentario inmediato. Estos grupos modelados pueden asociarse con relativa seguridad al presunto trazador, ya que proporcionan información útil sobre la morfología de sus dientes y su disposición (Mikuláš *et al.*, 2006). Además se ha observado que estas perforaciones pueden ser utilizadas como cámaras de pupación para insectos, lo que podría explicar que en algunas de nuestras perforaciones pueden observarse rastros de pequeños bioglifos. En los huesos de lagartos de la isla El Hierro, los agujeros individuales podrían estar relacionados con actividades de depredación de invertebrados. Es posible que existan otros productores para esta icnoespecie, pero no hemos podido determinarlo.

En cuanto al icnogénero *Linichnus*, se caracteriza por presentar surcos y marcas paralelas en los huesos, reflejando la interacción entre los dientes del productor de la traza y el sustrato óseo. En la Sima del Pico de la Mata se han encontrado dos icnoespecies. Estas huellas son típicas de la actividad de alimentación, frecuentemente observadas en terópodos, cuyas dentaduras están adaptadas para atrapar presas y desgarrar carne más que para triturar huesos. Sin embargo, es importante destacar que otros animales con dentición similar, como ciertos carnívoros, también podrían generar marcas de *Linichnus* bajo condiciones adecuadas. Los dientes de estos animales suelen ser simples, en forma de cuchilla y alineados en una sola fila, permitiéndoles realizar

mordidas precisas pero no repetitivas en los huesos. La diferencia entre *Linichnus bromleyi* y *Linichnus serratus* radica en las serraciones marcadas en los huesos; *L. bromleyi* no las presenta, mientras que *L. serratus* sí. La presencia de este icnogénero en nuestros huesos de lagarto sugiere la acción de algún depredador que dejó marcas distintivas en el proceso de caza o alimentación. Aunque no podemos determinar con certeza qué especies realizaron estas trazas, es probable que se trate de algún micromamífero, similar a causantes de los icnogéneros *Machichnus* y *Nihilichnus*. (Jacobsen and Bromley, 2009, Muñiz *et al*, 2020)

En el contexto del icnogénero *Cubiculum* isp, considerado como perforaciones ovoides discretas en el hueso, huecas y ovaladas, con flancos cóncavos perforados en las superficies internas esponjosas y externas del hueso cortical (Roberts *et al.*, 2007). Este icnogénero presenta varias icnoespecies en el contexto de tejidos óseos, de las cuales la mayoría, excepto una descrita por Xing *et al.* (2016), exhiben bioglifos distintivos. Xing *et al.* (2016) presentó evidencia fósil de osteofagia en invertebrados terrestres en los continentes asiático y africano, identificando huesos atribuibles a un dinosaurio del Jurásico Medio con modificaciones post-mortem por insectos, específicamente perforaciones que se asemejan al icnogénero *Cubiculum*. A partir de esta observación, propusieron una variante denominada *Cubiculum inornatus*, caracterizada por perforaciones incrustadas en el hueso cortical y trabecular. Estas perforaciones presentan cámaras con una longitud entre 2 a 5 veces mayor que su ancho asociado, fondo redondeado y paredes interiores lisas, sin bioglifos visibles (Xing *et al.*, 2016). Se interpreta que estas cámaras son cámaras pupales de insectos, similar a las pupas de artrópodos modernos y ejemplos antiguos de cámaras pupales encontradas en huesos. Aunque algunos autores han sugerido la implicación de escarabajos derméstidos en este proceso, la asociación consistente con restos de animales sugiere una relación más segura con fauna de insectos carroñeros necrófagos u osteófagos (Roberts *et al.*, 2007).

Parkinson *et al.* (2006) describieron *Munitusichnus pascens* como huellas elipsoidales con surcos ramificados. Se ha observado que estas marcas podrían haber sido resultado del desarrollo larval de ciertos insectos, los cuales podrían haber utilizado la perforación principal como un refugio protegido durante las etapas finales de su desarrollo. Esta excavación podría haber funcionado como una cámara de pupación, con los insectos emergiendo para alimentarse, lo que daría forma a la perforación en una semiluna. Aunque este comportamiento no ha sido registrado en insectos modernos, se considera

una explicación plausible. La ausencia de perforaciones en forma de media luna aisladas y la orientación oblicua de las perforaciones sugieren que ambos componentes forman parte de la misma traza. *Munitusichnus pascens* no representa un comportamiento único, sino una fase del ciclo de vida de un invertebrado, posiblemente un escarabajo. (Parkinson *et al.*, 2016).

