



EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA: UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS

Raquel Hernando Santamaria

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA: UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS

Raquel Hernando Santamaría



TESIS DOCTORAL



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

2022

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

Raquel Hernando Santamaría

**El microdesgaste dental como indicador de la
dieta en grupos de la Prehistoria Reciente en la
Península Ibérica: una aproximación
metodológica a través de diferentes técnicas
microscópicas**

TESIS DOCTORAL

Dirigida por

Dra. Marina Lozano Ruiz



UNIVERSITAT ROVIRA i VIRGILI

Departament d'Història i Història de l'Art

Tarragona

2022

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria



FAIG CONSTAR que aquest treball, titulat “Microdesgast dental com a indicador de la dieta en grups de la Prehistòria Recent de la Península Ibèrica: una aproximació metodològica a través de diferents tècniques microscòpiques”, que presenta Raquel Hernando Santamaría per a l’obtenció del títol de Doctor, ha estat realitzat sota la meua direcció al Departament d’Història i Història de l’Art d’aquesta universitat.

HAGO CONSTAR que el presente trabajo, titulado “El microdesgaste dental como indicador de la dieta en grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica: una aproximación metodológica a través de diferentes técnicas microscópicas”, que presenta Raquel Hernando Santamaría para la obtención del título de Doctor, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento de Historia e Historia del Arte de esta universidad.

I STATE that the present study, entitled “Dental microwear analysis as an indicator of the diet in farming groups from the Recent Prehistory in the Iberian Peninsula: a methodological approach using different microscopic techniques”, presented by Raquel Hernando Santamaría for the award of the degree of Doctor, has been carried out under my supervision at the Department of History and History of Art of this university.

Tarragona, 2 de noviembre de 2022

La Directora de la Tesis Doctoral
Doctoral Thesis Supervisor
Dra. Marina Lozano Ruiz

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

*“Atención que va la **historia**
a referirla me atrevo,
del más desdichado gallo
que se ha corrido en el pueblo”*
Coplas de “El Gallo de Carnaval”, Mecerreyes.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN	5
2.1. El desgaste dental	6
2.2. El ciclo masticatorio: formación de las facetas de contacto y del microdesgaste dental	6
2.3. Desde los orígenes hasta los debates actuales: Historia de la investigación del microdesgaste dental	12
2.3.1. Historia de los métodos y técnicas de análisis microscópico aplicadas al microdesgaste dental	12
2.3.2. Formación del microdesgaste dental y debates actuales sobre su influencia en la caracterización dietética	17
2.4. Marco de estudio cronocultural del Holoceno en la Península Ibérica	25
3. OBJETIVOS	37
4. MATERIAL	39
4.1. Cova de l'Avi	42
4.2. Can Sadurní	45
4.3. Cova de la Guineu	49
4.4. Cova Foradada	54

4.5. La cueva de El Mirador	58
4.6. Cova del Trader.....	64
4.7. Roc de les Orenetes	68
4.8. Cova del Gegant.....	71
4.9. Cova dels Galls Carboners	76
4.10. Cova de Valdavara	81
5. METODOLOGÍA.....	85
5.1. NMI y Perfil demográfico del conjunto estudiado	85
5.1.1. Identificación anatómica y Número Mínimo de Individuos (NMI).....	85
5.1.2. Edades de muerte.....	86
5.2. Elaboración de moldes y réplicas de alta resolución	87
5.3. Métodos de observación y análisis del microdesgaste dental.....	92
5.3.1. Análisis del microdesgaste dental con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).....	93
5.3.2. Análisis del microdesgaste dental con Microscopio óptico (OM) a altos aumentos.....	95
5.3.3. Tratamiento de las imágenes para el microscopio electrónico de barrido y microscopio óptico para la obtención de las variables	97
5.3.4. Análisis 3D de la Microtextura dental (DMTA) a través del Microscopio Láser Confocal.....	99
5.4. Superficies dentales mal conservadas.....	103
5.5. Procedimientos y análisis estadísticos	106
5.6. Open data	108
6. RESULTADOS.....	109
6.1. Resultados metodológicos	110
6.1.1. Comparación de la microscopía óptica a altos aumentos con la microscopía electrónica de barrido para la cuantificación del microdesgaste dental	111

6.1.2. Combinación del análisis 3D de la microtextura dental en las superficies bucales y oclusales en un mismo individuo para afinar las reconstrucciones paleodietética.....	123
6.2. Resultados de los grupos arqueológicos	139
6.2.1. Los niños de La Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo): Análisis morfológico, patológico y del microdesgaste dental.....	141
6.2.2. Estimación de la maduración dietética en la infancia a partir del microdesgaste dental en las superficies bucales y oclusales de molares deciduos. Un caso de estudio de los grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica	155
6.2.3. Reconstrucción diacrónica del patrón dietético y economías de subsistencia de diferentes grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica (Inédito)	171
7. DISCUSIÓN	185
7.1. Discusión metodológica.....	186
7.1.1. El potencial de la microscopía óptica a altos aumentos frente a la microscopía electrónica de barrido para la documentación del microdesgaste dental	186
7.1.2. Comparación de las superficies bucales y oclusales a través del análisis 3D de la microtextura dental	189
7.1.3. Reflexiones metodológicas.....	192
7.2. Reconstrucción diacrónica del patrón dietético y economías de subsistencia de diferentes grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica.....	198
7.2.1. Contextualización de las prácticas dietéticas de los grupos agricultores y ganaderos del Holoceno dentro del contexto de la Península Ibérica	210
7.2.2. Consideraciones y limitaciones del estudio de los patrones de microdesgaste dental en grupos de la Prehistoria Reciente	219
8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO	223
8.1. Conclusions and future perspectives	227

REFERENCIAS	231
ÍNDICE DE FIGURAS.....	281
ÍNDICE DE TABLAS.....	287
ANEXOS.....	289
Anexo I: Micrografías OM.....	289
Anexo II: Datos de microdesgaste dental.....	291
Anexo III: Error intraobservador	297
Anexo IV: Publicaciones adicionales.....	299

AGRADECIMIENTOS

El trabajo que se presenta a continuación no habría sido posible sin el apoyo y la ayuda de muchas personas. A todas ellas, mi más sincero agradecimiento.

Esta investigación se ha desarrollado gracias a un contrato predoctoral Martí i Franquès (URV 2019PMF-PIPF-59), financiado por la Universitat de Rovira i Virgili y en colaboración con el proyecto Social, cultural and biological evolution during the Pleistocene (StEP) (2017-SGR-01040) del Institut Català de Paleoecologia i Evolució Humana (IPHES).

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi directora de tesis, Marina Lozano, por abrirme las puertas y acompañarme durante este camino en el mundo de la investigación. Gracias por la confianza depositada, y aunque esta etapa se cierra, espero que el futuro nos depare colaboraciones juntas.

Me gustaría agradecer también a los miembros del tribunal y a los revisores externos por haber aceptado leer y evaluar este trabajo.

No me quiero olvidar de reconocer el trabajo de todos los equipos y directores/as de excavación de los yacimientos incluidos en esta Tesis, ya que gracias a ellos trabajos como este pueden ver la luz. En especial quiero agradecerles a Juan I Morales y Artur Cebriá, por dejarme formar parte de su equipo: Juaning, gracias por coger lo que quedaba e intentar sacar lo mejor. Artur, gracias de corazón (aunque no las quieras) por ayudarme a completar este aquelarre académico.

Now, allow me to switch to English, to say a few words to a person I consider a great researcher and better friend, John, "If I have seen further it is by standing on the shoulders of giants". Thank you for your implication in this Thesis and for your wise advice, covering from methodological questions to the actual price of hay. In short, for all the values you transmitted to me.

Quiero mencionar también a todo el equipo de TraceoIPHES, en especial a Juan, Andreu, y Vergès que han permitido que este trabajo se enriquezca de colaboraciones transdisciplinares, gracias por abrir mi mente a nuevas alternativas.

Estoy muy agradecida a todo el personal e instituciones (University College of Dublin, Irlanda; Université de Bordeaux (PACEA), Francia y University of Calgary, Canadá) que me han acogido durante los meses de movilidad, donde he tenido la oportunidad de formarme en diferentes disciplinas. A Bea, por todo lo que me has enseñado estos años. A Antoine Souron me gustaría agradecerle su dedicación y entusiasmo, y con el cual espero que podamos colaborar en ocasiones futuras.

Dicen que el último año de tesis es el más duro pero el mío empezó en un lugar maravilloso, Oldupai Gorge, Tanzania. Y esto ha sido gracias a María Soto y Julio Mercader, gracias por cumplir mi sueño. No quiero dejar pasar la ocasión para recordar a todas las personas que conocí allí y con las que tuve el placer de trabajar haciéndome sentir como en casa, ase naleng.

A todas aquellas personas del IPHES que de una forma u otra me han ayudado durante estos años: Gema, Palmi, Pep, Rosa, Isa, Marina, Florant (por agrandar mi colección de posavasos), y tod@s en general, gracias por hacer el IPHES mi segunda casa. Especialmente, a la formación de la UCO Mapache siempre renovándose con nuevas incorporaciones forjadas a base de cervezas (Diego, Arturo, Juan, Irene, Gala, Paula, Aitor, Mónica, Jose, Effie, John, Cris, Iván, Dario, Marta, Antonia, Chiara, María, Ana Fagoaga, Anna Bucchi, Miguel Ángel, Andrea, Celia, AndiÓN, Toni, Edgar, Leo, Adrián, Elena, Antonio, Mikel, Miguel, Noé y mi asandai Pam...), porque el proceso de la Tesis no se consigue sin amigos que te apoyen y vosotros en eso, sois los mejores. Roser, umpa lumpa, por todos los veranos e inviernos que hemos pasado excavando juntas, por muchas más aventuras de Gazpacho y Mochilo.

Especialmente quiero mencionar a mis compañeras de trinchera de Tesis, Gala y Carol (gracias infinitas por el mapa), ánimo y fuerza. No quiero perder la ocasión de nombrar a mis sucesores, Celia, Miguel Ángel, Andrea y Antonia, tic... tac...

Aitor, bro, con estas líneas no voy a poder pagar las innumerables pero inolvidables cenas de tortilla, risas y cervezas, gracias por mantenerme el ánimo siempre alto.

A Diego, mi guía espiritual de fin de tesis, porque, Doc, sin tus mails del pasado no hubiese podido llegar a este presente, gracias por tu amistad de calidade.

Paula e Irene, las abuelas nadadoras, olímpicas qué sois unas olímpicas! Gracias por todas las conversaciones, consejos y risas. Miguel Ángel, falaangii, muchas gracias por todas las tardes de “diversión con huesos”, porque trabajar contigo es muy fácil.

A mi pueblo, Mecerreyes, una aldea castellana poblada por irreductibles guiletos, entre ellos, mis amigos. Especialmente, a Ali, Clara, Elena y a mi media costilla, Rebeca porque estar con vosotras siempre implica risas, gracias por estar siempre dispuestas a echar una mano.

Escribir estas frases me han costado casi tanto como lo que viene después, no por el no saber que decir sino por como condensar todo lo que me habéis dado en unas simples líneas. Aun así, voy a intentarlo, esta Tesis me gustaría dedicársela a mis abuelos: Nicanor, Eladia, Robus y Marce, por ser un ejemplo de esfuerzo, trabajo y constancia. Espero que estéis igual de orgullosos de mí que yo de ser vuestra nieta.

Detrás de estas páginas está el apoyo constante y el ánimo incondicional de mis padres, Santi y Maribel. Papa, mama, gracias por apoyar cada uno de mis pasos y creer siempre en mí, sin vosotros no habría llegado hasta aquí. A mis hermanos, Miguel y Teresa y a mi cuñada, Mónica, que como buenos hermanos mayores me han guiado siempre el camino, gracias por ser mis referentes. Por cierto, espero que escribir una tesis convalide por no poner la mesa durante los próximos 3 años o al menos, por 10 “SantiPuntos”. En general, a la familia Hernando y a la familia Santamaría, os quiero.

Estas derradeiras palabras quero adicarchelas a ti, José, porque como bo galego eres quen de acougar a treboada burgalesa. Por toda a túa axuda, consellos, e, en definitiva, por estar sempre alí, aí e acolá, graciñas.

Dicho esto, no os quedéis en los agradecimientos y echad un vistazo a esta Tesis, ¡qué tiene pinta de molar!

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

RESUMEN

Los orígenes y la posterior intensificación de las economías productoras contribuyeron a amplias transformaciones culturales, sociales y económicas durante la Prehistoria Reciente. En este sentido, la introducción de nuevas variedades de alimentos tanto de origen vegetal como animal implicó un cambio en el modo de procesar y preparar los alimentos ingeridos. El microdesgaste dental es una herramienta que permite determinar las propiedades físicas y mecánicas de los alimentos consumidos, ofreciendo evidencias de las prácticas de preparación del alimento. La caracterización de diferentes patrones de microdesgaste dental ofrece, por tanto, la posibilidad de interpretar las diferentes prácticas dietéticas de las sociedades del pasado.

Dentro de este marco de investigación, el principal objetivo de esta Tesis Doctoral consiste en la caracterización de la dieta de un conjunto de grupos holocenos de la Península Ibérica. A través del estudio del microdesgaste dental se buscará profundizar en las diferentes estrategias de subsistencia. Este objetivo se va a llevar a cabo tanto en la dentición permanente de individuos adultos, como en dientes deciduos infantiles. En el caso de los individuos infantiles se van a determinar los patrones de microdesgaste dental en dientes deciduos con el objetivo de identificar factores socioculturales relacionados con la maduración dietética.

Para ello, en este trabajo se han analizado diferentes grupos de periodos cronoculturales distintos procedentes de yacimientos ubicados principalmente en el NE peninsular (aunque también se incluyen muestras del centro y NW peninsular). Los yacimientos incluidos en este estudio son: Cova de l'Avi (Vallirana, Barcelona; Neolítico Final precampaniforme), Can Sadurní (Begues, Barcelona; Neolítico Final-Calcolítico), Cova de la Guineu (Font-Rubí, Barcelona; Neolítico Final-Calcolítico), Cova Foradada (Calafell, Tarragona; Neolítico Final-Calcolítico), El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos; Calcolítico), Cova del Trader (Cubelles, Barcelona; Neolítico Final-Calcolítico y Edad del

Bronce), Roc de les Orenetes (Ripollès, Girona; Calcolítico Final-Bronce Inicial), Cova del Gegant (Sitges, Barcelona; Edad del Bronce), Cova dels Galls Carboners (Mont-ral, Tarragona; Bronce Medio), Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo; Bronce Medio).

Desde una perspectiva más metodológica, un segundo objetivo prioritario en el desarrollo de esta Tesis ha consistido en la evaluación de las diferentes metodologías aplicadas al estudio del microdesgaste dental: microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía óptica (OM) y análisis 3D de la microtextura dental mediante microscopio láser confocal (DMTA). De este modo, se van a discutir las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. Debido a las limitaciones identificadas en las técnicas tradicionales de análisis con microscopía electrónica de barrido y gracias a los avances tecnológicos de la microscopía óptica, otro de los objetivos consistió en desarrollar una metodología alternativa de microdesgaste dental con el microscopio óptico a altos aumentos. Además, a través de la técnica DMTA se va a combinar, por primera vez, el análisis de las superficies oclusales y bucales en un mismo individuo con el objetivo de determinar cómo afecta cada superficie dental en la formación del microdesgaste dental.

La mayor parte de los resultados obtenidos en este trabajo han sido presentados en diversas publicaciones científicas en revistas indexadas con factor de impacto. Además, aportamos un apartado inédito cuya publicación está en vías de preparación. Todos estos resultados han permitido articular una discusión en torno a dos grandes líneas de investigación.

Primero, desde un punto de vista metodológico se ha constatado que todas las técnicas microscópicas que hemos empleado para analizar el microdesgaste dental son válidas para caracterizar patrones diferenciales de microdesgaste y, por tanto, discriminar entre diferentes tipos de dietas. No obstante, el análisis 3D de la microtextura dental es el que más ventajas ofrece debido, principalmente, a la cuantificación automática que reduce el margen de error intraobservador. Alternativamente, en el presente trabajo se ha desarrollado una alternativa eficaz y con menor coste económico para establecer patrones de microdesgaste con el microscopio óptico a altos aumentos.

En cuanto a los estudios comparativos de las superficies bucales y oclusales en un mismo diente, se ha demostrado una falta de correlación entre ambas, que puede estar

asociada a la existencia de variación intrasuperficie. Asimismo, se ha observado que tanto la superficie bucal como la oclusal están implicadas en la etiología del microdesgaste dental y su combinación potencia la resolución de los resultados obtenidos.

En segundo lugar, en lo referente a la reconstrucción paleodietética, se ha establecido la existencia de diferentes especializaciones dentro de un patrón general de dieta mixta de los grupos holocenos estudiados. Tales diferencias dietéticas tienen un origen multicausal dependiendo de cada grupo y se ha relacionado con diferentes factores como la paleoecología, la elección voluntaria de recursos, la tecnología usada por cada grupo y, a nivel general, por el factor cronocultural.

La variabilidad observada entre los grupos infantiles procedentes de los diferentes yacimientos se ha asociado a una diferente madurez dietética debido a diversos factores tanto en la elección del alimento como en su preparación. El acceso a diferentes tipos de alimentos o las prácticas culturales específicas podrían vincularse a factores que covarían con la edad, estatus social, entre otros. De esta manera, observamos que estos aspectos sociales y/o culturales pueden estar relacionados con aspectos de la maduración biológica durante la infancia.

En síntesis, el presente trabajo muestra como el microdesgaste dental es una buena herramienta para interpretar las estrategias de subsistencia de los grupos humanos del pasado, ofreciendo evidencias de las prácticas de procesamiento previo del alimento y de las propiedades del alimento en sí. Asimismo, su complementación con otro tipo de aproximaciones dietéticas ofrece una visión más completa de la variabilidad entre las prácticas dietéticas de los grupos humanos del pasado.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

ABSTRACT

The origins and later intensification of farming economies contributed to major cultural, social and economic transformations during the Recent Prehistory. In this way, the introduction of new varieties of foods of both plant and animal origin, lead to a change in the way of processing and preparing the ingested foodstuff. Dental microwear allows to determine the physical and mechanical properties of the consumed foods, providing evidence of the preparation practices of the foodstuff. The characterization of different dental microwear patterns provides, therefore, the possibility of interpreting different dietary practices of the societies of the past.

Within this research framework, the main objective of this Doctoral dissertation focuses on the characterization of the diet of a set of Holocene groups from the Iberian Peninsula. Through the analysis of dental microwear we intend to deepen on the knowledge about the different subsistence strategies. This objective will be carried out both in the permanent dentition of the adult individuals as well as in deciduous teeth. In the case of infant individuals, dental microwear patters will be determined on deciduous teeth in order to identify the sociocultural factors related to dietary maturation.

For that, in this work we have analyzed various groups from different chrono-cultural periods and from different sites located mainly in northeastern Iberia (although we have also included samples from the center and northwest of the Iberian Peninsula). The archaeological sites included in this work are: Cova de l'Avi (Vallirana, Barcelona; pre-Bell Baker Late Neolithic), Can Sadurní (Begues, Barcelona; Late Neolithic-Chalcolithic), Cova de la Guineu (Font-Rubí, Barcelona; Late Neolithic-Chalcolithic), Cova Foradada (Calafell, Tarragona; Late Neolithic-Chalcolithic), El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos; Chalcolithic), Cova del Trader (Cubelles, Barcelona; Late Neolithic-Chalcolithic and Bronze Age), Roc de les Orenetes (Ripollès, Girona; Late Chalcolithic-Early Bronze Age), Cova del Gegant (Sitges, Barcelona; Bronze Age), Cova dels Galls Carboners (Mont-

ral, Tarragona; Middle Bronze Age), Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo; Middle Bronze Age).