El icnogénero *Osteocallis* ha sido vinculado con procesos de osteofagia, asociándolo así con estrategias de alimentación documentadas en insectos, donde se evidencia que estos han emergido como competidores significativos en el proceso de reducción de carroña. (Paes Neto *et al.*, 2016) Relacionamos los procesos de osteofagia, a las posibles estructuras de bioerosión que figuran en el apartado 4.3 de nuestros resultados, ya que según (Paes Neto *et al.*, 2016) los insectos han ido desarrollando cada vez más sus piezas bucales para poder modificar las regiones de los huesos, dando lugar a túneles, canales, y agujeros para aprovechar la carroña de los huesos, suponemos que las estructuras ornamentales de los huesos, pueden facilitar la entrada a las regiones menos densas de estos.

La presencia de perforaciones tubulares ha sido registrada en fragmentos óseos de organismos como la ballena barbada, un fósil encontrada en rocas del Plioceno inferior del sureste de España, y han sido descritas como *Trypanites ionasi* (Muñiz *et al.*, 2010). Son perforaciones fósiles que pueden atribuirse a gusanos anélidos o sipuncúlidos, y son cilíndricas, no ramificadas y orientadas perpendicularmente a la superficie externa del hueso. Estas perforaciones son evidencia de colonización ósea por gusanos después del consumo parcial o total de la carne, ya sea por carroñeros, microbios o, muy probablemente, ambos; lo que implica que el hueso todavía estaba fresco y contenía suficiente materia orgánica utilizable para sustentar a los colonizadores. Sin embargo, no se puede descartar por completo la posibilidad de que *T. ionasi* sea producido por un tipo de gusano, ya sea anélido o sipuncúlidos, que perfora el hueso con el único propósito de construir una vivienda (Muñiz *et al.*, 2010). Posiblemente los rastros fósiles como perforaciones tubulares observadas en los huesos de lagartos sean producidos por actividades alimenticias y de protección de algunos gusanos anélidos reportados para la isla El Hierro (Rodríguez *et al.*, 2000). En un fósil de ave del Uruguay se han encontrado rastros de bioerosión que consisten en perforaciones de diferentes tamaños y profundidades probablemente realizadas por larvas de insectos, que caen dentro de la icnofamilia *Gastrochaenolitidae*, que contiene la icnoespecie *T.*

*ionasi*, nombrada después como *Clavichnus ionasi*. Esta icnoespecie, junto con *Cuniculichnus seilacheri* y *Dipatulichnus* se incluyen en los rastros fósiles desde hoyos de formas variables, hasta túneles perforados en el hueso por larvas de escarabajos (posiblemente derméstidos) (Hospitaleche *et al.*, 2021). Las perforaciones tubulares observadas en huesos de lagartos de la isla El Hierro también pueden atribuirse a gusanos anélidos o sipuncúlidos, así como a larvas de escarabajos, porque forman parte de la fauna de la isla (Rodríguez *et al.*, 2000). En nuestro caso descartamos que los productores sean gusanos sipuncúlidos, por tratarse de anélidos marinos.

En los huesos fósiles, los insectos dejan huellas de su acción, resultado de su alimentación en cadáveres o de la creación de cámaras de pupa. Estas cámaras son pequeños espacios excavados en el hueso por larvas después de alimentarse, donde sufren metamorfosis hasta alcanzar su estadio adulto final.

Algunas especies de escarabajos, polillas, abejas, avispas, termitas y hormigas dejan huellas de cámaras en los huesos. Dentro de los escarabajos, los derméstidos, que se alimentan de carne desecada y tejido muscular de cadáveres expuestos en etapas avanzadas de descomposición, son uno de los productores más comunes de modificaciones óseas, incluyendo cámaras (Genise, 2016). En línea con este razonamiento, consideramos las trazas identificadas podríamos incluirlas en este grupo de insectos como posibles agentes productores. Los restos de *Gallotia* en los que se han hallado las bioerosiones identificadas se encuentran en el interior de una sima volcánica. La fauna de invertebrados artrópodos adaptada al medio subterráneo en la isla de El Hierro pertenece a diversos taxones: araneidos, diplópodos, quilópodos, blatodeos, anfípodos y coleópteros (los más abundantes) entre otros. Dentro de este contexto algunas de las especies presentes en la isla de El hierro son: *Dysdera ratonensis*, *Halophiloscia microphthalma*, *Palmorchestia hypogaea*, *Loboptera teneguia*, *Anataelia troglobia*, *Licinopsis angustula*, *Alevonota tanausui* (Oromí *et al.*, 2023).

Basándose en los principios icnológicos de que diferentes productores pueden generar trazas fósiles similares, o que el mismo taxón puede generar diferentes trazas fósiles, por ejemplo, dos trazas diferentes anchuras pueden haber sido generadas por individuos del mismo taxón, pero en diferentes etapas ontogenéticas; el mismo trazador generó diferentes fuerzas de mordida. o aplicó fuerzas en diferentes ángulos o posiciones; y que los trazadores de diferentes taxones, pero con tamaño comparable, tuvieron un

comportamiento similar y dejaron rastros fósiles similares (Gianechnia y Valais, 2015). Podemos observar esto en la bioerosión *Machchinus* isp. de la Figura 5 y 6 donde pueden observarse diferentes arañazos, en diferentes profundidades y orientaciones. Sería importante y relevante llevar a cabo una investigación bibliográfica exhaustiva para lograr una descripción completa y precisa de la icnoespecie. Esta tarea es especialmente importante en el campo de las bioerosiones, donde cada nueva especie descubierta puede proporcionar conocimiento significativo sobre las interacciones entre los organismos y su entorno. Al tratarse de un estudio novedoso y pionero, dado que existe una notable escasez de literatura sobre bioerosiones en huesos de lagartos consideramos que podría contribuir significativamente a la comprensión y documentación de este aspecto poco explorado de la paleontología.

La identificación de 13 icnoespecies indican diferentes comportamientos de organismos que producen bioerosiones mecánicas sobre los huesos de lagartos en el interior de una sima volcánica. La sima volcánica a pesar de estar en roca profunda, tienen conexión directa con el exterior, y a menudo tiene cierta luz natural a modo de penumbra (Oromí et al., 2021), lo que puede permitir el desarrollo de un microecosistema subterráneo con cierta biodiversidad.

Consideramos la posibilidad de que las variaciones tafonómicas y adaptaciones evolutivas hayan permitido a estos organismos explotar diferentes tipos de sustratos, contribuyendo así a la diversidad de bioerosiones observadas. Estas observaciones proporcionan una visión más profunda de las interacciones ecológicas y paleoecológicas en el ecosistema insular de El Hierro durante el período de tiempo estudiado. Sin embargo, reconocemos la necesidad de estudios adicionales para confirmar la biogenicidad de algunas estructuras observadas y para entender mejor la ecología de los organismos responsables.

La investigación sobre bioerosiones en huesos conservados en tubos volcánicos, representa un área de estudio significativa y relativamente poco explorada dentro de la paleontología y la ecología actual. La importancia de este tipo de estudios radica en varios aspectos clave que contribuyen al aumento del conocimiento de la paleobiodiversidad y a reconstruir los ecosistemas antiguos y las interacciones entre los componentes del mismo.

## 6. Conclusiones

- I. En el yacimiento paleontológico de la Sima del Pico de la Mata, ubicado en la isla El Hierro, se han identificado rastros fósiles de bioerosión en huesos de lagartos preservados en tubos volcánicos. Estos rastros son evidencia de la interacción entre organismos biológicos y los restos óseos.
- II. Se han encontrado una alta diversidad de bioerosiones en una muestra pequeña de huesos: al menos 13 icnoespecies pertenecientes a 8 icnogéneros en 17 huesos. Este hecho evidencia la diversidad significativa de las interacciones biogénicas entre los posibles productores y los huesos.
- III. Las 13 icnoespecies reflejan diversos comportamientos de los productores.
- IV. Las icnoespecies de la familia *Machichnidae* (incluyendo *Machichnus*, *Linichnus*, *Nihilichnus*) están relacionadas con comportamientos alimenticios o depredadores. En el caso de *Machichnus* hemos podido inferir comportamiento dentro del hábito roedor, podrían ser atribuidas a roedores como la rata doméstica (*Rattus norvegicus*), la rata de campo (*Rattus rattus*), y el ratón (*Mus musculus*). *Nihilichnus*, por ejemplo esta atribuida a mordidas individuales de animales, y se ha observado que diferentes invertebrados pueden aprovechar estas perforaciones para su protección, a través de cámaras pupales.
- V. Los icnogéneros *Cubiculum*, *Munitusichnus*, *Dipatulichnus*, están asociados con la creación de cámaras pupales, indicando que interfieren en alguna fase del ciclo de vida de invertebrados artrópodos. Indicando comportamientos de protección y alimentación.
- VI. *Clavichnus ionasi* y *Cuniculichnus seilacheri*, relacionadas con actividades alimenticias y de protección, posiblemente realizadas por gusanos anélidos. Así como también inferido procesos de osteofagia por la presencia de *Osteocallis*.
- VII. Este trabajo contribuye a la revalorización del patrimonio paleontológico de la isla de El Hierro, en particular del Punto de Interés Paleontológico y Lugar de Interés Geológico (con valor paleontológico) de la Sima del Pico de la Mata.