From a methodological perspective, a second priority objective of this dissertation has been the evaluation of the different methodologies applied to the study of dental microwear: Scanning Electron Microscope (SEM), Optical Microscope (OM) and Dental Microwear Texture Analysis through Confocal Laser Microscopy (DMTA). This way, the advantages and inconveniences of each of them will be discussed. Due to the limitations identified for the traditional analytical techniques through scanning electron microscopy, and thanks to the technological progress of optical microscopy, another objective of this work consisted of developing an alternative methodology for the documentation of dental microwear with the optical microscope at high magnifications. In addition, through the DMTA technique we will combine, for the first time, the analysis of occlusal and buccal surfaces on the same individual, with the aim of determining how each dental surface affects the formation of dental microwear.

Most of the results of this work have been presented in several scientific publications in indexed journals with impact factor. Besides, it is included an unpublished section whose publication is under preparation. All these results allowed to organize a discussion about two main research lines.

First, from a methodological perspective it has been noted that all the microscopic techniques employed here to analyze dental microwear are valid to characterize differing microwear patterns, and, thus, to discriminate between different types of diets. However, DMTA is the one that offers the most advantages mainly due to the automatic quantification, which reduces the intra-observer error. Alternatively, in this work we have developed an efficient and cost-effective alternative to document dental microwear patterns with the optical microscope at high magnifications.

Regarding the comparative study of buccal and occlusal surfaces on the same tooth, we have demonstrated a lack of correlation between them which can be related to intra-surface variation. Additionally, we have observed that both buccal and occlusal surfaces are involved in the etiology of dental microwear, and their combination refines the resolution of the obtained results.

Second, regarding the palaeodietary reconstruction, we have established the existence of different specializations within an overall pattern of mixed diets for the studied Holocene groups. Such dietary differences have a multicausal origin depending on each group, and have been related to different factors such as the palaeoecology, the voluntary choice of resources, the technology used by each group, and, at a general level, the chrono-cultural factor.

The observed variability between the infant groups from the different sites has been related to a different child dietary maturation, due to different factors both in the choice of the foods and in their preparation. The access to different types of foods or specific cultural practices could be linked to factors that covary with age or social status, among others. In this way, we observe that these social and/or cultural aspects can be related to factors on the biological maturation during childhood.

In summary, the present work evidence that dental microwear is a reliable proxy for reconstructing the subsistence practices of past human groups, providing information about the techniques of previous processing of the foodstuff and the properties of the foodstuff itself. In addition, its complementation with other types of dietary approaches provides a wider perspective about the variability of the dietary practices of past human groups.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

LISTA DE ABREVIATURAS

Generales:

C¹⁴ AMS: Datación por radiocarbono

NMI: Número Mínimo de Individuos

Me: Mediana

OLS: Regresión de Mínimos Cuadrados

PCA: Análisis de Componentes Principales

X: Media

Nomenclatura de yacimientos:

CA: Cova de l'Avi

CG: Cova del Gegant

CS: Can Sadurní

GC: Galls Carboners

GN: Cova de la Guineu

FO: Cova Foradada

MIR: Cueva de El Mirador

RO: Roc de les Orenetes

VAL: Cova de Valdavara

Términos para el microdesgaste dental:

Asfc: Complejidad (*Area-scale fractal complexity*)

BTN: Número total de estrías en la superficie bucal (OTN, en el caso de la superficie oclusal)

DASTA: Análisis 3D de la microtextura dental, a través de ISO/FDIS 25178 (*Dental Areal Surface Texture Analysis*)

DM: Número total de estrías distomesiales

DMTA: Análisis 3D de la microtextura dental (*Dental Microwear Texture Analysis*)

epLsar: Anisotropía (*Exact proportion Lenght-scale anisotropy of relief*)

H: Número total de estrías horizontales

NH/TN: Índice obtenido del número de estrías horizontales entre número total de estrías

NV/TN: Índice obtenido del número de estrías verticales entre el número total de estrías

MD: Número total de estrías mesiodistales

OM: Microscopio Óptico

SEM: Microscopio Electrónico de Barrido

SSFA: Análisis fractal sensible a la escala (*Scale-Sensitive Fractal Analysis*).

V: Número total de estrías verticales

W: Anchura media de las estrías

XT: Longitud media de las estrías en la superficie bucal (OXT, en el caso de la superficie oclusal)

Sistema de numeración odontológica de la dentición posterior:

- Tipo de diente:

P3: Primer premolar (dm1: para el primer molar decíduo)

P4: Segundo premolar (dm2: para el segundo molar decíduo)

M1: Primer Molar

M2: Segundo Molar

M3: Tercer molar

- Posición:

U: Superior, en la maxila (del inglés, *Upper*)

L: Inferior, en la mandíbula (del inglés, *Lower*)

- Lado:

R: Derecho (del inglés, *Right*)

L: Izquierdo (del inglés, *Left*)

1. INTRODUCCIÓN

La presente Tesis Doctoral, constituida por un total de ocho capítulos incluyendo la presente **introducción**, ha sido desarrollada en un compendio de cuatro publicaciones científicas aceptadas durante la realización de esta investigación (2019-2022), junto con un apartado actualmente inédito, en vías de preparación para su publicación.

En el **Capítulo 2** se describe el **marco teórico** y el **estado de la cuestión** en el que se enmarca este trabajo. En primer lugar, se va a presentar una síntesis de las cuestiones relacionadas con la formación del microdesgaste dental, la historia y desarrollo de su investigación y las mejoras tecnológicas y metodológicas aplicadas a lo largo de los años, para finalizar con el estado actual de la investigación y los debates metodológicos actuales. En segundo lugar, se aborda el marco cronocultural de las poblaciones del Holoceno incluidas en esta Tesis. Para ello, se hará una contextualización del estado actual de la investigación de los grupos Holocenos de la Península Ibérica a través de diferentes aproximaciones arqueológicas.

En el **Capítulo 3** se presentan de forma sintéticas los **objetivos** de investigación.

En el **Capítulo 4** se exponen los **materiales** analizados en este trabajo, provenientes de una serie de yacimientos holocenos de la Península Ibérica. De esta manera, se va a presentar la información relativa a su localización, haciendo un breve repaso a los antecedentes de la investigación, para posteriormente describir la secuencia ocupacional de cada yacimiento. A continuación, se va a presentar el conjunto bioarqueológicos de cada uno de estos yacimientos, prestando especial atención a los restos dentales analizados.

En el **Capítulo 5** se describen los **métodos** utilizados para clasificar y determinar el perfil demográfico de los conjuntos estudiados junto con los procedimientos y protocolos de limpieza para la realización de réplicas de alta resolución. Posteriormente, se van a detallar todas las metodologías empleadas para el análisis del microdesgaste dental. Finalmente, se hará hincapié en las principales problemáticas encontradas al analizar el

microdesgaste dental debido a la deficiente conservación de algunas superficies dentales. Asimismo, se presenta una descripción de los análisis estadísticos aplicados para cada estudio.

En el **Capítulo 6** realizamos una recapitulación de los **resultados** obtenidos durante el desarrollo de la presente Tesis Doctoral. Este capítulo se divide en dos grandes bloques: los resultados obtenidos de las cuestiones metodológicas y los resultados derivados del análisis del microdesgaste dental en las poblaciones arqueológicas.

Respecto al bloque metodológico, se presentan dos artículos científicos ya publicados:

- Hernando, R., Fernández-Marchena, J. L., Willman, J. C., Ollé, A., Vergès, J. M., & Lozano, M. (2020). Exploring the utility of optical microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear. *Quaternary International*, 569, 5-14.
- Hernando, R., Willman, J. C., Souron, A., Cebrià, A., Oms, F. X., Morales, J. I., & Lozano, M. (2022). What about the buccal surfaces? Dental microwear texture analysis of buccal and occlusal surfaces refines paleodietary reconstructions. *American Journal of Biological Anthropology*, 178(2), 347-359.

Mientras que, para la segunda temática, se presentan dos artículos científicos ya publicados y un trabajo inédito centrado en los resultados obtenidos del microdesgaste dental de los conjuntos estudiados:

- Hernando, R., Lozano Ruiz, M., Ceperuelo, D., Alonso, S., & Vaquero Rodríguez, M. (2019). Los niños de La Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo): análisis morfológico, patológico y del microdesgaste dental. *Munibe Antropologia-Arkeologia*.
- Hernando, R., Willman, J. C., Vergès, J. M., Vaquero, M., Alonso, S., Oms, X., ... & Lozano, M. (2020). Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: A case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(1), 1-13.
- Hernando, R., Moreno-Ibáñez, M.A., Alluè, E., Cebrià, A., Daura, J., Díez-Canseco, C., Edo, M., Fullola, J.M., Morales, J.I., Oms, X., Ramírez, I., Sanz, M., Subirá, M. E., Tornero, C., Vergès, J.M., Lozano, M. Reconstrucción diacrónica del patrón

dietético y economías de subsistencia de diferentes grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica (*Inédito*).

El **Capítulo 7** está dedicado a la **discusión** de los resultados obtenidos. Esta discusión se ha articulado en torno a las dos grandes cuestiones, metodología y poblaciones arqueológicas, que han centrado este trabajo.

En el primer apartado se han abordado las diferentes metodologías aplicadas al estudio del microdesgaste dental de manera habitual. Una de las principales aportaciones de este trabajo es el desarrollo de una nueva metodología para el análisis del microdesgaste dental mediante microscopía óptica a altos aumentos. Además, para finalizar este apartado se aporta una discusión centrada en los desafíos metodológicos que hemos tenido que solventar durante el desarrollo de esta investigación, proponiendo una serie de reflexiones y líneas de investigación futuras. Por otro lado, se va a discutir la combinación de las superficies dentales, bucal y oclusal, en un mismo individuo mediante DMTA.

En el segundo apartado de la discusión, se han discutido los resultados obtenidos en el estudio de la caracterización del microdesgaste dental en los individuos, tanto infantiles como adultos, de los grupos analizados en la presente Tesis Doctoral. A continuación, los datos obtenidos de los grupos analizados se han contextualizado y comparado con otros grupos holocenos de la Península Ibérica para obtener una visión holística de los estilos de vida de estas comunidades. De igual modo, al finalizar este apartado se ha realizado una valoración de ciertas limitaciones intrínsecas propias de los estudios de microdesgaste dental en estas cronologías.

Por último, en el **Capítulo 8** se exponen las principales **conclusiones** de este trabajo en relación a los objetivos planteados, integrándolas con las futuras perspectivas de trabajo.

Finalmente, se ha incluido una sección de **anexos** donde se incluyen el material suplementario de cada artículo junto con otras publicaciones en las que he contribuido a lo largo de mi etapa de formación como investigadora. Además, las micrografías de la parte inédita de este trabajo han sido depositadas en repositorio de acceso libre.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este capítulo se describe el estado actual de la investigación respecto a los objetivos principales de esta Tesis Doctoral, y que sentarán las bases de referencia para la discusión de los resultados de la investigación desarrollada.

En un primer bloque, se van tratar las cuestiones relacionadas con la formación del microdesgaste dental y las superficies del diente implicadas en el ciclo masticatorio. Posteriormente, se realizará una recopilación de las investigaciones relacionadas con la evolución de las técnicas de microscopía, para, a continuación, finalizar con una síntesis tanto de los debates como de las mejoras metodológicas de las técnicas actuales de microdesgaste dental.

En este segundo bloque se va abordar el marco cronocultural de las poblaciones del Holoceno. En concreto, se hará una revisión del estado actual de la investigación arqueológica para contextualizar los grupos Holocenos de la Península Ibérica a través de diferentes aproximaciones arqueológicas. De este modo se puede ofrecer una visión holística desde diferentes perspectivas que están estrechamente relacionadas como el factor social, económico, cultural y el comportamiento funerario de estas poblaciones.

2.1. El desgaste dental

En términos generales, el desgaste dental puede definirse como la pérdida progresiva de los tejidos que componen el diente debido principalmente a su uso reiterado para la masticación. No obstante, hay otra serie de causas que originan desgaste dental como pueden ser: el desgaste paramasticatorio producido por diferentes comportamientos culturales, ya sea el uso de los dientes como herramientas (en la manipulación de pieles, tendones y otros materiales), la sujeción de objetos no alimentarios (por ejemplo, pipas o agujas de coser), las modificaciones intencionales (piercings faciales) o el uso de palillos dentales con fines higiénicos, entre otros (p. ej: (Estalrrich et al., 2017; Krueger and Ungar, 2012; Lozano et al., 2021, 2013; Stojanowski et al., 2015; John C Willman et al., 2020)).

A lo largo del marco metodológico de esta Tesis Doctoral utilizaremos la terminología de desgaste dental para denotar la pérdida de esmalte del diente por el proceso de la masticación y como resultado principalmente de procesos de atrición, abrasión y erosión. La atrición se refiere al desgaste por fricción resultante del contacto diente con diente, y principalmente afecta a las superficies oclusales e interproximales. Mientras que la abrasión se produce por el contacto de los dientes con el alimento, y como se explicará más adelante puede ser debido a las partículas intrínsecas o extrínsecas del alimento consumido. Por último, la erosión es causada por la disolución del tejido dental por el contacto con sustancias ácidas (d'Incau et al., 2012; Hara et al., 2016; Kaidonis et al., 2012; Lucas et al., 2013; Puech and Prone, 1979; Ranjitkar et al., 2017; Shellis and Addy, 2014; Teaford et al., 2021).

2.2. El ciclo masticatorio: formación de las facetas de contacto y del microdesgaste dental

La masticación es el proceso que consiste en reducir el tamaño de las partículas sólidas de los alimentos, rompiéndolas con los dientes para que las enzimas digestivas tengan más superficie sobre la que actuar. A continuación, se mezclan con la saliva creando el bolo alimenticio (Lucas, 2015). Debido al proceso de la masticación, el

esmalte dental (la capa externa protectora del diente, formada por cristales de hidroxiapatita (Habelitz et al., 2001)), va sufrir un desgaste fisiológico progresivo a lo largo de la vida del individuo, que se observa tanto a nivel macroscópico como microscópico.

A nivel macroscópico, las facetas de desgaste, se producen durante la masticación cuando la compresión y el movimiento del bolo alimenticio causan abrasión, debido al contacto diente-alimento-diente, o por la atrición debido al contacto diente-con-diente. A nivel microscópico, los rasgos de desgaste encontrados en la superficie dental se dividen en dos grupos: estrías o agujeros (en inglés, *pits*), dependiendo de su longitud y anchura. Cuando estas son similares se denominan agujeros, mientras que cuando la longitud es al menos cuatro veces mayor que su anchura se denominan estrías (Gordon, 1988; Krueger et al., 2008; Maier and Schneck, 1982; Puech and Prone, 1979; Tausch et al., 2015; Teaford and Lytle, 1996; Walker and Teaford, 1989).

El ciclo masticatorio se fundamenta en los movimientos de la mandíbula con el objetivo de disgregar el alimento en partículas más pequeñas para facilitar su posterior ingesta y digestión (Kay and Hiiemae, 1974). El primer paso del ciclo consiste en la elevación de la mandíbula con una ligera desviación en sentido lateral para iniciar la disgregación del bolo alimenticio. Sin embargo, previamente a estos primeros ciclos, el foco se centra en la función de los incisivos y caninos con la realización de movimientos relativamente verticales, "*Incisal Biting*", en los que los molares no llegan hacer contacto [Figura 2.1a]. Posteriormente, la mandíbula se mueve hacia la oclusión con el maxilar provocando la interacción entre los molares [Figura 2.1b]. El choque entre los molares es lo que marca el inicio del "*Power Stroke*" del ciclo masticatorio. Este choque provoca unas facetas de desgaste en la dentición posterior, que se dividen en dos grupos: facetas de "Fase I" y facetas de "Fase II" [Figura 2.1c], dependiendo de su localización y las circunstancias de su formación.

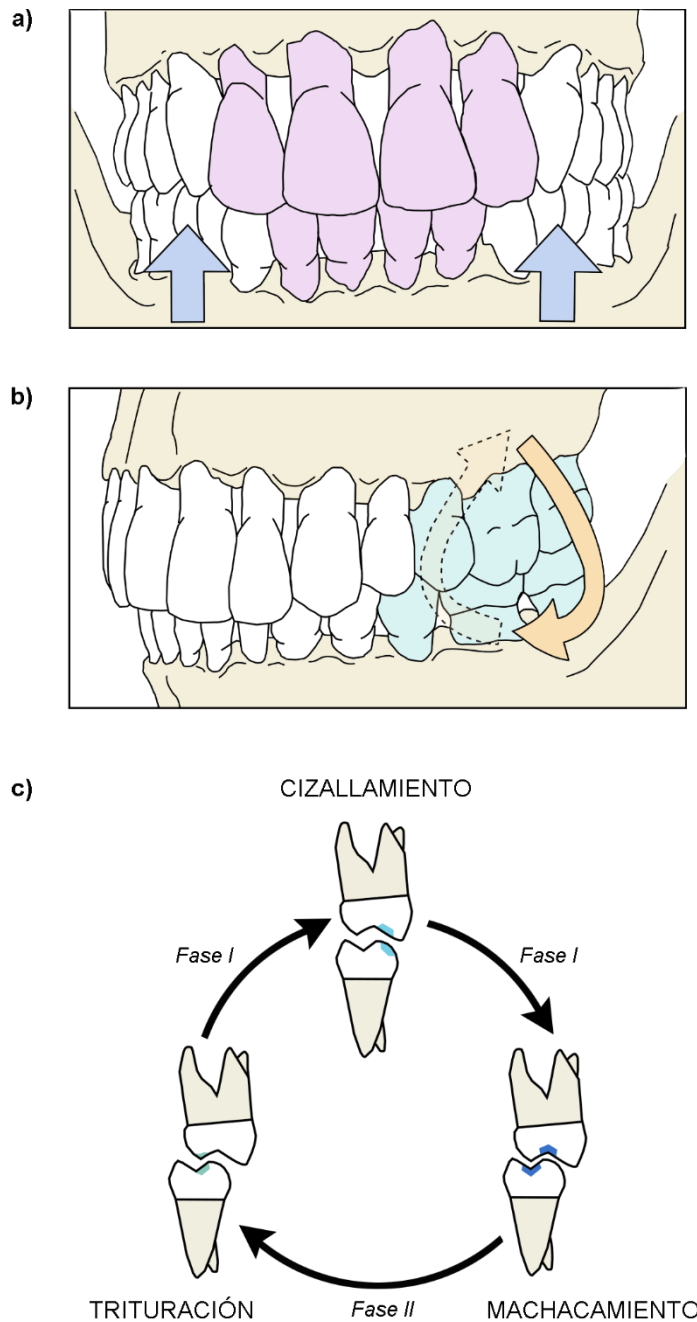


Figura 2.1 Fases del ciclo masticatorio. a) Primer ciclo constituido por mordidas incisales. b) Masticación rotatoria usando la dentición posterior. c) Durante la masticación, el bolo alimenticio se reduce a trozos más pequeños mediante tres procesos masticatorios diferentes: Cizallamiento (fase I); Machacamiento (fase I) y Trituración (fase II). Figuras a) y b) modificadas de www.keptalkingspeech.com; c) adaptada de Fiorenza et al., (2015b).

Según Maier and Schneck (1982) en la “Fase I” hay ocho facetas de desgaste (Facetas 1 a 8). Estas se forman cuando las cúspides de los molares superiores e inferiores se deslizan entre sí, creando una fuerza de cizallamiento a medida que la mandíbula se

mueve superior y medialmente. Como se observa en la [Figura 2.2], estas facetas de la “Fase I” se localizan tanto en la superficie bucal (faceta 3 y 4) como en la lingual (faceta 5 y 6). Cuando la mandíbula se acerca a la oclusión céntrica, comienza la denominada “Fase II”. En este punto, aunque las fuerzas aplicadas comienzan a disminuir, los molares mandibulares ocluyen firmemente con sus homólogos maxilares, comprimiendo y atrapando las partículas del alimento, creando las denominadas facetas 9 y 13, localizadas exclusivamente en la superficie oclusal opuestas de los molares [Figura 2.2]. El ciclo termina cuando la mandíbula se mueve justo después de la oclusión de los molares superiores e inferiores (Kay and Hiiemae, 1974; Krueger et al., 2008; Schmidt et al., 2020; Tausch et al., 2015).