## **7. Agradecimientos.**

Este trabajo forma parte de las actividades del grupo de investigación consolidado de la ULL "Estudio de la Fauna Fósil y Actual de Canarias", enmarcado en los proyectos PROID1017010136 (Gobierno de Canarias), 2017REC20 (Fundación CajaCanarias) y PID2020-117118GB-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033).

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a mis tutores, Carolina Castillo Ruiz y Mariano Verde Cataldo, por su orientación, paciencia y constante motivación durante la realización de este trabajo.

No podría dejar de mencionar a todas aquellas personas que me han apoyado y han creído en mí sin vacilación, brindándome su amor y compañía incondicional a lo largo de esta travesía. Especialmente, quiero agradecer a Lois, cuyas palabras fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. También a mis compañeros de máster, en particular a Dara y Antonio, por su colaboración y apoyo constante.

Mis amigas fueron mi sustento existencial, y agradezco profundamente su apoyo inquebrantable. También quiero agradecerme a mí misma por haber superado mis miedos e inquietudes y haber podido realizar este trabajo. Por supuesto, también a mis compañeros de piso y, sobre todo, a mi madre, quien nunca dejó de creer en mí.

## 8. Bibliografía

- Briggs, D. E., y Crowther, P. R. (Eds.). (1990). Palaeobiology: a synthesis (pp. 1-583). *Oxford: Blackwell Scientific Publications*.
- Carracedo, J. C., Badiola, E. R., Guillou, H., de La Nuez, J., y Torrado, F. P. (2001). Geology and volcanology of la Palma and el Hierro, western Canaries. *Estudios Geológicos-Madrid*, 57, 175-273.
- Castillo, C., Coello, J. J., y González, E. M. (2001). Distribución geográfica del lagarto gigante de El Hierro (*Gallotia simonyi*) en el Cuaternario: aplicación de los datos paleontológicos para la conservación de las especies. *Revista Española de Paleontología* n° extr, 15-20.
- Castillo, C., López, M., Martín, M., & Rando, J. C. (1996). La paleontología de vertebrados en Canarias. *Spanish journal of palaeontology*, 11(3), 237-247.
- Daza, J. D., Stanley, E. L., Wagner, P., Bauer, A. M., y Grimaldi, D. A. (2016). Mid-Cretaceous amber fossils illuminate the past diversity of tropical lizards. *Science Advances*, 2(3), e1501080.
- Del Arco, M. J., Wildpret, W., Pérez-de-Paz, P. L., Rodríguez, O., Acebes, J. R., García, A., ... & García, S. (2006). Mapa de vegetación de Canarias. GRAFCAN, Santa Cruz de Tenerife.
- Diedrich, C. G. (2009). Late Pleistocene *Hystrix (Acanthion) brachyura* Linnaeus 1758 from the Fuchsluken Cave near Saalfeld (Thuringia, Germany)-a porcupine and hyena den and contribution to their palaeobiogeography in Europe. *The Open Paleontology Journal*, 2(1). <http://dx.doi.org/10.2174/1874425700902010001>.
- Dóniz Páez, J., Becerra-Ramírez, R., y Beltrán Yanes, E. (2021). Geomorfositos en el Geoparque Mundial Unesco de El Hierro (Islas Canarias, España) para fomentar el geoturismo en espacios volcánicos. *Revista de Geografía Norte Grande*, (80), 165-186. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022021000300165>.