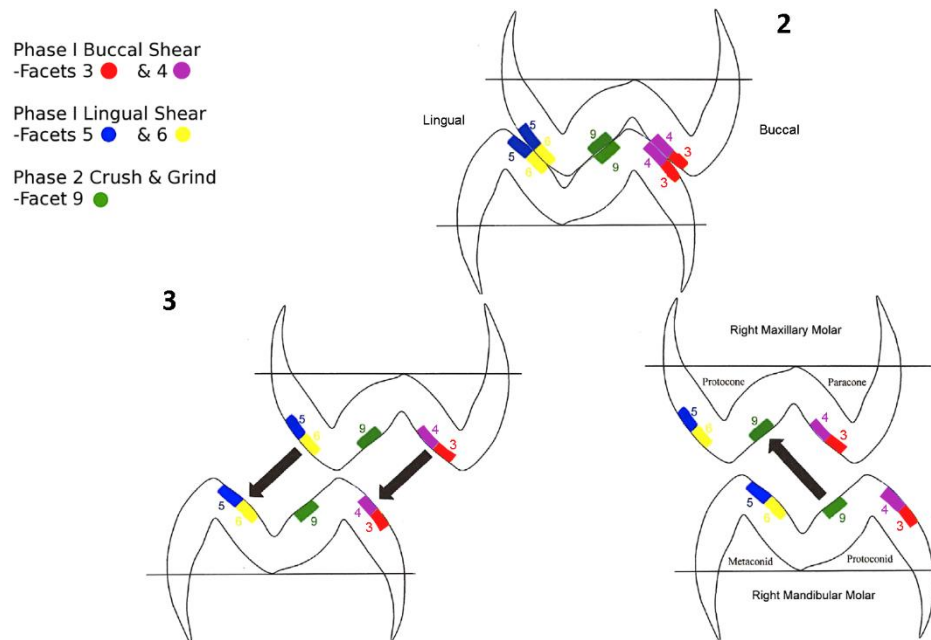


Figura 2.2 Ilustración simplificada de los movimientos masticatorios junto con las facetas de desgaste implicadas. El ciclo comienza en la figura inferior derecha, continúa con la oclusión céntrica (faceta 9) en la figura superior para finalizar con la figura inferior izquierda. La fase I incluye las facetas bucales (3 y 4) y linguales (5 y 6), mientras que la fase II consiste en la faceta 9 oclusal. Figura modificada de (Tausch et al., 2015).

Las facetas de desgaste de la “Fase I” tienden a estar dominadas únicamente por estrías creadas por el cizallamiento de las cúspides de los molares superiores e inferiores. Por su parte, las facetas de la “Fase II” poseen estrías y agujeros debido al aplastamiento y trituración del bolo alimenticio. Dentro de estas, en la superficie oclusal es la faceta 9 en la que se diferencia con mayor eficacia el tipo de dieta (Krueger et al., 2008).

El análisis del microdesgaste dental es una técnica no destructiva que permite cuantificar y caracterizar los rasgos microscópicos (estrías y *pits*) producidos en el esmalte dental como resultado de la masticación de los alimentos. El microdesgaste dental puede ser observado tanto en la superficie bucal como en la oclusal, reflejando distinciones debido a los diferentes factores que afectan a cada superficie. Por esta razón, se requiere de diferentes métodos de análisis e interpretación dependiendo de cada superficie. Los rasgos de la superficie bucal se definen como estrías de diferentes longitudes, frecuencia y orientaciones, y en general son observados en el tercio medial de esta superficie para asegurarse que el microdesgaste solo está afectado por el contacto del bolo alimenticio con el esmalte dental y la mejilla (Pérez-Pérez et al., 2003; Pérez-Pérez et al., 1994; Romero et al., 2012, 2004a). En cambio, en la superficie oclusal, concretamente la faceta 9, el microdesgaste consiste en estrías y *pits* creados por la compresión del alimento contra el esmalte dental por el contacto diente-con-diente (Gordon, 1988; Krueger et al., 2008; Ryan, 1979; Teaford, 1994).

Además, los rasgos de microdesgaste presentes en el esmalte dental tienen una tasa de renovación, denominada *turnover*, con diferente periodicidad dependiendo de la superficie dental analizada. Esto puede contribuir a una variación en la información obtenida a través de cada superficie. La superficie oclusal tiene un *turnover* rápido, debido a una serie de factores como la atrición, por lo que informaría de la dieta de las últimas semanas del individuo. Este efecto se denomina "*The last supper effect*" (Grine, 1986; Romero et al., 2012; Teaford et al., 2017; Teaford and Lytle, 1996; Teaford and Oyen, 1989; Teaford and Tylenda, 1991; Ungar, 2011). Experimentos *in vivo* sobre la superficie oclusal del diente en monos aulladores, caracterizaron el *turnover* como el resultado directo de lo que han ingerido en las últimas semanas. Debido a que estos animales están influenciados por el hábitat y la estacionalidad del clima donde viven, se puede establecer un patrón claro en la caracterización de sus dietas. Por ello, este trabajo determinó que el microdesgaste oclusal puede dilucidar diferencias estacionales y de micro hábitat entre diferentes grupos (Teaford and Glander, 1996).

Por el contrario, el patrón de microdesgaste bucal tiene un *turnover* más gradual, estabilizándose en la madurez con lo que puede proporcionar información acerca de la dieta de los individuos a largo plazo (Pérez-Pérez et al., 1994; Romero et al., 2012;

Romero and De Juan, 2007). No obstante, estudios *in vivo* de la superficie bucal del diente demostraron la sensibilidad de esta superficie a cambios dietéticos rápidos. Sin embargo, si estos cambios no se mantienen durante un tiempo suficiente y afectan a un número suficiente de individuos, esta superficie muestra una gran estabilidad del *turnover*, caracterizándola como un buen indicador de los hábitos alimenticios a lo largo de la vida, siendo menos sensible a cambios dietéticos puntuales (Romero et al., 2012)

En síntesis, la formación del microdesgaste dental puede documentarse en diferentes superficies dentales. Excluyendo los casos donde los *pits* se formaron por alimentos de consistencia pegajosa que ocasionan pequeñas roturas en el esmalte, o la ingesta de alimentos ácidos que producen erosión en el mismo (Gügel et al., 2001; Hara et al., 2016; Ranjitkar et al., 2017), las estrías y *pits* normalmente están creados por el mismo tipo de partículas asociadas a los alimentos consumidos. La diferencia entre ellas radica en el ángulo con el que se ejerce la presión durante la masticación y las fuerzas masticatorias implicadas. Por esta razón, la superficie bucal y la oclusal presentan diferentes rasgos de microdesgaste en un mismo individuo, además de diferentes tasas de renovación del esmalte. La zona medial de la superficie bucal no tiene un efecto directo sobre la atrición durante el proceso de masticación, y por ello apenas se ve afectada por los factores biomecánicos (Pérez-Pérez et al., 1994; Romero et al., 2004a). Por tanto, algunos autores sugieren que el patrón de microdesgaste bucal afectado por la abrasión estará localizado en el contacto oclusal-bucal, más que en las zonas mediales (Lalueza-Fox et al., 1996; Pérez-Pérez et al., 2003), mientras que la superficie oclusal estaría afectada por diferentes fuerzas biomecánicas, concretamente la faceta 9 estaría influenciada por la atrición (Krueger et al., 2008).

En este sentido, el microdesgaste dental se analiza generalmente en las superficies bucales u oclusales, pero rara vez se examinan ambas superficies en un mismo estudio (García-González et al., 2015; Hernando et al., 2021). En el marco de esta Tesis Doctoral vamos a analizar ambas superficies con dos objetivos. Primero, observar si la combinación de ambas puede proporcionar datos complementarios en la reconstrucción de los comportamientos dietéticos debido a las diferentes tasas de renovación del microdesgaste en el esmalte. Y, por otro lado, inferir los mecanismos específicos de formación de microdesgaste dental en cada superficie.

2.3. Desde los orígenes hasta los debates actuales: Historia de la investigación del microdesgaste dental

2.3.1. Historia de los métodos y técnicas de análisis microscópico aplicadas al microdesgaste dental

Dentro del campo de la paleoantropología, el estudio de la dieta mediante el microdesgaste dental es una línea de investigación con una larga trayectoria, que ha desarrollado sustanciales mejoras técnicas y metodológicas a lo largo de los años. Desde los primeros estudios usando Microscopios Ópticos (OM) (Dahlberg and Kinzey, 1962), evolucionando al uso de la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) (Gordon, 1988; Pérez-Pérez et al., 1994; Teaford and Lytle, 1996), hasta técnicas más precisas como el análisis 3D de la microtextura dental (DMTA, por sus siglas en inglés *Dental Microwear Texture Analysis*) mediante el uso del Microscopio Láser Confocal (Scott et al., 2006; Ungar et al., 2003).

Entre las décadas de 1920 y 1960 se desarrollan los primeros estudios relacionados con el microdesgaste dental mediante microscopía óptica, tratando de explorar el grado de implicación de los dientes en los movimientos mandibulares durante la ingesta de alimentos (Simpson, 1933). Pero no fue hasta los años 50, cuando Butler observa una relación entre ambos y propone que las estrías en las superficies oclusales pueden permitir inferir las direcciones de los movimientos mandibulares (Butler, 1952). Unos años después, en 1959, un estudio centrado en dientes de ovejas mostró la acción abrasiva de los fitolitos de las plantas y las partículas extrínsecas del ambiente en la formación del microdesgaste dental durante la masticación (Baker et al., 1959).

Estos estudios se vieron reforzados por las primeras investigaciones centradas en poblaciones humanas, revelando diferentes orientaciones de las estrías del diente causadas por diferencias en el tipo de comida (Dahlberg and Kinzey, 1962). Con el tiempo, esta relación se vio corroborada en la dentición anterior de primates Cercopitecinos, manifestando que dependiendo del tipo de comida ingerida se producían diferentes patrones de microdesgaste dental en las superficies incisales (Walker, 1976).

Sin embargo, a finales de los años 70 empieza a cuestionarse la fiabilidad del microscopio óptico debido a una serie de factores limitantes de estos instrumentos. Principalmente, la limitada profundidad de campo y poder de resolución de esos microscopios producían una superficie observada en forma de banda estrecha que planteaban problemas a la hora de analizar la superficie de los dientes, que tienden a ser curvos y, por ello, el campo de visión estaba desenfocado (Ryan, 1979; Walker et al., 1978). Estos condicionantes llevan a desarrollar una alternativa metodológica con el microscopio electrónico de barrido, que permitía a los investigadores observar las marcas de microdesgaste a más aumentos con todo el campo de visión enfocado, incluso cuando las superficies eran curvas o irregulares (Puech, 1979; Rensberger, 1978; Ryan, 1979; Walker et al., 1978). No obstante, los avances tecnológicos han mejorado la capacidad de análisis de los microscopios ópticos, por ello, en el marco de este estudio se va a reabrir el debate sobre la funcionalidad del mismo (Hernando et al., 2020a). Estos resultados serán presentados y discutidos a lo largo de la presente Tesis Doctoral.

Esta metodología con el microscopio electrónico de barrido fue ampliamente usada durante los años 80 y llevó a plantearse una serie de cuestiones relacionadas con la estandarización de la técnica. Investigaciones realizadas por Gordon concluyeron que había una serie de factores (p. ej., los aumentos, la faceta analizada, los parámetros del SEM) que tienen que estar controlados para obtener patrones válidos con los que hacer interpretaciones comparativas de comportamientos dietéticos entre individuos o poblaciones (Gordon, 1988, 1982, 1984). Además cabe tener en cuenta en cada caso la variación intra-específica (sexo, edad, estacionalidad y región geográfica), lo que llevó a plantearse la necesidad de tener una gran cantidad de muestras controladas (Gordon, 1984; Teaford and Robinson, 1989).

Posteriormente, a finales de la década de 1980, Walker y Teaford mostraron que se podían inferir diferentes patrones dietéticos entre primates estableciendo una metodología de conteo y medición de estrías y *pits* de facetas homólogas en la superficie oclusal del diente con aumentos consistentes (Walker and Teaford, 1989). A partir de aquí, esta metodología se expande a diferentes especies, incluyendo peces (Purnell et al., 2006), mamíferos de diferentes órdenes (Murciélagos: (Strait, 1993); cerdos y ovejas (Mainland, 1998), antílopes y cebras (Hayek et al., 1991; Solounias and Hayek, 1993),

grandes mamíferos africanos (Valkenburgh et al., 1990), primates (Rose and Ungar, 1998) o humanos (Pérez-Pérez et al., 1994) entre otros muchos. Esta técnica fue predominante durante las siguientes dos décadas, usando altos aumentos (100x, 500x y 1500x). Durante la década de los 90, se produjo un salto metodológico con el desarrollo de un software denominado *Microware*, que permitía la cuantificación y clasificación automática de las estrías y *pits* (Ungar, 1995).

Sin embargo, a pesar de que esta metodología vinculada al microscopio electrónico de barrido permitía la cuantificación, y con ello la comparación estadística, el proceso de obtención de datos tenía varias limitaciones. La preparación de especímenes y la obtención de imágenes a través del microscopio electrónico de barrido tenía un coste elevado tanto económico como de tiempo, además de introducir un margen de error en las medidas dependiendo de la distancia de trabajo, la diferencia de contraste y el ángulo en que se posicionaba el espécimen (Rose and Ungar, 1998; Solounias and Semprebon, 2002; Teaford, 2007).

Como reacción ante este problema, Solounias y Semprebon (2002) propusieron volver al uso del microscopio óptico empleando bajos aumentos (35X) y así poder determinar el microdesgaste dental en la totalidad de la superficie dental. Esta técnica ofrecía grandes beneficios como la caracterización eficiente de estrías y *pits* en un área mayor, junto con una reducción en los costes de mantenimiento y uso del microscopio (Semprebon et al., 2004), ganando popularidad durante los años posteriores (Green et al., 2005; Kaiser, 2003; Rivals and Semprebon, 2006). Una variante de esta técnica fue desarrollada por Merceron y colegas, combinando la imagen obtenida al microscopio óptico con la medición de las características del microdesgaste a través de una pantalla de ordenador (Merceron et al., 2005, 2004; Rivals and Semprebon, 2006).

Sin embargo, ambas técnicas seguían sin resolver una serie de problemas como son la limitada profundidad de campo (en inglés, *depth of field*), que llevó en años anteriores a otros autores a cambiar al microscopio electrónico de barrido. Uno de los retos más importantes para ambas metodologías es el error de medición y la falta de replicabilidad de sus estudios y, por ende, la falta de precisión al caracterizar variabilidad dietética (Fraser et al., 2009; Grine et al., 2002; Mihlbachler et al., 2012). Por otra parte, Galbany y coautores observaron que los investigadores tienden a mantener una alta

homogeneidad intrapoblacional que se traduce en tasas bajas de error intraobservador, mientras que las tasas de error interobservador suelen ser más elevadas debido a una interpretación diferente de las características del microdesgaste. En consecuencia, se propuso una estandarización en la definición de las variables (Galbany et al., 2005). Otra de las limitaciones de ambos microscopios, es la inevitable pérdida de información debido a la caracterización de las superficies tridimensionales en 2D para realizar el conteo de rasgos (DeSantis et al., 2013; Grine et al., 2002; Ungar et al., 2008b).

Todo esto llevó a una serie de investigadores a desarrollar una nueva técnica basada en la cuantificación automática de superficies dentales mediante el Análisis 3D de la Microtextura Dental (DMTA) con el microscopio láser confocal (Scott et al., 2006; Ungar et al., 2008a, 2003). Esta técnica, originariamente diseñada para analizar superficies industriales, consiste en la obtención de nubes de puntos tridimensionales de la textura de la superficie del esmalte dental que son analizados a través del análisis fractal sensible a la escala (SSFA, por sus siglas en inglés *Scale-Sensitive Fractal Analysis*). El SSFA está basado en el principio de geometría fractal, en el cual una superficie aparentemente lisa a escalas mayores puede ser significativamente más rugosa. Esto consiste en la reconstrucción de la superficie mediante triángulos virtuales que cuanto más pequeños reproducen la superficie con una mayor precisión [Figura 2.3] (Scott et al., 2006).

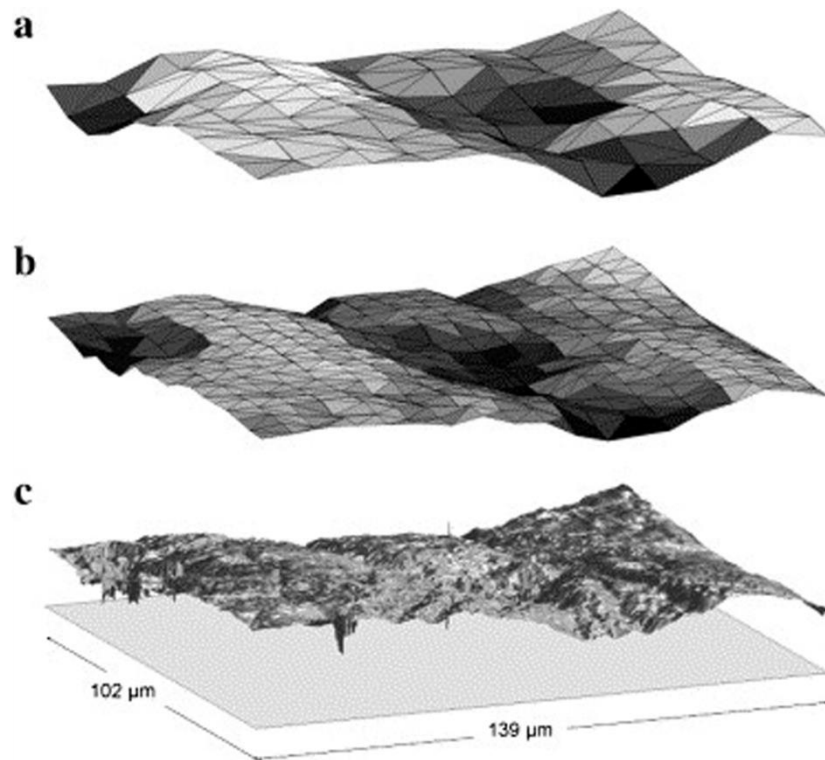


Figura 2.3 Descripción topográfica del análisis fractal sensible a escala (SSFA). En a, b, c se visualiza la comparación de la rugosidad de una superficie mediante las reconstrucciones con mosaicos virtuales utilizando triángulos a diferentes escalas. Créditos: (Scott et al., 2006).

Las nubes de puntos 3D obtenidas se procesan mediante los softwares Toothfrax® y Sfrax® obteniendo una serie de parámetros que caracterizan las texturas del microdesgaste. Los parámetros obtenidos (Complejidad, Anisotropía, Escala de máxima complejidad, Volumen de relleno de textura y Heterogeneidad) se centran en las texturas de la superficie dental y no en el recuento de rasgos, y se obtienen de forma automática, eliminando así el error inter-observador (Scott et al., 2006, 2005; Ungar et al., 2008a, 2003). Desde entonces hasta la actualidad, esta técnica ha sido ampliamente utilizada debido a que ofrece ventajas como una representación de los datos 3D, su automatización para la obtención de datos y sobre todo, el menor error interobservador (Ungar, 2015). No obstante, existen ciertas limitaciones como su elevado coste económico, tanto la adquisición del equipo de microscopía láser confocal como el de los softwares de procesamiento asociados.

Basándose en esta metodología con el microscopio láser confocal, otros grupos de investigación comenzaron a usar los parámetros estandarizados 2D ISO 4287 (Kaiser and Brinkmann, 2006) y posteriormente 3D ISO 25178 (Calandra et al., 2012; Purnell et al.,

2012; Schulz et al., 2010) para medir las texturas de las superficies dentales a partir de 46 parámetros estandarizados según dos normas internacionales (ISO 251778, ISO 12781). Esta nueva alternativa denominada DASTA (por sus siglas en inglés, *Dental Areal Surface Texture Analysis*) se basa en la cuantificación de todos los aspectos de la geometría de las texturas. La enorme variabilidad de combinación de los parámetros ISO requiere de un gran dominio sobre tribología para poder inferir las propiedades de los alimentos, mientras que los parámetros obtenidos del SSFA han sido específicamente concebidos para abordar estas cuestiones (Calandra et al., 2012; Schulz et al., 2020).

Actualmente, todas las técnicas anteriormente mencionadas siguen vigentes y son elegidas dependiendo de la investigación y del presupuesto asociado. Por ejemplo, los análisis de microdesgaste dental en humanos en la superficie oclusal se han centrado principalmente en la cuantificación automática utilizando microscopía láser confocal mediante el Análisis 3D de la Microtextura Dental (DMTA) (por ejemplo, El-Zaatari (2010); Mahoney et al., (2016); Schmidt et al., (2019, 2015); Ungar et al., (2003)), mientras que la mayoría de los análisis de microdesgaste bucal en humanos siguen basándose en la cuantificación manual a partir de imágenes obtenidas con microscopía electrónica de barrido y óptica (SEM y OM) (por ejemplo, Hernando et al., (2021, 2020a); Lalueza-Fox et al., (1996); Pérez-Pérez et al., (1994); Romero et al., (2013, 2012)). En el marco de esta Tesis Doctoral uno de los objetivos principales ha sido analizar ambas superficies a través de diferentes tipos de microscopía con el fin de evaluar las ventajas e inconvenientes de cada una.

2.3.2. Formación del microdesgaste dental y debates actuales sobre su influencia en la caracterización dietética

La larga trayectoria de la línea de investigación del microdesgaste dental ha supuesto que la metodología se encuentre en constante desarrollo, y, por ello, no está exenta de debates como la formación del microdesgaste dental y las implicaciones que esto tiene en las reconstrucciones paleodietéticas.

Las cuestiones relacionadas con la mecánica de fractura del esmalte se remontan a los inicios de la metodología del microdesgaste (Baker et al., 1959; Puech and Prone, 1979).

Actualmente, la formación del microdesgaste dental se ha basado en las propiedades materiales del alimento, es decir, en la dicotomía entre alimentos duros (*hard*: aquellos que bajo fuerzas de compresión resisten la deformación plástica) versus resistentes o correosos (*tough*: aquellos que bajo fuerzas de compresión resisten la fracturación). Los alimentos duros (por ejemplo, nueces, semillas) son comprimidos entre los dientes con movimientos verticales provocando que las partículas duras impacten verticalmente contra la superficie oclusal del esmalte creando agujeros (*pits*). Del mismo modo, los alimentos fibrosos o correosos (*tough*), como podrían ser las hojas o la carne, se caracterizan por ser más blandos, por ello, quedan atrapados en la superficie de los dientes implicando una serie de desplazamientos transversales de la mandíbula para poder triturarlos. Esto provoca el deslizamiento de las partículas por la superficie del esmalte creando estrías paralelas entre sí [Figura 2.4] (Ungar and Sponheimer, 2011). Esta hipótesis ha sido corroborada mediante experimentos mecánicos donde se simulaba la masticación mediante un simulador de masticación denominado: BITE Master Chewing Machine (Hua et al., 2015).

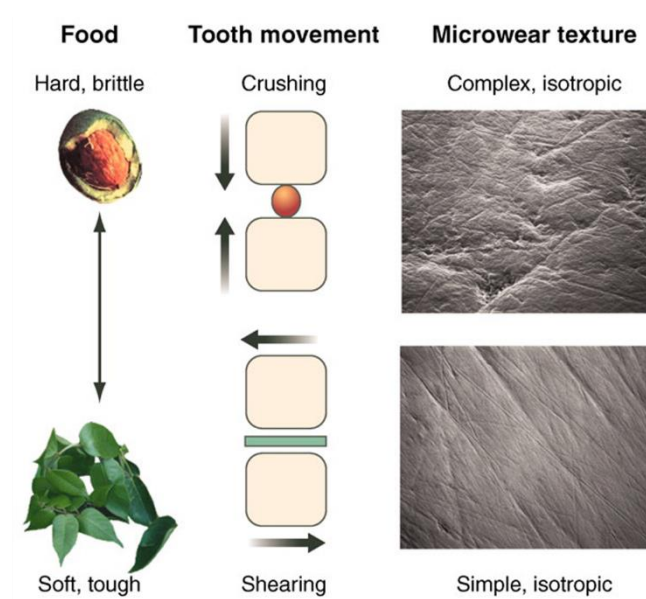


Figura 2.4 Modelo de formación del microdesgaste dental según (Ungar and Sponheimer, 2011). Los alimentos duros son aplastados entre los dientes opuestos creando pits que causan superficies complejas e isotrópicas. Mientras que los alimentos blandos se deslizan entre los dientes causando estrías paralelas que crean superficies más simples y anisotrópicas.

Sin embargo, estudios recientes han cuestionado este paradigma proponiendo un nuevo enfoque basado en que el microdesgaste dental es debido a las propiedades mecánicas

del alimento. A través de estudios nanoexperimentales, se ha observado que el contacto de una partícula dura con el esmalte puede producir dos tipos de acciones, abrasión (*Abrasion*) o frotamiento (*Rubbing*). La distinción entre ambas depende de las propiedades mecánicas de las partículas y el ángulo crítico de ataque. Por ejemplo, si una partícula tiene la suficiente dureza y su ángulo de ataque está por encima del ángulo crítico (β), es decir, el dictado por la dureza de la superficie, entonces se eliminará el material del esmalte, dejando una estría o surco en forma de agujero irregular (*pit*), causando abrasión. Este es el caso del contacto con abrasivos ambientales, como podría ser el polvo de cuarzo o la arena. Por otro lado, si la partícula es de dureza inferior y el ángulo de ataque está por debajo del valor crítico, entonces el material del esmalte será arrastrado y plásticamente reorganizado (frotamiento o *rubbing*), dejando un surco con una sección transversal, pero sin perder esmalte (Lucas et al., 2013; van Casteren et al., 2020) [Figura 2.5]. Este es el caso de los fitolitos, biomineralizaciones de sílice hidratado ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) que se forman en los tejidos de las plantas a lo largo de su vida (Piperno, 2006).

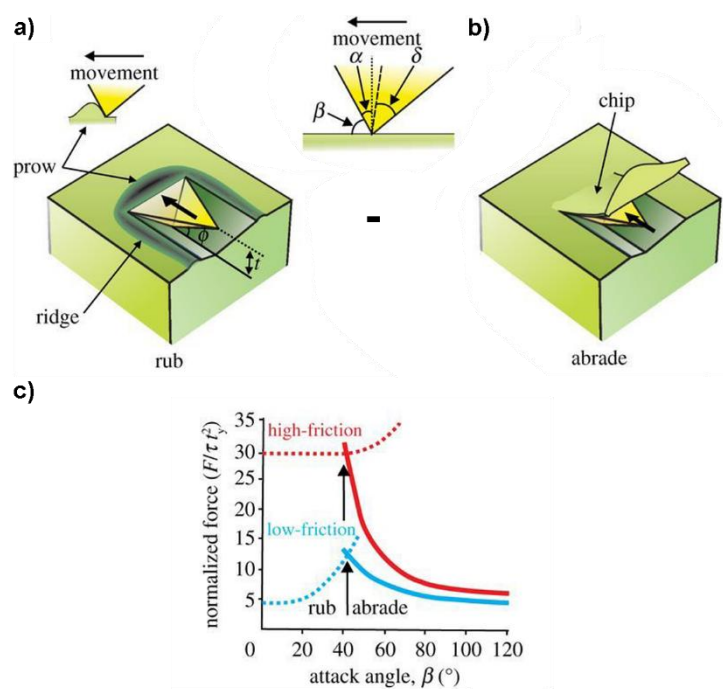


Figura 2.5 Causas de la formación del microdesgaste dental según el enfoque de las propiedades mecánicas del alimento. Una partícula rígida produce abrasión o frotamiento dependiendo del ángulo de ataque (β). a) Frotamiento la superficie que no produce pérdida de esmalte, b) Abrasión elimina el esmalte y c) Cuando la partícula se desliza por la faceta del esmalte, la fuerza de deslizamiento (F) causa abrasión cuando $\beta > 40^\circ$ y causa frotamiento cuando $\beta < 40^\circ$. Créditos: (Lucas et al., 2013).

El desgaste dental está atribuido al contacto con materiales más duros que el esmalte, el cual se sitúa entre 4,5 y 5 en la escala de dureza de Mohs (Sperber, 2020). Hay consenso en afirmar que uno de los principales impulsores del desgaste dental tiene un origen extrínseco al alimento, como son las partículas abrasivas (por ejemplo: polvo, arena, cuarzo, sílice, entre otras) (Ackermans et al., 2020; Daegling et al., 2016; El-Zaatari, 2010; Jardine et al., 2012; Lucas et al., 2013; Schulz-Kornas et al., 2019; Wood, 2013). Adicionalmente, algunos autores también han destacado el papel de los abrasivos endógenos de los vegetales (fitolitos) como responsables del microdesgaste dental (Daegling et al., 2016; Gügel et al., 2001; Rodríguez-Rojas et al., 2020; Teaford, 2007; Ungar, 2011; Xia et al., 2015).

Sin embargo, este rol de los fitolitos en la formación de los rasgos propios del microdesgaste ha sido cuestionado. Si bien es admitido que su consumo provoca una remodelación del esmalte, también se argumenta que estas partículas son demasiado blandas para que tengan un potencial abrasivo sobre el esmalte dental y, por ello, no provocan la pérdida del tejido del esmalte (Lucas et al., 2013; Sanson et al., 2007; van Casteren et al., 2020). Críticos de esta opinión han demostrado, mediante estudios experimentales a microescala, que para generar desgaste dental no es necesario que los materiales sean tan duros como el esmalte, siempre que sean lo suficientemente rígidos como para debilitar los enlaces proteicos que unen los cristales de hidroxiapatita del esmalte (Daegling et al., 2016; Hua et al., 2015; Xia et al., 2015).

Asimismo, estos estudios han sido rebatidos con estudios experimentales a nanoescala, argumentando que los agentes metálicos (bolas de aluminio) usados en la experimentación de Xia (2015), no son apropiados para comprender la formación del microdesgaste desde una perspectiva mecánica (van Casteren et al., 2018). La crítica de esta investigación se sustenta en el principio de que el microdesgaste dental está afectado por la mecánica de los alimentos y no por sus propiedades materiales. De tal manera que las bolas de aluminio utilizadas como “agentes blandos” para la replicación del desgaste dental en realidad estaban recubiertas de un óxido más duro que el esmalte, siendo este el principal creador del microdesgaste dental por lo que el estudio carecía de fiabilidad (van Casteren et al., 2018).

El debate continúa con los estudios llevados a cabo por Winkler (2019), en los que demuestra que no solo los propios fitolitos son agentes responsables del microdesgaste, sino que también otras propiedades como el contenido de agua de la planta puede afectar significativamente a la abrasividad de la misma (Winkler et al., 2019). En contra de este supuesto, van Casteren y coautores (2020) afirman que los tejidos vegetales duros apenas influyen en el microdesgaste dental debido a las propiedades mecánicas de los mismos (van Casteren et al., 2020). Sin embargo, hay autores que señalan que tanto la micro- como la nano- experimentación no tienen en cuenta las implicaciones de la abrasividad a largo plazo para la formación del microdesgaste a largo plazo. Es decir, el consumo continuado de fitolitos tiene un efecto abrasivo acumulativo en el esmalte (Rodríguez-Rojas et al., 2020).

A pesar de que todos estos estudios experimentales han proporcionado una mayor comprensión de la formación del microdesgaste dental, todavía existen incertidumbres en torno a los mecanismos que subyacen a su formación, ya que es un proceso complejo con muchos factores a considerar (Teaford et al., 2021, 2020). Recientemente, Krueger (2021) han destacado el limitado conocimiento que disponemos sobre el papel de la carne en la formación del microdesgaste dental que no provenga de estudios bioarqueológicos o paleoantropológicos (El-Zaatari, 2010; Fiorenza et al., 2015a; Krueger, 2016a; Organ et al., 2005; Pérez-Pérez et al., 2003; Schmidt et al., 2019, 2020), abordando esta cuestión mediante una serie de estudios experimentales. Parten de la premisa de que en estudios anteriores se atribuye el desgaste dental a abrasivos adheridos a la carne por las estrategias de preparación y conservación del alimento (El-Zaatari, 2010; Organ et al., 2005; Romero et al., 2013; Schmidt et al., 2020). Previamente, un experimento realizado por Hua et al., (2015) mostró la ausencia de microdesgaste con el consumo de carne, atribuyéndolo probablemente a la flexibilidad y porosidad de la misma que junto con los aceites grasos propios de la carne pueden mitigar el desgaste. El trabajo de Krueger et al., (2021) ha propuesto un nuevo modelo de experimentación con un simulador de masticación (ART 5), que recrea el ciclo masticatorio bajo unas condiciones orales controladas. Los autores señalan que la carne con partículas de cuarzo aceleraba la producción de microdesgaste dental, generando un *turnover* más rápido. Mientras que los experimentos con carne y sin partículas

extrínsecas podían causar un cierto grado de desgaste erosivo en el esmalte, aunque proponen más experimentos para poder validar las causas del mismo (Krueger et al., 2021).

Dejando a un lado el rol de las partículas abrasivas intrínsecas de los alimentos, como hemos comentado anteriormente, existen otras partículas extrínsecas abrasivas que al adherirse al alimento provocan microdesgaste dental, como por ejemplo las partículas de cuarzo, arena, ceniza o polvo, entre otras. Por ello, la presencia de partículas extrínsecas en el alimento es uno de los principales agentes formadores del microdesgaste dental, tanto en la superficie bucal como en la oclusal (Ackermans et al., 2020; Daegling et al., 2016; El-Zaatari, 2010; Jardine et al., 2012; Romero et al., 2013; Schulz-Kornas et al., 2019; Teaford et al., 2021; Teaford and Lytle, 1996; Wood, 2013). Los alimentos pueden contener materiales abrasivos en forma de contaminantes procedentes de las técnicas de procesamiento (por ejemplo, granos de cuarzo introducidos a través de la molienda). En humanos, las partículas extrínsecas tienden a variar dependiendo de las herramientas utilizadas para procesar previamente el alimento. Un ejemplo característico son las piedras de molino realizadas con rocas de origen sedimentario ya que se disgregan con más facilidad durante su uso dejando una mayor contaminación que si fueran de otro tipo de material, madera, por ejemplo (Romero et al., 2012; Teaford et al., 2001; Teaford and Lytle, 1996). La arenilla también puede encontrarse en alimentos que no han sido procesados previamente, o debido a las condiciones del medio ambiente. De este modo, en un hábitat costero el alimento es altamente susceptible de contaminarse por arena arrastrada por el viento (El-Zaatari, 2008; El-Zaatari, 2010; Schmidt et al., 2020). En consecuencia, a la hora de caracterizar el microdesgaste humano es importante tener en cuenta las herramientas de procesamiento de los alimentos, el tipo de cocinado, así como el entorno en el que habitaban, ya que el estudio del microdesgaste dental no sólo refleja los alimentos consumidos, sino también la forma de procesarlos (Schmidt et al., 2019).

En este sentido, los trabajos experimentales *in vivo* sobre el microdesgaste dental han permitido realizar numerosos avances en la comprensión de los complejos procesos que intervienen en la formación del microdesgaste dental, tanto en mamíferos no primates (Ackermans et al., 2020; Aliaga-Martínez et al., 2017; Calandra and Merceron, 2016;

Merceron et al., 2016; Schulz et al., 2013), en primates no humanos (Aliaga-Martínez et al., 2017; King et al., 1999; Percher et al., 2018; Schulz-Kornas et al., 2019; Teaford et al., 2020, 2017), como en humanos (Correia et al., 2020; Romero et al., 2013, 2012; Ungar et al., 2019) y en poblaciones bioarqueológicas (El-Zaatari, 2010).

Por otro lado, las reconstrucciones paleodietéticas de las poblaciones prehistóricas a través de estudios de microdesgaste dental, ofrecen una visión de cómo los alimentos consumidos junto con los métodos de preparación afectan en los patrones de microdesgaste dental (Schmidt et al., 2019, 2015). En general, se ha observado que los grupos agricultores procesan sus alimentos más intensamente que grupos de cazadores-recolectores. Sin embargo, la comparación entre grupos que basan su economía mayoritariamente en la agricultura frente a los que basan su economía en las prácticas ganaderas ha mostrado que estos últimos tienden hacia dietas más blandas (Schmidt et al., 2019, 2015).

Un tema de reciente interés en el contexto del estudio del microdesgaste dental es la caracterización de los patrones de microdesgaste en grupos prehistóricos infantiles. Conocer la alimentación infantil ofrece una gran fuente de información, no solo para distinguir los alimentos consumidos sino para establecer las prácticas culturales relacionadas con la alimentación de los diferentes grupos de edad dentro de las poblaciones pretéritas (Bas et al., 2020; Estalrich and Marín-Arroyo, 2021; García-González et al., 2018; Kelly et al., 2020; Mahoney et al., 2016; Scott and Halcrow, 2017). Sin embargo, hay que tener cautela al comparar dientes deciduos y permanentes ya que existen diferencias en las propiedades mecánicas entre ambos tipos de esmalte que podrían tener implicaciones en las comparativas, como un esmalte más fino y más propenso al desgaste en los dientes deciduos (De Menezes Oliveira et al., 2010). Actualmente no hay consenso al respecto, además de que hay escasa información disponible, en cuanto a las diferencias en la formación de microdesgaste en dientes deciduos y permanentes (Kelly et al., 2020; Krueger, 2016b; Mahoney et al., 2016).

Por último, debemos tener en cuenta que la masticación es un proceso complejo, que implica muchos elementos más allá de los dientes, como por ejemplo la coordinación de la lubricación de saliva junto con la acción de los músculos de la masticación y la lengua, para poder llevar a cabo la trituración y posterior deglución del alimento (Krueger et al.,

2021; Teaford et al., 2020). Todos los estudios experimentales y arqueológicos a los que hemos hecho referencia han proporcionado una mayor comprensión acerca de la masticación y la formación del microdesgaste dental. Sin embargo, como en cualquier otra línea de investigación en pleno desarrollo, todavía existen muchas cuestiones sin resolver que requieren de más trabajos metodológicos. En el marco de esta Tesis Doctoral, hemos querido aportar nuestro grano de arena a esta disciplina participando en estos debates.

2.4. Marco de estudio cronocultural del Holoceno en la Península Ibérica

Durante el Holoceno la Península Ibérica ha destacado por grandes cambios culturales, tecnológicos, sociales, migracionales, demográficos y ambientales. Por ello, es un gran escenario para explorar antiguos estilos de vida influidos por el ambiente, la salud y la cultura (López-Costas and Alexander, 2019).

La secuencia cronocultural del Neolítico en la Península Ibérica se estructura en tres etapas: el Neolítico Antiguo (ca. 5600-3900 cal BC), el Neolítico Medio (ca. 4100-3500 cal. BC) y el Neolítico Final-Calcolítico (ca. 3500-2300 cal BC). El Neolítico Antiguo se subdivide en tres fases, la más antigua sería el Neolítico Antiguo Cardial (ca. 5600-4900 cal BC), posteriormente se encontraría el Neolítico Antiguo Epicardial (ca. 5000-4600 cal BC), y, por último, el Neolítico Antiguo Postcardial (ca. 4700-3900 cal BC) (Gibaja and Clop i García, 2012; Oms et al., 2016c) [Figura 2.6].