- Fernández-Martínez, E. M. (2013). Conceptuales y Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 21(21.2), 155.
- Fernández-Pello, L. (1989). Los paisajes naturales de la isla de El Hierro. Excmo. Cabildo Insular de El Hierro. Santa Cruz de Tenerife.
- Gianechinia, F. A. y Valais, S. (2015). Bioerosion trace fossils on bones of the Cretaceous South American theropod *Buitreraptor gonzalezorum* Makovicky, Apesteguía and Agnolín, 2005 (Deinonychosauria). *Historical Biology*, 28(4), 533-549. <http://dx.doi.org/10.1080/08912963.2014.991726>.
- Guevara, L. E. C., Cruz-Ceballos, L. F., y Avendaño-Sánchez, G. M. (2024). Biogenic production and their sedimentary record: a review. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (55), 7-20.
- Hospitaleche, C. A., Jones, W., & Rinderknecht, A. (2021). Bioerosive traces in a Pleistocene Anatid bone from Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 107, 103120. ISO 690.
- Höpner, S., y Bertling, M. (2017). Holes in bones: ichnotaxonomy of bone borings. *Ichnos*, 24(4), 259-282. <https://doi.org/10.1080/10420940.2017.1289937>.
- Jacobsen, A. R., y Bromley, R. G. (2009). New ichnotaxa based on tooth impressions on dinosaur and whale bones. *Geological Quarterly*, 53(4), 373-382. ISO 690.
- Jans, M.M. (2008). Microbial bioerosion of bone – a review. In: Wisshak, M., Tapanila, L. (eds) *Current Developments in Bioerosion*. Erlangen Earth Conference Series. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-77598-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77598-0_20).
- Léveillé, R. J., y Datta, S. (2010). Lava tubes and basaltic caves as astrobiological targets on Earth and Mars: a review. *Planetary and Space Science*, 58(4), 592-598. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2009.06.004>.

- Louys, J. (2012). Paleontology in Ecology and Conservation: An Introduction. In: Louys, J. (eds) Paleontology in Ecology and Conservation. Springer Earth System Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-25038-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-25038-5_1).
- Martin, A. J. (2023). Life Sculpted: Tales of the Animals, Plants, and Fungi That Drill, Break, and Scrape to Shape the Earth. University of Chicago Press.
- Martín-González, E., Coello-Bravo, J. J., Castillo, C., González-Rodríguez, A., Galindo, I., y Vegas, J. (2019). Revisión del patrimonio paleontológico del Geoparque Mundial de la UNESCO de El Hierro. *Geogaceta*, 65, 11-17.
- Marzol Jaén, M. V. (2001). Análisis estadístico del calor en la isla de Tenerife (1950-2000). Contribución a la prevención de situaciones de riesgo. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9229>.
- Mikuláš, R., Kadlecová, E., Fejfar, O., y Dvořák, Z. (2006). Three new ichnogenera of biting and gnawing traces on reptilian and mammalian bones: a case study from the Miocene of the Czech Republic. *Ichnos*, 13(3), 113-127. <https://doi.org/10.1080/10420940600850729>.
- Muñiz, F., Belaústegui, Z., Toscano, A., Ramirez-Cruzado, S., y Gámez Vintaned, J. A. (2020). New ichnospecies of *Linichnus* JACOBSEN & BROMLEY, 2009. *Ichnos*, 27(3), 344-351. <https://doi.org/10.1080/10420940.2020.1744585>.
- Muñiz, F., De Gibert, J. M., y Esperante, R. (2010). First trace-fossil evidence of bone-eating worms in whale carcasses. *Palaios*, 25(4), 269-273. <https://doi.org/10.2110/palo.2009.p09-112r>.
- Paes Neto, V. D., Parkinson, A. H., Pretto, F. A., Soares, M. B., Schwanke, C., Schultz, C. L., y Kellner, A. W. (2016). Oldest evidence of osteophagic behavior by insects from the Triassic of Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 453, 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.03.026>