Fases cronoculturales		cal. BC*	cal. BP
NEOLÍTICO	N. A. Cardial	ca. 5600-4900	ca. 7550-6850
	Neolítico Antiguo N. A. Epicardial.....	ca. 5000-4600	ca. 6950-6550
	N. A. Postcardial.....	ca. 4700-3900	ca. 6650-5850
CALCOLÍTICO	Neolítico Medio.....	ca. 4100-3500	ca. 6050-5450
	Neolítico Final-Calcolítico.....	ca. 3500-2750	ca. 5449-4699
	Calcolítico Campaniforme	ca. 2750-2300	ca. 4699-4249
EDAD DEL BRONCE	Bronce Inicial.....	ca. 2300-1850	ca. 4249-3799
	Bronce Medio.....	ca. 1850-1300	ca. 3799-3249
	Bronce Final	ca. 1300-750	ca. 3249-2699

Figura 2.6 Fases cronoculturales del Holoceno en el Noreste de la Península Ibérica. * Las cronologías en cal. BC han sido definidas según (Oms et al., 2016c; Soriano, 2013).

El proceso de neolitización, con la adopción de la agricultura, fue un punto de inflexión que supuso un cambio a nivel cultural, social y económico (Childe, 1925). Estas primeras sociedades productoras del Neolítico Antiguo en el Noreste peninsular han sido asociadas a asentamientos al aire libre (entre ellos se encuentra La Draga, en Banyoles (Sánchez et al., 1999; Tarrús i Galter, 2008), El Cavet, en Cambrils (Fontanals et al., 2008) o Les Guixeres de Vilobí, en Sant Martí Sarroca (Oms et al., 2014)), así como en abrigos y cuevas (por ejemplo, Cova Gran y Cova Freda, en Collbató, Barcelona (Oms et al., 2019) o Can Sadurní, en Begues (Edo et al., 2019b)). Hasta el momento estos yacimientos se

encuentran fundamentalmente ligados a zonas costeras, prelitorales, o cercanas a cuencas fluviales (Bernabeu Aubán and Orozco Köhler, 2014; García-Martínez de Lagrán, 2018; Oms et al., 2016c). Aunque también se conocen algunos contextos de alta montaña, como Cova dels Trocs, probablemente vinculados al ciclo estacional de trashumancia del ganado (Tejedor-Rodríguez et al., 2021).

La economía de subsistencia de este periodo está basada en una explotación conjunta de recursos cinegéticos y domésticos. Sin embargo, los primeros constituyen una economía secundaria (Saña, 2013), ya que hay evidencias claras de domesticación animal, con un alto consumo de carne, principalmente oveja y cabras (Villalba-Mouco et al., 2018b). Además, se observa un abandono gradual de los recursos marinos, tanto en la vertiente mediterránea como posteriormente en la atlántica (Salazar-García et al., 2018; Waterman, 2012). En lo que se refiere al cultivo de cereal, las especies predominantes son el trigo y cebada (ejemplo, *Triticum aestivum t. compactum*, *Triticum dicoccum*, *Hordeum vulgare*), y las leguminosas (entre ellas, *Vicia fava* y *Pisum sativum*) (Antolín and Buxó, 2012; Zapata et al., 2004).

La cultura material se define en los primeros momentos por la cerámica cardial, caracterizada por la técnica decorativa de la impresión con la concha de *Cerastoderma edule* (Barandiarán et al., 2012). Por ello, esta cerámica está inicialmente asociada a zonas costeras y grandes cuencas fluviales. Posteriormente, al igual que las poblaciones, esta técnica decorativa se irá expandiendo hacia zonas de interior (Oms et al., 2016c).

Respecto a las prácticas funerarias, desafortunadamente, hay muy poca documentación de las primeras comunidades neolíticas en el Noreste de la Península Ibérica (Oms et al., 2016c). No obstante, hay excepciones como los enterramientos asociados a evidencias de cultura cardial y documentados en yacimientos cercanos a la línea de costa como Cova Foradada, en Calafell (Morales et al., 2010; Oms et al., 2016b), Can Sadurní, en Begues (Edo et al., 2019b), o en el yacimiento de Cova Bonica, en Vallirana (Barcelona), donde se observa una deposición de los cuerpos en el suelo de la cueva (Daura et al., 2019; Oms, 2017). Otro ejemplo lo encontramos en la Cueva de Chaves, con una localización más interior (pre-Pirineo de Huesca) (Utrilla et al., 2008; Villalba-Mouco et al., 2018b). Al final del Neolítico Antiguo, en la fase Postcardial, el número de

enterramientos empieza a aumentar, continuando con inhumaciones de un individuo y ocasionalmente dos (Gibaja et al., 2010).

Durante el Neolítico Medio en el Noreste de la Península Ibérica se abandonan las cuevas y abrigos como lugares de asentamiento, en busca de terrenos más productivos para la agricultura y la ganadería, ocupando así casi exclusivamente las zonas llanas y los valles con poblados permanentes (Barandiarán et al., 2012; Bernabeu Aubán and Orozco Köhler, 2014; Oms et al., 2016c). A lo largo de este periodo se consolida el cultivo del cereal, con una intensificación de las actividades agrarias que se observa en un aumento de estructuras de almacenaje junto con el aumento de utillaje lítico asociado a esta práctica (Buxó, 1997; Plasencia, 2016). De esta manera, la economía de subsistencia de este periodo se define por el cultivo de diferentes variedades de cereales y leguminosas (Antolín et al., 2015; Buxó, 1997), junto con la explotación animal, fundamentalmente ovicápridos aunque progresivamente se evidencia un aumento significativo de bóvidos y, ocasionalmente, cerdos (Saña, 1998). Si bien se sigue cazando, esta práctica deja de tener un papel principal en la subsistencia de estos grupos (Gibaja and Clop i García, 2012; Plasencia, 2016). Lo mismo ocurre con el consumo de recursos acuáticos, observándose en algunos casos una dependencia puntual de recursos dulceacuícolas (este es el caso de los yacimientos de El Mirador (Burgos), Pujolet de Moja (Vilafranca del Penedès), El Llord (Lleida), Hort d'en Grimau (Barcelona) y Can Roqueta (Sabadell)) frente a un cese generalizado de la explotación de recursos marinos (Blanco-Lapaz and Vergès, 2016; Fontanals-Coll et al., 2016).

A nivel económico, se observa una amplia red de intercambios de diferentes productos y materias primas en toda la península, como por ejemplo las hachas pulimentadas de jade alpino (Gibaja et al., 2013; Pétrequin et al., 2012; Villalobos García and Odriozola, 2017), y donde también el ganado tendría un papel de mercancía de intercambio (Martín et al., 2009). Hay que destacar la actividad minera de los grupos del Noreste Peninsular para la obtención de minerales como la explotación de calaíta y variscita en las Minas de Gavà, empleada en la fabricación de adornos y usada como objeto de intercambio (Borrell et al., 2015; Gibaja and Clop i García, 2012).

Otro rasgo característico de este periodo es el cambio documentado en las prácticas funerarias, principalmente en el litoral y el prelitoral mediterráneo, así como en los

valles interiores. En este periodo se desarrolla La Cultura de los Sepulcros en Fosa, formando auténticas necrópolis, que denota una tecnología notable y compleja con una estructura económica y social (Garrido-Pena et al., 2012; Gibaja, 2005; Gibaja and Clop i García, 2012; Muñoz, 1965). Este tipo de enterramiento se denomina inhumación en fosa o en cista y consiste en fosas excavadas en la tierra, comúnmente de un solo individuo, que son cubiertas por losas de piedra. En alguna ocasión se han encontrado inhumaciones de más de un individuo, puntualmente de hasta 3 individuos (Gibaja, 2005; Gibaja et al., 2010; Gibaja and Clop i García, 2012). Respecto a la presencia de ajuares funerarios cabe destacar algunos casos de objetos de prestigio fuera de lo común como por ejemplo, la presencia de hachas pulimentadas de origen alpino (Pétrequin et al., 2012; Vaquer et al., 2012; Villalobos García and Odriozola, 2017), junto con evidencias de ornamentos de variscita obtenida en el complejo minero de Gavá (Gibaja and Clop i García, 2012) o herramientas de obsidiana procedente del Monte Arci (Italia), incluido en los ajuares funerarios de Bòbila Madurell y Can Gambús (Gibaja et al., 2014).

El ajuar asociado a estos sepulcros se corresponde con adornos como cuentas de collar, punzones o agujas junto con recipientes cerámicos, hojas de sílex, hachas y azuelas de piedra pulida (Barandiarán et al., 2012; Rojo Guerra, 2014). Además, se han documentado los primeros enterramientos colectivos en cuevas del Mediterráneo junto con el fenómeno del Megalitismo, que se extiende con intensidad por todo el Interior Peninsular, fachada mediterránea y atlántica (Fábregas, 1988; Molist and Clop, 2010; Moreno Gallo et al., 2020; Rojo Guerra, 2014).

Posteriormente, durante la fase transicional Neolítico Final-Calcolítico se van produciendo diferentes transformaciones en la organización económica, social y cultural de estas poblaciones, que implican el colapso del sistema anterior y una drástica transformación en todas las esferas (Cebrià et al., 2013; Gibaja et al., 2010; Martín, 2003).

Desde un punto de vista cronocultural, es importante tener en cuenta el solapamiento que hay en las características del Neolítico Final con la primera mitad del Calcolítico (precampaniforme) en la Península Ibérica, es decir, es una transición difusa debido al continuo uso de los mismos asentamientos desde el Neolítico Final hasta el Calcolítico

precampaniforme (Bernabeu et al., 2003; Rojo-Guerra et al., 2008). A pesar de que hay evidencias del descubrimiento de la metalurgia durante el Calcolítico y que supuso un gran avance social, esto no es el motor de todos los cambios descritos en este periodo y, por lo tanto, la adscripción de determinados yacimientos a una cronología concreta es difícil (Bernabeu Aubán and Orozco Köhler, 2014; Blanco-González et al., 2018; Soriano, 2013). En otras palabras, es posible encontrar materiales de cobre asociado a ajuares funerarios de prestigio (Barandiarán et al., 2012; Blasco and Ríos, 2010), pero no se observa una sustitución masiva del ajuar comúnmente utilizado en el periodo anterior (Pérez-Romero et al., 2017).

Una de las características principales de este periodo es el crecimiento demográfico de estos grupos, lo que conlleva a la dispersión de algunos grupos a cuevas y abrigos en regiones interiores de alta de montañas (Gassiot et al., 2014; Oms et al., 2016c), como es el caso de La Cueva de los Cristales (Huesca) (Villalba-Mouco et al., 2020). Sin embargo, el patrón de asentamiento predominante en el noreste de la Península Ibérica se caracteriza por la continuidad de los poblados que se asientan al aire libre cerca de los valles fluviales con una ausencia de estructuras defensivas (Bernabeu Aubán and Orozco Köhler, 2014; Martín, 2003), a diferencia de los grandes asentamientos contemporáneos fortificados propios de la cultura de Los Millares (Almería), localizada en el sureste de la Península Ibérica (Nocete, 2014; Valera et al., 2014). Se ha propuesto que este aumento demográfico estaría vinculado a movimientos migratorios, en base a la presencia de objetos exógenos en diferentes yacimientos (Schuhmacher and Banerjee, 2012). Sin embargo, estudios genéticos no han observado grandes cambios entre el Neolítico y el Calcolítico lo que apuntaría a un crecimiento demográfico de las poblaciones neolíticas locales (Szécsényi-Nagy et al., 2017).

A causa de la agricultura moderna y de los procesos erosivos, que afectarían a su conservación, hay una escasa documentación de asentamientos al aire libre en comparación a los contextos funerarios (Montes and Domingo, 2014). Estructuralmente los poblados al aire libre se distinguen a partir de estructuras negativas como son los silos de almacenaje y los agujeros de poste. Este patrón de asentamiento es un reflejo del incremento demográfico junto a la intensificación de la agricultura y la adaptación al medio (Bernabeu Aubán and Orozco Köhler, 2014). Durante este periodo hay una

intensificación de las prácticas agrícolas, que se detecta en la proliferación de silos o estructuras de almacenaje y el utillaje lítico asociado a las actividades relacionadas con la siega, molienda y descascarillado del cereal (Buxó, 1997; Plasencia, 2016).

El resultado de esta presión poblacional conlleva una consolidación económica generando una homogeneización del consumo de recursos, es decir, se observa una reducción de las variedades de cereales cultivados respecto a periodos anteriores. Esto significa un cambio en el modelo agrario abandonando el cultivo de varias especies y centrándose en el cultivo del trigo desnudo (*Triticum aestivum/durum*), la cebada desnuda (*Hordeum vulgare*) y leguminosas, lo que se traduce en una mayor especialización (Antolín, 2013; Plasencia, 2016). Desde el punto de vista económico, este periodo se ha caracterizado por el gran interés en los productos secundarios, un proceso denominado “La revolución de los productos secundarios” (Sherratt, 1981), que conlleva un mayor aprovechamiento de la leche y sus derivados, el abono o la lana (Francés-Negro et al., 2021; Garrido-Pena, 2005). Además, se han documentado patologías óseas en fauna doméstica (por ejemplo, los bóvidos) como resultado del uso de estos animales para labores de tiro en los trabajos agrícolas (Bernabeu Aubán and Orozco Köhler, 2014; Galindo-Pellicena et al., 2017; Greenfield, 2010). Este hecho se corrobora con huellas de uso identificadas en el utillaje lítico, que formarían parte de trillos, elementos relacionados con la siega del cereal y que requieren de la fuerza de tiro animal (Gibaja and Clop i García, 2012). Por otro lado, continua la explotación ganadera diversificada en la cría de ovejas, cabras y bóvidos. La intensificación de la ganadería lleva consigo la creación de espacios para la estabulación y el cuidado del ganado, como se ha observado, por ejemplo, en el yacimiento de El Mirador (Burguet-Coca et al., 2020). Sin embargo, la economía de subsistencia estaba basada tanto en la agricultura como en la ganadería, siendo cada grupo quien daba más importancia a un tipo de subsistencia que a otra en función del territorio habitado y las condiciones del clima (Riera et al., 2007).

El aumento demográfico de las poblaciones se evidencia en las prácticas funerarias, caracterizadas ahora por sepulcros colectivos de diferentes tipos, tanto en cuevas o abrigos naturales, construcción de sepulcros megalíticos, hipogeos (cuevas artificiales) y minas (Bernabeu Aubán and Orozco Köhler, 2014; Gibaja and Clop i García, 2012; Soriano, 2016). En general son enterramientos primarios que, por problemas de espacio,

posteriormente han sido reestructurados. Si bien es cierto que durante el Neolítico Final-Calcolítico en el noreste de la Península Ibérica la presencia de ajuares no es muy abundante, hay evidencias de deposición de especies domésticas en contextos funerarios (Pérez-Romero et al., 2017).

Debido a todos los cambios producidos tanto en la cultura material, junto a la economía de subsistencia y de asentamiento durante el Neolítico Final-Calcolítico, las redes de intercambio del Mediterráneo observadas en etapas anteriores desaparecen siendo reemplazadas por otras (Cebrià et al., 2013; Oms et al., 2016c). En este periodo se observa una intensificación de las redes de comercio, con la circulación de diversos materiales como el marfil, el ámbar, los huevos de avestruz y la variscita, entre otros. Esta última se considera un material muy explotado en periodos anteriores en el noreste peninsular y ahora se expande a todo el centro y oriente peninsular (Borrell et al., 2015; Villalobos García and Odriozola, 2016).

Respecto a la cultura material, la cerámica propia de este periodo precampaniforme se denomina de tipo Veraza, proveniente del sureste francés (Oms et al., 2016c) y que se localiza en yacimientos con esta cronología en el noreste peninsular como es el caso de Can Sadurní (Edo et al., 2011). Mientras que el fósil director de la segunda mitad del Calcolítico son los vasos campaniformes, asociados a contextos domésticos y funerarios (Blasco et al., 2007).

Durante la fase más avanzada del Calcolítico, con el fenómeno del vaso campaniforme, se aprecia una cierta diferenciación social en las prácticas funerarias. Esta tendencia se observa en la aparición de enterramientos individuales para las élites sociales con una gran cantidad de ajuar funerario, incluyendo recipientes campaniformes y materiales de prestigio, que evidencian una especialización tecnológica (Garrido-Pena, 2007). Uno de los ejemplos más representativos de esta época es una daga de cuarzo hialino y empuñadura de marfil encontrada en el yacimiento la Valencina de la Concepción (Sevilla) (Sanjuán et al., 2013). Mientras, en los enterramientos colectivos, en algunos casos se observa también cierta jerarquización social con una individualización de los cuerpos (Soriano, 2016). Esta jerarquización social surge mucho más clara en la Iberia Meridional, con la cultura de Los Millares (Almería), donde se asientan los primeros sistemas territoriales jerarquizados con grandes zanjas defensivas, propio de un grupo

que enfatiza su identidad. Además, hay una concentración y aumento de la población, intensificando las redes de comercio con otros grupos (Nocete, 2014).

En este momento cabe hacer una breve mención también al Calcolítico del centro peninsular, ya que en este trabajo se incluyen los individuos de la cueva El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos). Las condiciones climáticas en esta región son relativamente secas, con un aumento de los taxones xéricos (Martínez-Pillado et al., 2014), lo que ha llevado a algunos autores a sugerir que habría una mayor dependencia del ganado (García-González et al., 2018), con una representación de especies parecida a la de los grupos del Mediterráneo. Seguramente, esto no excluye una complementariedad con la actividad agrícola, donde los trigos vestidos y la cebada serían los recursos de estos grupos, ya que son resistentes a las condiciones de los suelos pobres (Zapata et al., 2004). Este condicionante del terreno aclararía la disminución de leguminosas en esta zona, tan características en cambio en el Mediterráneo (Peña-Chocarro et al., 2013; Rojo Guerra, 2014). Estas prácticas agrícolas estarían complementadas a su vez con el consumo de plantas silvestres (Hernando et al., 2022a; Peña-Chocarro et al., 2013). Una de las principales características de este periodo es la gran proliferación de poblados en comparación a periodos anteriores. Un típico patrón de asentamiento en esta región son los recintos de foso y los campos de hoyos que reflejan el aumento poblacional y la consolidación de la actividad agraria (Carmona Ballester et al., 2013; Delibes de Castro, 2014).

Respecto a las prácticas funerarias, son característicos los sepulcros colectivos, con la particularidad que en la Meseta se abandona el megalitismo, sobre todo los sepulcros de corredor, generalizándose el uso de cuevas naturales o inhumaciones individuales o múltiples en hoyo (Carmona Ballester, 2011; Delibes de Castro, 2014; Garrido-Pena, 2000). Además, cabe destacar en algunos casos la presencia de estructuras funerarias tumulares dentro de cuevas (Pérez-Romero et al., 2017). Respecto al ajuar se han documentado preferentemente objetos relacionados con el set campaniforme (formado por cerámicas campaniformes, herramientas de cobre, adornos de oro y otros elementos de valor simbólico como brazales de arquero, botones de hueso y marfil con perforación en V) (Garrido-Pena, 2000). Como comentábamos anteriormente, es en este

periodo donde la cerámica asociada a los enterramientos está generalmente decorada con el estilo campaniforme (Oms et al., 2016a).

Desde el punto de vista de los estudios genéticos, durante el Calcolítico se ha documentado una afluencia de genes africanos en la Península Ibérica. Esto significa que hubo contactos esporádicos con el Norte de África (Olalde et al., 2019), lo cual ha sido corroborado con la presencia de marfil africano en algunos yacimientos de la Península Ibérica (Liesau von Lettow-Vorbeck and Moreno, 2012). Los primeros indicios de ascendencia centroeuropea, que llegaron con una afluencia menor que en el resto de Europa (Valdiosera et al., 2018), son constatados en algunos enterramientos campaniformes de la Meseta Central, y más adelante se extiende ampliamente a toda la Península durante la Edad del Bronce (Olalde et al., 2019).

Posteriormente, durante la Edad del Bronce, en la Península Ibérica se producen una serie de cambios en las sociedades debido a la innovación tecnológica que supuso el descubrimiento de las aleaciones metálicas, junto con los avances producidos por el desarrollo de actividades económicas especializadas. Estos avances se caracterizan, entre otros, por una intensificación de la agricultura para aumentar su productividad, con la incorporación de las prácticas de irrigación del cultivo (Mora-González et al., 2018) y el uso de los excrementos del ganado como abono para la tierra (Knipper et al., 2020), además de la introducción de nuevas especies de cereales como el mijo (López-Costas et al., 2015) y la explotación del ganado para la obtención de productos secundarios. Todo esto se ve reflejado en los estilos de vida de estas poblaciones con el establecimiento de grandes poblados amurallados, en su cultura material, y en la creación de jerarquías sociales observadas en sus nuevas prácticas funerarias y, aunque no universal, en sus diferencias dietéticas.

El inicio de la Edad del Bronce en la zona del Mediterráneo se caracteriza por seguir dos trayectorias diferentes. Por un lado, se encuentran los grupos asentados en las zonas medias y bajas del Ebro y territorio catalán, mientras que otros grupos se asientan en el Levante, definiendo la Cultura de El Argar (Blanco-González et al., 2018). La secuencia cronocultural de la Edad del Bronce para el Noreste de la Península Ibérica se divide en tres fases: Bronce Antiguo (ca. 2250-1550 cal. BC), Bronce Medio (ca. 1550-1300 cal. BC), y Bronce Final (ca. 1300-900 cal BC) (Lull et al., 2014a; Soriano, 2013). Del mismo modo,

en el Noroeste de la Península Ibérica se estructura en tres fases: Bronce Inicial o Antiguo (ca. 2350-1750 cal. BC), Bronce Medio (ca. 1750-1350 cal. BC), y Bronce Final (ca. 1350-750 cal BC) (Bettencourt, 2010; Ruiz-Gálvez Priego, 2014).

El Bronce Inicial en el noreste de la Península Ibérica se caracteriza por una mayor sedentarización de los grupos (Maya and Petit, 2000). Los poblados empiezan a establecerse en lo alto de las colinas con construcciones de mampostería de piedra (Blanco-González et al., 2018). Sin embargo, también se continúa con la ocupación de las cuevas en áreas de montaña, como es el caso de cueva Colomera (Lleida), usada puntualmente como paso de ruta de trashumancia (Oms et al., 2009).

Respecto a la cultura material, la cerámica campaniforme sigue teniendo una gran influencia en estos grupos, aunque más adelante se fue sustituyendo por un tipo de cerámica con una decoración incisa denominada epicampaniforme o de tipo Arbolí (Blanco-González et al., 2018).

Se observa una gran variedad y continuidad de las prácticas funerarias (Garrido-Pena et al., 2012) basándose en la reutilización de los sepulcros colectivos en cuevas, hipogeos, sepulcros megalíticos, o en cistas como el caso de Can Roqueta II (Bouso et al., 2004). El ajuar asociado a estos grupos suele ser escaso, principalmente cerámica epicampaniforme y vasos geminados que indican una relación con el Levante Peninsular (Soriano and Amorós i Gurrera, 2014).

Paralelamente en la costa levantina surge la Cultura Argárica, que conllevó una gran expansión territorial y una mayor jerarquización que en los grupos del resto de la Península Ibérica. Los asentamientos se caracterizaban por un gran desarrollo arquitectónico con asentamientos en lugares prominentes y fortificados (Lull et al., 2011). Una peculiaridad es la ausencia de estas estructuras defensivas en los grupos coetáneos en el noreste peninsular. Sus prácticas funerarias dejaron atrás las estructuras colectivas para depositar los cadáveres bajo el suelo del área habitada (Lull et al., 2014a, 2014b).

En el Bronce Medio los asentamientos muestran un mayor carácter territorial, arquitectónico y defensivo, demostrando que la estructura social cada vez es más compleja (Barandiarán et al., 2012). Mientras que la economía gira en torno a la

ganadería y a las prácticas agrícolas, cada vez más afianzadas. Respecto a las prácticas dietéticas, en algunos casos se observan diferencias dentro de las poblaciones asociadas a status, edad o género (Díaz-Zorita Bonilla et al., 2019; Hernando et al., 2020b; Waterman et al., 2016). Basado en estudios paleobotánicos, la introducción del mijo remonta a el Bronce Medio (Buxó and Piqué, 2008, p. 161; Moreno-Larrazabal et al., 2015), aunque su consumo no se establece hasta periodos posteriores. Por lo tanto, no hay evidencias de consumo de mijo (*Panicum* sp.) (plantas C₄) desde el Neolítico hasta el Bronce Medio en el Norte, Noreste y Suroeste de la Península Ibérica (Díaz-Zorita Bonilla et al., 2019; Fernández-Crespo et al., 2018; López-Costas et al., 2015; Villalba-Mouco et al., 2018a).

Durante esta fase surgen cambios en la identidad social de estos grupos que se ven reflejados en las prácticas funerarias. Por un lado, en los enterramientos colectivos, donde se continúa con un ajuar escaso, debido al reducido espacio en el interior de las cámaras funerarias se muestra una división de la comunidad que se limita a enterramientos en base a los linajes o lazos familiares (Soriano, 2013). Sin embargo, una peculiaridad de este periodo es el aumento de los enterramientos individuales asociados a ajuares con objetos metálicos ornamentales como, por ejemplo, brazaletes, punzones o puñales que reflejan un alto grado de trabajo del material y la existencia de redes de comercio con grupos centroeuropeos (Soriano, 2013), junto con la intensificación durante esta etapa de la metalurgia. Otra característica de estos enterramientos, ya observada en algún caso puntual en el Bronce Inicial (por ejemplo, Can Roqueta en Sabadell (Albizuri, 2011) o El Portalón de Cueva Mayor en Burgos (Pérez-Romero et al., 2017)) pero que se hace más común en esta etapa, es la deposición de animales consumidos en el ajuar (Soriano, 2013).

En este momento cabe hacer una mención al Bronce Medio en el noroeste de la Península Ibérica debido a la inclusión del yacimiento de Valdavara (Lugo) en la presente Tesis Doctoral. Hay que destacar la escasez de yacimientos en esta área, probablemente resultado de una falta de prospecciones y excavaciones, por lo que la documentación es escasa (Fábregas and Vázquez, 2003). Estas comunidades muestran un patrón ocupacional centrado en zonas de valles de baja y media altitud, es decir, escogen territorios estratégicos donde tienen la oportunidad de aumentar la productividad

(Bettencourt et al., 2007; Tereso et al., 2016). A partir del Bronce Medio en el noroeste se observa una economía de subsistencia similar al resto de la península, con una intensificación de la agricultura y las prácticas ganaderas. Debido a que el estaño es un recurso abundante en esta zona, se crearon redes de circulación de materiales para la metalurgia (Bettencourt, 2010), junto con la explotación de otros recursos como la sal (Bettencourt et al., 2021). Respecto a las prácticas funerarias, se observa una reutilización de las estructuras funerarias (ejemplo dólmenes) de periodos anteriores. Las ofrendas funerarias más comunes son objetos cerámicos combinados a veces con metales como oro, plata y cobre (Bettencourt, 2010).

Por último, se encuentra el horizonte del Bronce Final el cual se define por sociedades territoriales complejas con una alta organización social. Los asentamientos se caracterizan por aldeas dispersas autosuficientes reflejado en los fondos de cabaña, silos y fosas (Lull et al., 2014a). Mientras, desde el punto de vista económico, se continúa con la intensificación agrícola y ganadera. El auge de la metalurgia crea redes de intercambio cada vez más consolidadas, que integran diferentes regiones en Iberia estableciendo diferentes concentraciones de riqueza (Lull et al., 2014a). Durante el Bronce Final se extiende la incineración como práctica funeraria en toda Europa y llega al noreste de la Península Ibérica de mano de la Cultura de los Campos de Urnas (López Cachero, 2007; Ruiz-Zapatero, 1983). No obstante, también se ha observado algún caso de cremación en cueva, como en Cova Foradada (Moreno-Ibáñez et al., 2022). Este nuevo ritual funerario coincide con un reemplazamiento poblacional por grupos de ascendencia centroeuropea como evidencian los estudios paleogenéticos (Olalde et al., 2019).

3. OBJETIVOS

Dentro del marco de la presente Tesis Doctoral, se han planteado los siguientes objetivos:

1. Caracterizar las prácticas dietéticas de los diferentes grupos seleccionados de cronología holocena en la Península Ibérica. Mediante el estudio de los patrones de microdesgaste dental se va a profundizar en las diferentes estrategias de subsistencia durante la Prehistoria Reciente.
2. Determinar los patrones de microdesgaste dental en dientes deciduos con el objetivo de identificar factores socioculturales que hayan afectado a su maduración dietética.
3. Evaluar diferentes métodos de microscopía y técnicas de análisis del microdesgaste dental para determinar las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.
4. Desarrollar una metodología alternativa de estudio del microdesgaste dental con Microscopía óptica a altos aumentos.
5. Combinar por primera vez el estudio de las superficies oclusal y bucal en un mismo individuo mediante el análisis 3D de la microtextura dental (DMTA), para correlacionar los mecanismos específicos de formación de microdesgaste dental en cada superficie.

4. MATERIAL

En este apartado se describen los materiales objeto de estudio de la presente Tesis Doctoral que provienen de una serie de yacimientos ubicados en la Península Ibérica [Figura 4.1]. El marco cronológico de estos conjuntos abarca desde el Neolítico Medio hasta el Bronce Medio [Tabla 4.1].

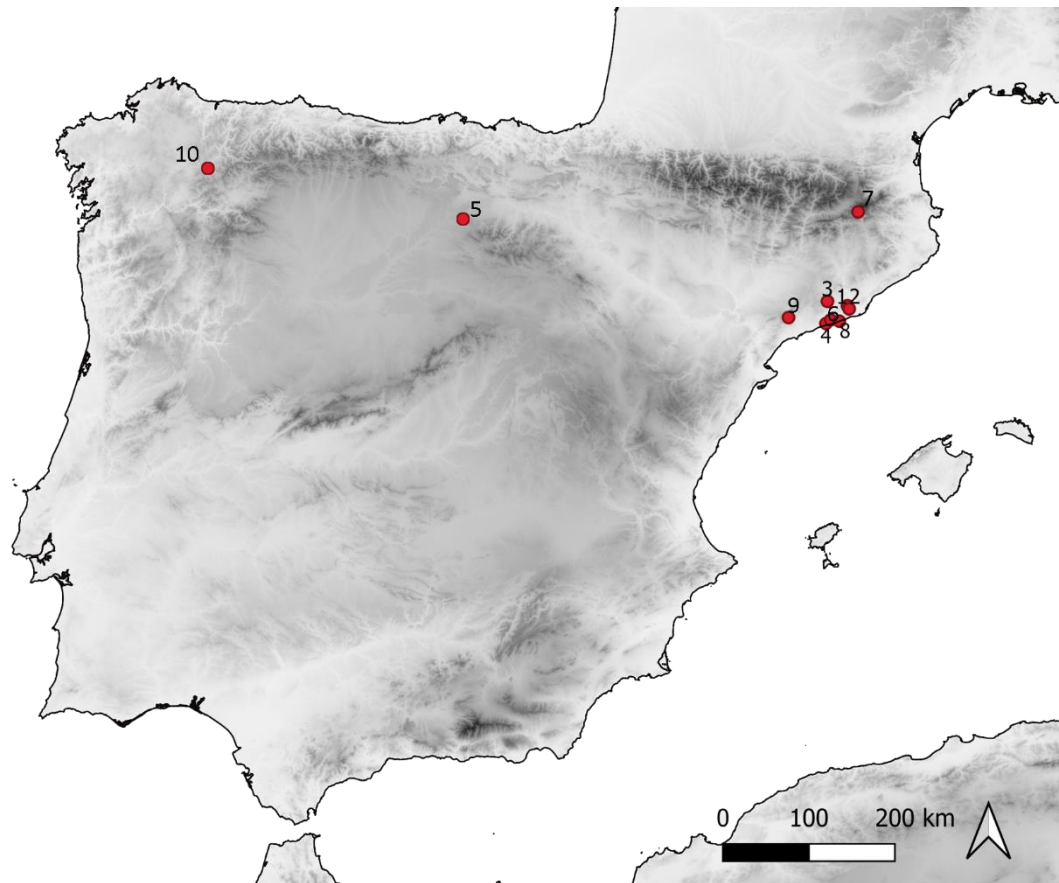


Figura 4.1 Mapa geográfico de la Península Ibérica mostrando la localización de los yacimientos incluidos en este estudio. Yacimientos arqueológicos: 1. Cova de l'Avi; 2. Can Sadurní; 3. Cova de la Guineu; 4. Cova Foradada; 5. Cueva de El Mirador; 6. Cova del Trader; 7. Roc de les Orenetes; 8. Cova del Gegant; 9. Galls Carboners; 10. Cova de Valdavara.

Yacimiento	Nivel	Material	ID	Ref Lab	BP	SD	cal BP	cal BC	Referencias
Cova de l'Avi	CDA-21-2	Diente humano	Sepulcro	OxA-29611	4696	30	5571 - 5320	3629 - 3372	(Daura et al., 2015)
Cova de l'Avi	CDA-20-2	Diente humano	Sepulcro	OxA-29610	4703	32	5574 - 5321	3631 - 3372	(Daura et al., 2015)
Can Sadurní	9	Carbón vegetal	Sepulcro	I-12717	4080	100	4910 - 4310	2960 - 2360	(Edo et al., 2019a; Edo and Alonso, 1982)
Can Sadurní	9	Carbón vegetal	Sepulcro	I-13315	4130	110	4950 - 4350	3000 - 2400	(Edo et al., 2019a; Edo and Alonso, 1982)
Can Sadurní	9	Carbón vegetal	Sepulcro	I-13313	4160	160	5100 - 4260	3150 - 2310	(Edo et al., 2019a; Edo and Alonso, 1982)
Can Sadurní	9	Hueso humano	Sepulcro	I-11533	4225	90	4980 - 4500	3030 - 2550	(Edo and Alonso, 1982)
Can Sadurní	9b	Carbón vegetal	Sepulcro	UBAR-1074	4425	50	5350 - 4790	3400 - 2840	(Edo et al., 2011)
Can Sadurní	9	Diente humano	Sepulcro	CNA-4563.1.1	3900	30	4460 - 4220	2510 - 2270	(Fernández-Domínguez et al., n.d.)
Can Sadurní	9	Diente humano	Sepulcro	CNA-4564.1.1	4090	30	4870 - 4430	2920 - 2480	(Fernández-Domínguez et al., n.d.)
Cova de la Guineu	Ic interior	Hueso humano	Sepulcro	OxA-16881	4110	38	4820 - 4454	2871 - 2505	(Oms et al., 2016a)
Cova de la Guineu	Ic interior	Hueso humano	Sepulcro	OxA-16966	4385	32	5040 - 4865	3091 - 2961	(Oms et al., 2016a)
Cova de la Guineu	Ic exterior	Carbón vegetal	Sepulcro	OxA-23641	4156	28	4826 - 4579	2877 - 2630	(Oms et al., 2016a)
Cova Foradada	Ib	Hueso humano	Sepulcro	Oxa-23529	4375	31	5041 - 4857	3110 - 2870	(Moreno-Ibáñez et al., 2022)
Cova Foradada	Ib	Hueso humano	Sepulcro	Oxa-23539	4016	29	4569 - 4416	2610 - 2450	(Moreno-Ibáñez et al., 2022)
Cova Foradada	Ib	Hueso humano	Sepulcro	CNA-1648.1	4376	32	5041 - 4857	3110 - 2870	(Moreno-Ibáñez et al., 2022)
Cova Foradada	Ib	Diente humano	Inhum. cardial	Beta-578069	6140	30	7157 - 6946	5240 - 4960	(Morales et al., 2010)
Cova Foradada	Ib	Diente humano	Inhum. cardial	Beta-248524	6200	40	7248 - 6981	5290 - 5010	(Morales et al., 2010)
El Mirador	MIR203	Diente humano	Sepulcro	Beta-296225	4000	30	4550 - 4390	2600 - 2440	(Vergès et al., 2016)
El Mirador	MIR203	Diente humano	Sepulcro	Beta-296227	4120	30	4880 - 4480	2930 - 2530	(Vergès et al., 2016)
El Mirador	MIR203	Diente humano	Sepulcro	Beta-416455	4320	30	4960 - 4840	3012 - 2890	(Vergès, 2022)
El Mirador	MIR4	Hueso humano	Inhum. Bronce	Beta-153366	3670	40	4100 - 3880	2140 - 1940	(Cáceres et al., 2007)
El Mirador	MIR4	Hueso humano	Inhum. Bronce	Beta-182041	3900	40	4430 - 4230	2480 - 2280	(Cáceres et al., 2007)
El Mirador	MIR4	Hueso humano	Inhum. Bronce	Beta-182042	3830	40	4400 - 4100	2450 - 2140	(Cáceres et al., 2007)
Cova del Trader	I-int	Diente humano	Adulto	Beta-438761	3540	30	3908 - 3700	1959 - 1751	(Morales et al., n.d.)
Cova del Trader	I-int	Hueso humano	Adulto	R-EVA-2045	4405	20	5044 - 4875	3095 - 2926	(Morales et al., n.d.)
Cova del Trader	I-int	Diente humano	Adulto	Beta-578068	4000	30	4527 - 4412	2578 - 2463	(Morales et al., n.d.)
Cova del Gegant	XXV-4418	Diente humano	Infantil	OxA-29612	3225	27	3552 - 3379	1603 - 1430	(Daura et al., 2021, 2017)
Cova del Gegant	XXV-3367	Diente humano	Adulto	Beta-312860	3270	30	3565 - 3405	1623 - 1460	(Daura et al., 2021, 2017)

Cova del Gegant	Ib2d	Diente humano	Adulto	Beta-312861	3200	30	3462 - 3366	1526 - 1417	(Daura et al., 2017)
Cova del Gegant	XXV-5135	Diente humano	Adulto	POZ-83482	3310	35	3633 - 3452	1683 - 1503	(Daura et al., 2021)
Galls Carboners	II-2-c	Hueso humano	Adulto	Beta-296228	3310	30	3620 - 3460	1670 - 1510	(Vergès et al., 2017)
Galls Carboners	I-1-c	Diente humano	Adulto	Beta-455056	3400	30	3700 - 3575	1750 - 1625	(Vergès et al., 2017)
Valdavara	3	Hueso humano	Infantil	Beta-235729	3250	40	3600 - 3360	1650 - 1450	(Vaquero et al., 2009)
Valdavara	3	Hueso humano	Infantil	Beta-235730	3270	40	3600 - 3400	1650 - 1410	(Vaquero et al., 2009)

Tabla 4.1 Dataciones radiocarbónicas de los conjuntos estudiados en esta trabajo (cal. BP: Dataciones calibrada antes del presente (Before Present); cal. BC: Dataciones calibrada antes de Cristo (Before Christ)).

4.1. Cova de l'Avi

4.1.1 Localización

La Cova de l'Avi, también denominada Cova de la Vall o de la Moneda, se sitúa a 523 m. s.n.m en el macizo del Garraf (Vallirana, Barcelona), al NE de la Península Ibérica [Figura 4.1]. Se trata de una cueva de morfología alargada formada en una grieta de calizas, el principal acceso se localiza a 9m por encima de la base de la vertiente de la roca [Figura 4.2] (Daura et al., 2015).