- Palacios, S. P., Castillo, C. C., y Caballero, P. C. (2019). ¿Ha habido más de una especie de lagarto gigante en El Hierro Estudio de huesos de " Gallotia" indet. de la isla de El Hierro (Islas Canarias, España). *Zubia*, (31), 127-132.
- Neumann, A. C. (1966). Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the sponge, Cliona LAMPA 1, 2. *Limnology and Oceanography*, 11(1), 92-108. <https://doi.org/10.4319/lo.1966.11.1.0092>.
- Nielsen, K. S. S., y Nielsen, J. K. (2001). Bioerosion in Pliocene to late Holocene tests of benthic and planktonic foraminifera, with a revision of the ichnogenera *Oichnus* and *Tremichnus*. *Ichnos*, 8, 99–116. <https://doi.org/10.1080/10420940109380178>.
- Oromí, P., Arechavaleta, M., de la Cruz, S., García, R., Izquierdo, I., López, H., Macías-Hernández, N., Martín, J. L., Martín, S., Martínez, A., Medina, A. L., Naranjo, M., Pérez, A. J., y Zurita, N. (2021). Diversidad faunística en el medio subterráneo volcánico, con especial énfasis en las Islas Canarias. *Boletín de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst*, 16(1), 25-50.
- Parkinson, A. H. (2016). Traces of insect activity at Cooper's D fossil site (Cradle of Humankind, South Africa). *Ichnos*, 23(3-4), 322-339. <https://doi.org/10.1080/10420940.2016.1202685>.
- Pemberton, S. G. (1992). Applications of ichnology to petroleum exploration: a core workshop. *SEPM Society for Sedimentary Geology*. <https://doi.org/10.2110/cor.92.17>.
- Pirrone, C. A., Buatois, L. A., y Bromley, R. G. (2014). Ichnotaxobases for bioerosion trace fossils in bones. *Journal of Paleontology*, 88(1), 195-203. <https://doi.org/10.1666/11-058>.
- Reis, L. F. D. S. (2022). Traços de mordidas em osso de dinossauro da Formação São José do Rio Preto, Bacia Bauru, Cretáceo Superior, Brasil.

- Roberts, E. M., Rogers, R. R., y Foreman, B. Z. (2007). Continental insect borings in dinosaur bone: examples from the Late Cretaceous of Madagascar and Utah. *Journal of Paleontology*, 81(1), 201-208. ISO 690. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2007\)81\[201:CIBIDB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2007)81[201:CIBIDB]2.0.CO;2).
- Santos, A., Calcinai, B., & Mayoral, E. (2023). Advances in bioerosion in the 21st century: new challenges. *Frontiers in Earth Science*. Vol. 11, 1245115. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1245115>.
- Sauro, F., Pozzobon, R., Massironi, M., De Berardinis, P., Santagata, T., y De Waele, J. (2020). Lava tubes on Earth, Moon and Mars: A review on their size and morphology revealed by comparative planetology. *Earth-Science Reviews*, 209, 103288.
- Schönberg, C. H., Fang, J. K., Carreiro-Silva, M., Tribollet, A., y Wisshak, M. (2017). Bioerosion: the other ocean acidification problem. *ICES Journal of Marine Science*, 74(4), 895-925. ISO 690. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw254>
- Villegas-Martín, J., Rojas-Consuegra, R., Verde, M., Belaústegui, Z., Ritter, M., y Horodyski, R. S. (2022). Bioerosion on rudist shells from the Upper Cretaceous of Cuba: Paleobiological, paleoecological and taphonomic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 113, 103665.
- Weinstein, D.K., Maher, R.L., Correa, A.M.S. (2019). Bioerosion. In: Loya, Y., Puglise, K., Bridge, T. (eds) *Mesophotic Coral Ecosystems. Coral Reefs of the World*, vol 12. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92735-0\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92735-0_43).
- Wisshak, M., Knaust, D., y Bertling, M. (2019). Bioerosion ichnotaxa: review and annotated list. *Facies*, 65(2), 24.
- Yahez, L, Y. Y., Ruiz, C. C., González, E. M., Genís, M. I., de la Nuez Pestana, J., Alonso, M. R. E. A., y Armas, F. R. (2005). Paleontología de Canarias: caracoles terrestres fósiles. *Makaronesia: Boletín de la Asociación de Amigos del Museo de Ciencias Naturales de Tenerife*, (7), 76-90. ISO 690.

Xing, L., Parkinson, A. H., Ran, H., Pirrone, C. A., Roberts, E. M., Zhang, J., y Choiniere, J. (2016). The earliest fossil evidence of bone boring by terrestrial invertebrates, examples from China and South Africa. *Historical Biology*, 28(8), 1108-1117. ISO 690. <https://doi.org/10.1080/08912963.2015.1111884>.

### **Páginas Web**

- GrafCan. Gobierno de Canarias: <https://www.grafcan.es>