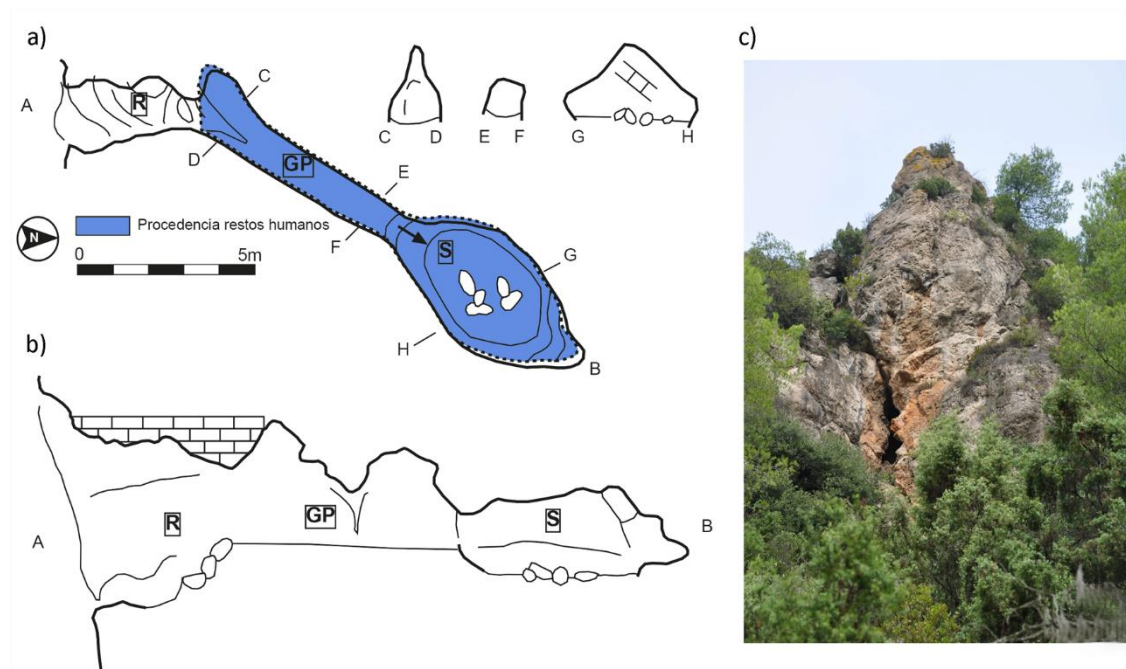


Figura 4.2 Planta y secciones transversales de la Cova de l'Avi (a) con la zona de procedencia de los restos humanos (en azul). b) Sección longitudinal de la cueva. c) Cavidad vista desde el exterior. Imágenes: J. Daura.

4.1.2 Historia de la investigación

La cueva fue descubierta en 1960 por los miembros del Centre Excursionista de Vallirana (CEV) y permaneció inédita hasta principios del siglo XX. Sin embargo, no fue hasta el año 2012, cuando se iniciaron los trabajos arqueológicos de urgencia por parte del Servei d'Arqueologia de la Generalitat de Catalunya, a través de la empresa ATICS. La intervención del año 1960 se centró exclusivamente dentro de la cavidad, donde se recuperaron la mayoría de los restos humanos, mientras que la campaña del año 2012

se focalizó en la terrera producida por la primera campaña de 1960 y acumulada fuera de la cueva (Pedro Pascual, 2012).

4.1.3 Secuencia arqueológica

El yacimiento presenta dos fases de ocupación. La fase más reciente se corresponde con el uso de la cueva como un taller falsario de moneda del reinado de Isabel II (1833-1868) (Clua Mercadal et al., 2013). La segunda fase, se corresponde con la Prehistoria Reciente, y es objeto de estudio en este trabajo. La cronología del yacimiento se determinó en base a dos dataciones de C^{14} AMS llevadas a cabo sobre dos dientes humanos, dando unas fechas atribuidas a un periodo cultural del Neolítico Final precampaniforme de mediados del IV milenio cal BC (Daura et al., 2015) [Tabla 4.1]. Esta cronología se corrobora con el conjunto material encontrado en Cova de l'Avi. La industria lítica está caracterizada por grandes láminas y puntas de flecha, propias del Neolítico Final. Además de los restos ornamentales e industria ósea, como punzones (Daura et al., 2015). Cabe señalar que entre los objetos arqueológicos recuperados destaca la presencia de sílex procedentes del sur de Francia, lo que nos indica importantes redes de intercambio a larga distancia (Daura et al., 2015). Durante este periodo se ha documentado el uso de la cueva como un espacio sepulcral. Un aspecto interesante de esta cueva es que, a diferencia de yacimientos coetáneos donde perduran las sepulturas individuales, como por ejemplo Can Gambús y Bòbila Madurell (Martí Rosell et al., 1997; Roig et al., 2010), en la Cova de l'Avi se documenta un tipo de enterramiento colectivo (Daura et al., 2015).

4.1.4 Conjunto antropológico

Según estudios previos, el conjunto óseo es escaso y con un mal estado de conservación. Los restos dentales aislados son los mejor representados ya que son el 43.5% de la muestra total (Daura et al., 2015).

La acumulación de restos humanos encontrados asciende a 667 restos, pertenecientes a un número mínimo de individuos (NMI) de doce individuos: cuatro infantiles, un juvenil

y siete adultos. La edad se determinó a partir de la erupción de las piezas dentales. El grupo representado es joven, con un solo adulto superando los 40 años de edad. La determinación del sexo fue llevada a cabo a través de caracteres morfológicos del cráneo y la pelvis, estimando cuatro individuos masculinos y tres femeninos. Respecto a las patologías, se observaron tanto de tipo dental (como, por ejemplo, enfermedad periodontal, hipoplasias) como osteoarticulares (entre ellas, artrosis en vértebras lumbares, periostitis), o traumatismos (Daura et al., 2015).

4.1.5 Material analizado

En el marco de este trabajo, se realizó una clasificación anatómica de todos los dientes aislados, junto con una mandíbula, aumentando la muestra respecto a estudios anteriores. El conjunto ascendería a catorce individuos, nueve adultos, un juvenil y cuatro infantiles.

Los 9 individuos adultos fueron identificados a través de los segundos molares inferiores izquierdos (M2LL), siendo seleccionados para el estudio de microdesgaste dental con el microscopio óptico, de los cuales 7 individuos adultos dieron información sobre los patrones de microdesgaste dental. El resto de individuos se descartaron debido a problemas de conservación del esmalte.

4.2. Can Sadurní

4.2.1 Localización

La cueva de Can Sadurní se localiza en la parte NW del Macizo del Garraf [Figura 4.1], a unos 425m sobre el nivel del mar, en el término municipal de Begues (Baix Llobregat, Barcelona), al NE de la Península Ibérica (Edo et al., 2017).

La cueva se abrió debido al hundimiento de una antigua dolina y, en consecuencia, los bloques caídos formaron una rampa hacia el interior de la cavidad que se compone por una gran sala alargada (Edo et al., 2016) [Figura 4.3].

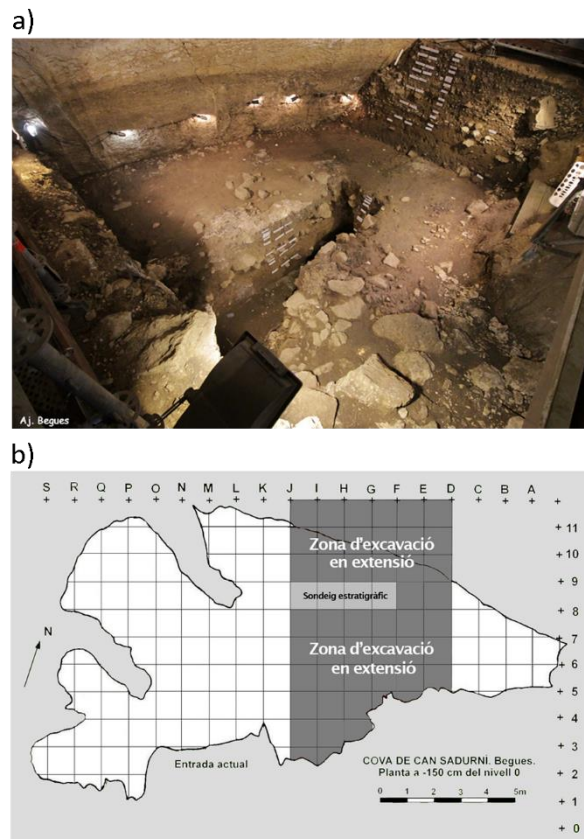


Figura 4.3 Superficie de excavación de la Cova de Can Sadurní (a) junto con la planta de la cueva, señalando la zona de excavación en extensión y el sondeo estratigráfico. Imágenes: Ayuntamiento de Begues (a), Manuel Edo (b).

4.2.2 Historia de la investigación

En el año 1978, el *Grup de Recerca de Gavà*, futuro *Col·lectiu per la investigació de la prehistòria i l'arqueologia de Garraf-Ordal* (CIPAG), inició los trabajos

arqueológicos sistemáticos en la Cova de Can Sadurní (Edo et al., 2016). En un primer momento, desde 1992 hasta 2004, las excavaciones fueron llevadas a cabo por la Universitat de Barcelona, dentro del marco del proyecto “Can Sadurní-Can Tintorer”, con el objetivo de recoger toda la información de las etapas anteriores y determinar la secuencia Neolítica (Edo et al., 2016). El yacimiento se dividió en dos sectores: la cueva, con un área aproximada de 200m², y una terraza exterior de unos 400m² (Edo et al., 2017). En 1996, se inició un sondeo estratigráfico de 4m² en el interior de la cueva que continua en la actualidad, con la finalidad de conocer la secuencia estratigráfica de la cueva (Edo et al., 2019a). Posteriormente, con la reformulación del proyecto “*La prehistòria al sud-est del Llobregat, de la costa al massís de Garraf-Ordal*” continuaron las campañas de excavación durante los años 2005 y 2013 con el objetivo de excavar el interior de la cueva en extensión (Edo et al., 2019b, 2016).

Actualmente, los trabajos arqueológicos siguen en curso, en niveles propios del Neolítico. Las intervenciones más recientes, a partir de 2013, se centran en el interior de la cavidad, con una superficie excavada de alrededor de unos 50m² y con el objetivo de abrir el yacimiento en extensión (Edo et al., 2019b).

4.2.3 Secuencia arqueológica

La cueva de Can Sadurní presenta una secuencia estratigráfica compuesta de 34 capas arqueológicas que corresponden a 4 estratos, donde se documentan ocupaciones desde el Epipaleolítico hasta el periodo Ibero-Romano (Edo et al., 2019a).

El estrato I, incluye desde la capa 4 hasta la capa 10b. Las primeras capas se adscriben a periodos de la Historia Reciente, mientras que la capa 8 se vincula a la Edad del Bronce. La capa 9, estudio de la presente Tesis Doctoral, consiste en un episodio de inhumación colectiva con cronología del Neolítico Final-Calcolítico [Tabla 4.1], donde se han documentado 3 fases de ocupación diferentes dentro de la cueva (Edo et al., 2011). Esta cronología ha sido establecida gracias a dataciones extraídas de carbón vegetal de las estructuras de combustión y sobre hueso humano (Edo et al., 2016). Además, han sido apoyadas por los restos de cultura material encontrada, comenzando por la cerámica de Veraza asociada al Neolítico Final-Calcolítico (Edo et al., 2011). Por otro lado, la capa 10

se adscribe al Neolítico Medio Postcardial. Esta capa ha sido asociada a los silos de almacenamiento encontrados en la terraza exterior. Hay que resaltar, que en este periodo hay una caída de bloques que reestructura los restos humanos y ajuares de varios enterramientos de la capa 11 (Edo et al., 2019b).

El estrato II, compuesto por la capa 11, se corresponde al Neolítico Postcardial y está asociado a la cerámica estilo Molinot (Edo et al., 2011). Dentro de esta capa se documentaron dos episodios. El primero, la subcapa NP1a, es el más antiguo del Neolítico Postcardial, donde el uso de la cueva es con fines de estabulación del ganado. En el segundo, subcapa NP1b, es un episodio sepulcral. Finalmente, se documenta una caída de bloques de la cornisa exterior de la cueva (Edo et al., 2016).

Posteriormente se encuentra el estrato III, correspondiente a las capas 12 a la 18, asociado a dos ocupaciones de sepulcro colectivo (subcapa NP1b). Según los restos cerámicos y las dataciones realizadas este estrato se adscribe al Neolítico Antiguo Cardial (Edo et al., 2016)

Por último, la fase más antigua de ocupación se define por el estrato IV, que recoge de la capa 19 a la 22, y se corresponde a niveles del Epipaleolítico, tanto Geométrico como Microlaminar (Edo et al., 2016, 2011).

4.2.4 Conjunto antropológico

Los restos humanos estudiados en la presente tesis pertenecen a la capa 9, correspondiente al episodio de sepulcro colectivo del Neolítico Final-Calcolítico [Tabla 4.1]. Durante esta fase de inhumación se estima que la cueva fue usada reiteradamente durante 500 años (Edo et al., 2011). La muestra recuperada se encontraba bastante fracturada y en posición secundaria, con la mayoría de los restos dentales aislados (984 dientes) y solo 30 piezas asociadas a fragmentos de mandíbula o maxila.

De un total de 3487 restos óseos, 1014 son piezas dentales. A través del primer premolar superior izquierdo (P3UL) se identificó un NMI de 47 individuos (Roca, 2012) de todas las edades. Respecto a las patologías, se observó una alta frecuencia de caries en todos

los rangos de edad e hipoplasias centradas mayoritariamente en individuos infantiles (Roca, 2012).

4.2.5 Material analizado

Para este trabajo se ha realizado una clasificación anatómica de toda la colección dental de la capa 9. En este análisis se han identificado todos los restos de la dentición posterior, con un total de 281 molares permanentes superiores e inferiores y 35 molares deciduos. De esta muestra, se seleccionaron los 107 molares inferiores para inferir el NMI. Debido a que los restos se encuentran aislados, y como se ha mencionado anteriormente, para evitar problemas de duplicidad de la muestra decidimos centrarnos en el molar más abundante en esta colección, el primer molar inferior derecho (M1LR), quedándonos con un NMI de 34 molares adultos para el análisis de microdesgaste dental. De estos 34 molares, obtuvimos información de microdesgaste dental de 21 individuos adultos, el resto tuvo que ser descartado por una serie de problemas tafonómicos asociados a la conservación de la muestra.

4.3. Cova de la Guineu

4.3.1 Localización

La Cova de la Guineu se sitúa a unos 30km de la línea actual de costa en la parte más alta de la cuenca del Foix (738 m. a. s. l), perteneciente al municipio de Font-Rubí (Alt Penedès, Barcelona), al NE de la Península Ibérica [Figura 4.1].

La boca de cueva posee un área de 5x12m² y esta se localiza en el interior de una depresión circular con un diámetro de unos 20m. La cueva presenta un buzamiento hacia el interior de la misma debido a la propia inclinación de los estratos de dolomías y calizas. La roca que estructura las paredes y techos presenta fisuras que han provocado el desprendimiento de grandes bloques, provocando cambios en la morfología original de la cueva (Bergadà et al., 2005) [Figura 4.4].

4.3.2 Historia de la investigación

El yacimiento fue descubierto por la “*Associació d’Estudis Científics i Culturals de Mediona*” (AECCM) en la década de los 70, después de unas intervenciones clandestinas durante los años 1979 y 1981 (Morales et al., 2013). Posteriormente, en el año 1983 Josep Mestres llevó a cabo la primera intervención arqueológica para valorar el estado de conservación y su secuencia arqueológica (Morales et al., 2013; Oms et al., 2016a). Los trabajos fueron reanudados desde del año 1988 hasta la actualidad, dentro del marco del grupo de “*Seminaris d’Estudis i Recerques Prehistòriques*” (SERP) de la Universitat de Barcelona y bajo la dirección de Artur Cebrià, Josep Mestres, Xavier Oms y Juan Ignacio Morales.

4.3.3 Secuencia arqueológica

La utilización de la cueva ha sido muy diversa con momentos específicos de ocupación, encontrando diferentes fases desde el Epipaleolítico hasta época histórica (Bergadà et al., 2018; Morales et al., 2013; Oms et al., 2016a).

El nivel más antiguo se corresponde con Epipaleolítico microlaminar, perteneciente al nivel III dentro del sector cueva. La datación por C^{14} AMS dio una cronología de 9.850 ± 80 BP, situando este episodio en un momento posterior al último gran ciclo glaciar, donde se han podido identificar una serie de hogares con restos de talla lítica (Morales et al., 2013).

En el nivel II interior (IIa y IIb) se encuentra la fase del Neolítico Antiguo, en el cual la cueva tiene una función de almacenaje. El material asociado más frecuente es la cerámica postcardial, de tipo Molinot (Morales et al., 2013; Oms et al., 2016a).

Después de una desocupación durante el Neolítico Medio y parte del Neolítico Final, la cueva vuelve a ser utilizada durante la fase del Neolítico Final y Calcolítico (nivel Ic interior) como sepulcro colectivo. En esta fase hay una reestructuración de la cueva debido a un episodio de caída de bloques de la cornisa que provoca una reducción del espacio. Además, se documentó una estructura paradolménica, una losa de $2m^2$ usada verticalmente como cierre de la cueva. Esta fase funeraria se caracteriza por la presencia de cerámica campaniforme, restos de talla lítica y fauna quemada interpretada como ajuar funerario debido a las marcas de corte. Los materiales encontrados junto con dos dataciones de C^{14} AMS llevadas a cabo sobre dos huesos humanos pertenecientes a este nivel ($4820-4454$ cal. BP; $5040-4865$ cal. BP) confirmaron una horquilla cronocultural perteneciente a Neolítico Final-Calcolítico (Oms et al., 2016a).

Por último y de manera aislada, tanto dentro de la cueva (parte superior del nivel Ib) como en el sector exterior, se han documentado materiales pertenecientes al Bronce Final reanudando su uso como lugar de almacenamiento (Morales et al., 2013; Oms et al., 2016a).

4.3.4 Conjunto antropológico

A partir de los restos óseos, se han identificado un NMI de 80 individuos, con una representación equilibrada a nivel demográfico, abarcando desde individuos perinatales, infantiles e individuos adultos, de ambos sexos. Debido a las actividades furtivas, llevadas a cabo en los años 70, la mayoría de los restos humanos fueron encontrados en desarticulación por lo que no se pudo estudiar la posición original de los enterramientos, ni la relación espacial entre ellos (Morales et al., 2013). Sin embargo, a nivel óseo se han identificado diversas patologías como, por ejemplo, procesos traumáticos e inflamatorios junto con enfermedades reumatológicas y anemias (Oms et al., 2016a).

4.3.5 Material analizado

El material de estudio de esta tesis se centra en los restos humanos del sepulcro colectivo del Neolítico Final-Calcolítico. En el análisis de identificación de este conjunto se han localizado 264 molares superiores e inferiores de una muestra de alrededor de 1284 restos dentales, no obstante, este número puede aumentar debido a que el estudio sigue en la actualidad. La mayoría de los restos son dientes aislados, aunque hay también algunos restos de mandíbulas con dientes *in situ*.

De la muestra disponible para esta tesis doctoral, se revisaron, clasificaron y seleccionaron, los 264 molares, tanto superiores como inferiores. Debido a que los dientes se encontraban aislados este estudio se centró en el molar más abundante para evitar problemas de duplicidad de la muestra. En este caso, se escogieron los segundos molares inferiores izquierdos (M2LL), identificando un NMI de 77 individuos adultos. Se realizaron moldes y réplicas de alta resolución de estos 77 molares para su posterior análisis con los diferentes microscopios (microscopio óptico y microscopio láser confocal). En el caso específico de los individuos infantiles se clasificaron todos los dientes deciduos estimando su edad por el grado de erupción dental y su desarrollo dentario dentro de las mandíbulas (AlQahtani et al., 2010). Se identificó un NMI de 24 individuos infantiles en base los dm2 inferiores derechos e izquierdos. En total,

concluimos con una muestra de 101 individuos, 77 adultos y 24 infantiles, actualizando el número total del conjunto.

Respecto al microdesgaste dental con el microscopio óptico, de los 77 individuos adultos solo 29 M2LL presentaron superficies con esmalte dental bien preservado, y 27 M2LL para el microscopio láser confocal. En el caso de los individuos infantiles, a través del microscopio electrónico de barrido, 15 dm2 mostraron preservación del microdesgaste dental, el resto de la muestra tuvo que ser descartado por una serie de problemas asociados a la conservación de la muestra.

4.4. Cova Foradada

4.4.1 Localización

Cova Foradada es una cavidad kárstica de unos 14m², que se localiza a 1.8 km de la línea de costa actual y a 110 m.a.s.l, en la comarca del Baix Penedès (Calafell, Tarragona) al NE de la Península Ibérica [Figura 4.1]. La cueva está compuesta por dos cavidades (entrada superior y entrada inferior), separadas por una rampa de travertino (Morales et al., 2019) [Figura 4.5].

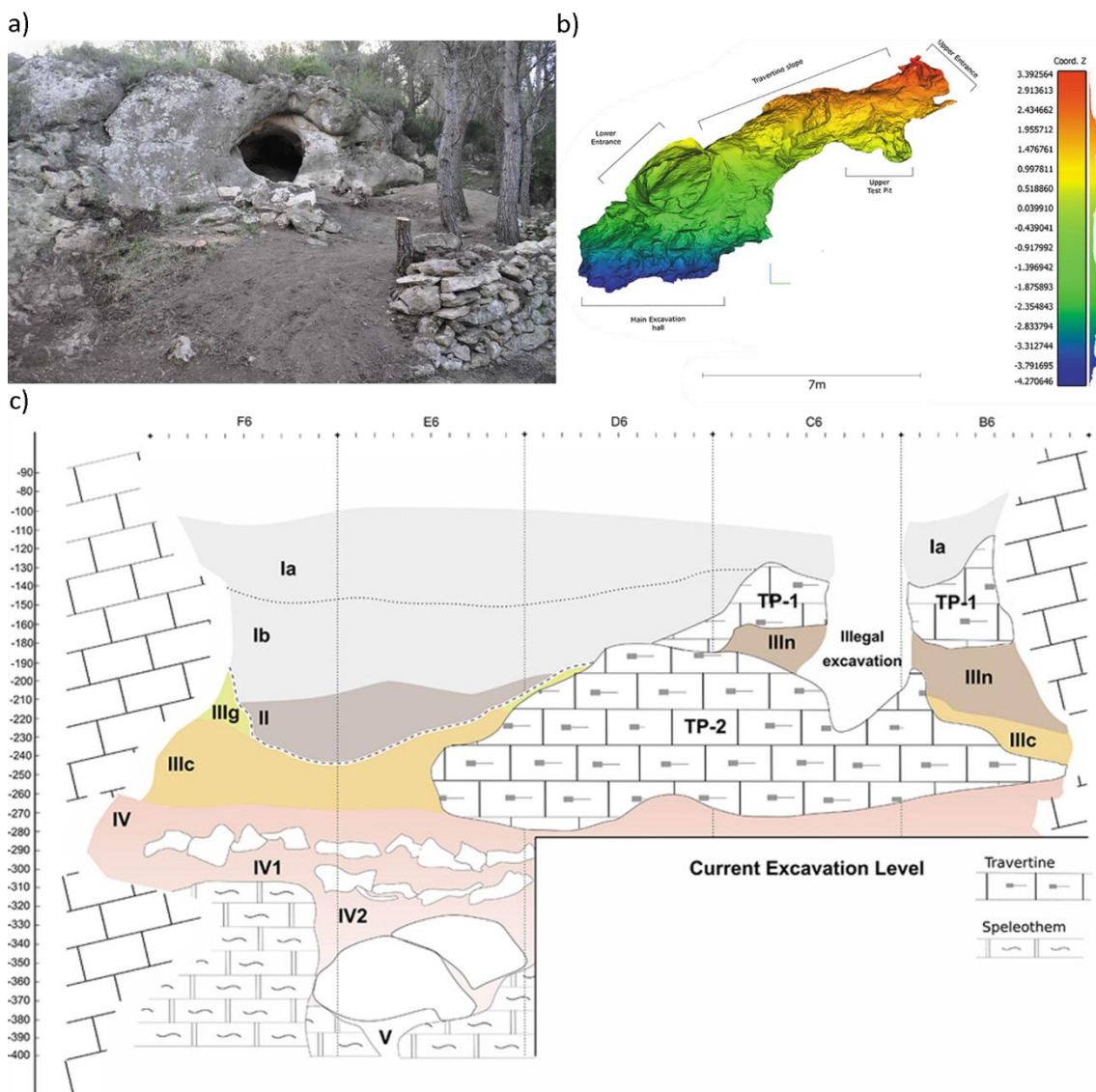


Figura 4.5 a) Vista de la entrada inferior de la Cova Foradada; b) Vista frontal de la morfología interna de la cueva a partir de un modelo de fotogrametría coloreado por la elevación relativa. Se muestran las dos entradas separadas por la rampa de travertino y los dos sectores excavados; c) Perfil estratigráfico del yacimiento (Morales et al., 2019).

4.4.2 Historia de la investigación

El yacimiento fue descubierto en 1997 debido a la aparición de un cráneo humano que se presentó en la prensa local. Al año siguiente, y previo a la inspección de la cueva por parte del arqueólogo municipal Josep Pou, se inició el proyecto arqueológico de excavación coordinado por Artur Cebrià y posteriormente por Juan Ignacio Morales, ambos miembros del grupo “*Seminari d’Estudis i Recerques Prehistòriques*” (SERP). A partir de entonces hasta la actualidad, al menos 11 intervenciones arqueológicas se han desarrollado dentro de diferentes proyectos de investigación de la Universidad de Barcelona. La mayor parte de ellas, se han llevado a cabo en la sala inferior [Figura 4.5], donde la estratigrafía está bien definida (Morales et al., 2019).

Los primeros trabajos hasta el año 2012, se centraron en excavar los niveles superiores del Neolítico Final (Cebrià et al., 2007). Posteriormente durante los años 2013 hasta el 2017, se excavó la secuencia del Pleistoceno Superior (Morales et al., 2019), con el objetivo de determinar la posible relación entre la entrada superior y los restos arqueológicos encontrados debajo de la rampa de travertino.

4.4.3 Secuencia arqueológica

La secuencia arqueológica documentada en la cueva, localizada principalmente en la sala inferior, abarca desde la Prehistoria Reciente hasta el comienzo del Paleolítico Superior. La estratigrafía se compone de 4 unidades [Figura 4.5] que se describen a continuación. La unidad I, subdividida en dos niveles (Ia e Ib), está compuesta de sedimento arenoso con inclusión de cantos rodados y una alta presencia de cenizas. Dentro de este nivel, el subnivel Ia se encuentra muy alterado con presencia de materiales modernos, mientras que el nivel Ib se caracteriza por la misma alteración, pero sin la presencia de materiales modernos (Oms et al., 2016b). Este nivel contiene una acumulación de restos humanos que definieron el uso de la cueva como espacio sepulcral (Cebrià et al., 2011, 2007; Moreno-Ibáñez et al., 2022; Oms et al., 2016b). Las 3 dataciones por C^{14} AMS de restos dentales ofrecieron unas fechas de 5060-4400 años cal BP, que se atribuyen al periodo Neolítico Final-Calcolítico, mientras que otras dos de

las dataciones ofrecieron fechas más antiguas con un rango de 7166-6980 años cal BP, pertenecientes al Neolítico Antiguo Cardial [Tabla 4.1] (Morales et al., 2010; Moreno-Ibáñez et al., 2022; Oms et al., 2016b, 2014).

La unidad II se caracteriza por ser una ocupación corta durante el Paleolítico Superior Final. Por último, las unidades III, IV y V se caracterizan por ser las más completas y mejor preservadas. Durante los trabajos de excavación en los niveles III y IV, la morfología de la cueva cambió aumentando su tamaño progresivamente, haciéndose más notable en el sector SW [Figura 4.5] (Morales et al., 2019).

La unidad III, fue dividida en 3 subniveles, el subnivel III_n se corresponde con una ocupación durante el Gravetiense Inicial (31.600-30.000 años cal BP), caracterizada por una enorme abundancia de conchas ornamentales. A este subnivel le sigue una capa estéril, denominada III_g y posteriormente el subnivel III_c, perteneciente al Auriñaciense Inicial (36.000-33.900; 38.400-34.800 años cal BP). En este subnivel se han documentado la presencia de azagayas e industria lítica diagnóstica de este periodo (Morales et al., 2019, 2016).

Por debajo de estos niveles, se evidenció la transición entre el Paleolítico Medio y el Paleolítico Superior definida por el nivel IV. En este nivel se encontró industria propia de la cultura Chatelperroniense, como son las puntas de Chatelperron (Morales et al., 2019). Además de la presencia de una falange de águila imperial (*Aquila adalberti*) con marcas de corte, relacionada con una posible extracción de la garra con propósito de uso simbólico (Rodríguez-Hidalgo et al., 2019).

4.4.4 Conjunto antropológico

La acumulación de restos humanos de Cova Foradada presente en la unidad I pertenece a dos conjuntos diferentes que abarcan desde el Neolítico Antiguo a la Edad del Bronce. La cueva se utilizó por primera vez en el Neolítico Antiguo Cardial (7166-6980 años cal BP), probablemente con un enterramiento individual y posteriormente, como enterramiento colectivo, durante el Neolítico Final-Calcolítico (5060-4400 años cal

BP). Además, se diferenció una acumulación de 1430 restos quemados, pertenecientes a 5 individuos adscritos a la edad del Bronce Final (Moreno-Ibáñez et al., 2022).

El estudio de los restos óseos ha mostrado una gran representación de huesos pequeños, además los restos humanos se encontraron mezclados y dispersos debido a procesos postdeposicionales. El conjunto de inhumación del Neolítico Final-Calcolítico consta de 1360 restos óseos, todos ellos identificados anatómicamente. A través de la falange medial del segundo dedo derecho y el hueso grande de la mano izquierda se proporcionó un NMI de 18 individuos con 13 individuos adultos y 5 infantiles. Se pudo identificar al menos 2 individuos femeninos y 3 masculinos siguiendo diferentes métodos métricos y no métricos (Moreno-Ibáñez et al., 2022).

4.4.5 Material analizado

El material analizado en el presente estudio se corresponde con los restos no quemados asociados al episodio de enterramiento colectivo perteneciente al Neolítico Final-Calcolítico. De un total de 239 restos dentales aislados, se seleccionaron las piezas de la dentición posterior quedándonos con 141 molares y premolares. El NMI se definió a partir de los terceros premolares inferiores izquierdos, con un total de 9 individuos, 8 adultos y 1 infantil. Con la intención de estandarizar la muestra con otros conjuntos, se decidió analizar primero los 6 M2LL. Puesto que buena muestra de las superficies bucales de estos molares no conservaba el microdesgaste dental y con el fin de conservar el mayor número posible de individuos, se analizaron posteriormente los 9 LLP3, de los cuales solo 5 individuos presentaron información sobre el microdesgaste dental.

4.5. La cueva de El Mirador

4.5.1 Localización

La cueva de El Mirador se sitúa a 1033 m.a.s.l en la vertiente sur de la Sierra de Atapuerca (Burgos), en la Meseta de la Península Ibérica [Figura 4.1].

Esta cueva, que forma parte del sistema kárstico de la Sierra de Atapuerca, exhibe una morfología similar a un abrigo con dos galerías laterales. Su apariencia más de abrigo que de cueva es debido al colapso de grandes bloques del techo [Figura 4.6] (Vergès et al., 2016). La cueva presenta unas dimensiones de alrededor de 23m de ancho por 4 m de alto y una potencia interior de 15m (Vergès et al., 2002).

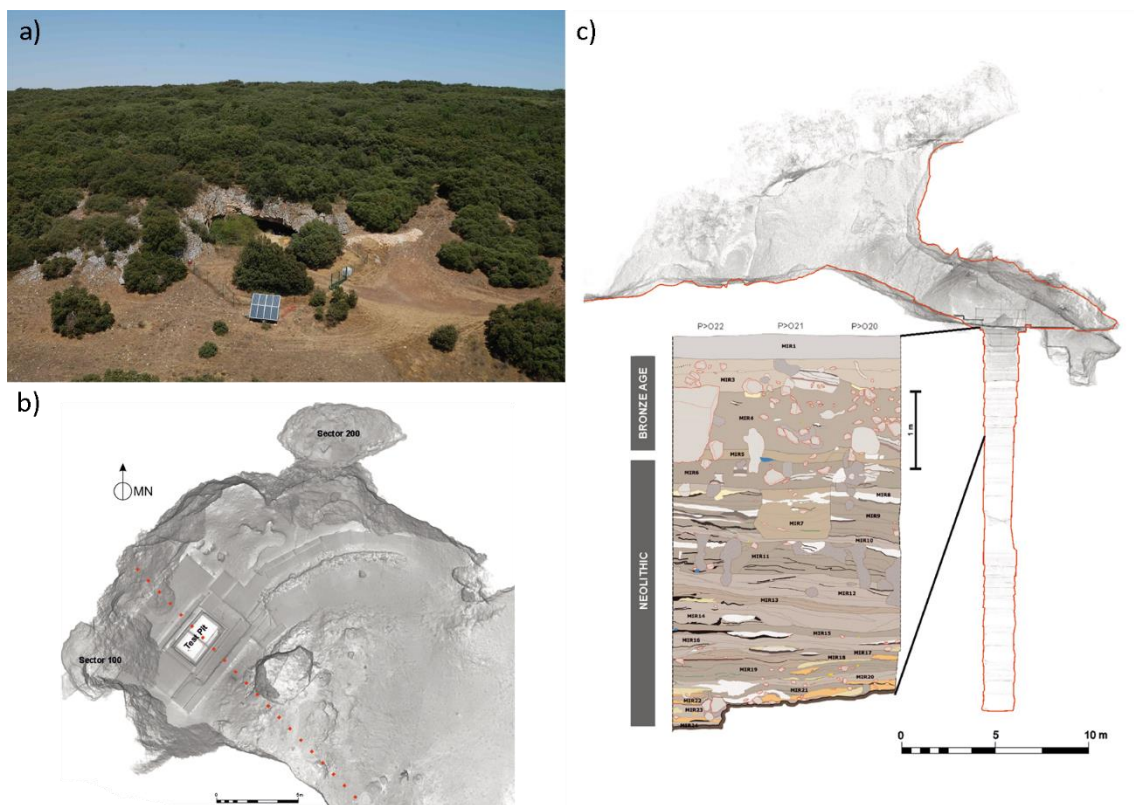


Figura 4.6 a) Localización de la entrada a la cueva de El Mirador; b) Vista superior de la planta de la cueva donde se señalan los tres sondeos y c) estratigrafía del sector MIR con las principales unidades cronoculturales. Imágenes: J.M. Vergès.

4.5.2 Historia de la investigación

En la década de los años cincuenta, el Grupo Espeleológico Edelweiss inició sus expediciones dentro de la Sierra de Atapuerca, pero no fue hasta los años '70 cuando

este mismo grupo abrió un pequeño sondeo en el centro de la cueva, donde encontraron fragmentos de cerámica e industria lítica (Osaba and Ruiz de Erenchun, 1978). Posteriormente, en el año 1999 comenzaron las excavaciones sistemáticas en la cueva de El Mirador por parte del Equipo de Investigación de Atapuerca (EIA), bajo la dirección de Josep Maria Vergès. Desde 1999 hasta 2008, los esfuerzos se centraron en realizar un sondeo en la parte central de la cueva, de unos 6m² y 21m de profundidad, con el objetivo de analizar la secuencia estratigráfica (Vergès et al., 2022, 2016).

En el año 2009 los trabajos se dirigieron hacia dos nuevos sectores de la cueva, el sector 100 ubicado en la galería noroeste de la cueva y el sector 200 correspondiente a la galería noreste. El objetivo era documentar como se comportaban las galerías hacia el interior del sistema kárstico para comparar variaciones entre los dos sectores. Actualmente los trabajos siguen en curso (Vergès et al., 2022, 2016).

4.5.3 Secuencia arqueológica

La secuencia estratigráfica se dividió en 24 niveles definidos en el sondeo localizado en la parte central de la cueva [Figura 4.6]. Los primeros 6m pertenecen a un depósito del Holoceno, compuesto por 2m de ocupaciones del Bronce Medio y 4m de secuencia Neolítica. Entre estas dos fases crono-culturales se encuentra una capa estéril, el nivel MIR5, debido al abandono de la cavidad (Vergès et al., 2016, 2002). Los 15m restantes son parte del depósito del Pleistoceno (Vergès et al., 2022, 2016).

El nivel más antiguo, MIR51, perteneciente al sondeo posee cronologías del Magdaleniense Superior-Final y se caracterizan por una presencia de actividad humana con restos de industria lítica, fauna y hogares (Vergès et al., 2016). Mientras que las ocupaciones pertenecientes al Neolítico, de final del VI milenio hasta mediados del IV milenio cal BCE, abarcan los niveles MIR24 a MIR6 con un total de 4m de secuencia estratigráfica dentro del sondeo. Estas ocupaciones se correlacionan entre las dos galerías laterales, siendo comparables los niveles MIR107 hasta MIR109 del sector 100 con los niveles MIR204 y MIR205 del sector 200 (Vergès et al., 2022, 2016).

En las primeras fases Neolíticas, la cueva fue utilizada para la estabulación del ganado, principalmente de ovejas y cabras (Martín et al., 2009; Vergès et al., 2008). Estas actividades ganaderas dejaron unas capas sedimentarias de estiércol que se apilaron y quemaron para reducir el volumen de materiales acumulados y la exterminación de parásitos. Este tipo de depósito es conocido como *fumier* (Angelucci et al., 2009; Burguet-Coca et al., 2022). Asociados a estos niveles se han recuperado restos líticos, faunísticos y cerámicos (Guardiola and Urbina, 2022; Oms et al., 2022). Los estudios sobre la industria lítica sugieren un uso preferencial asociado al procesamiento de cereales y plantas (Guardiola and Urbina, 2022).

Las primeras evidencias funerarias en la cueva se remontan a unos enterramientos del Neolítico Antiguo, situados en el nivel MIR204, con evidencias de canibalismo (Marginedas et al., 2022). Posteriormente, durante el Calcolítico [Tabla 4.1], en los niveles MIR203, MIR202 y MIR201, se documentó el uso de una pequeña cámara natural situada en el sector 200 como sepulcro colectivo siendo la evidencia más antigua de uso sepulcral de la cueva durante la segunda parte del III milenio BC (Vergès et al., 2022, 2016). A esta inhumación se han asociado restos de ajuar como conchas de *Mytilus*, cuencos de cerámica, astas de ciervo, un colgante de calcita y puntas de flecha [Figura 4.7] (Vergès, 2022).

Los niveles MIR3 y MIR4 del sondeo central se atribuyen a ocupaciones del Bronce Medio, del II milenio cal BC. En esta fase la cueva se utilizó como redil con los mismos patrones que durante el Neolítico, aunque se evidencia una escasez de industria lítica. En el nivel MIR4 se documentó un enterramiento secundario con restos humanos pertenecientes a 6 individuos, incluyendo cráneos copa, con evidencias de canibalismo, con una cronología de principios de la Edad del Bronce (Cáceres et al., 2007; Marginedas et al., 2020). Posteriormente, en el nivel 106 de la galería NW, se identificó un enterramiento aislado de un individuo joven en posición fetal correspondiente a la Edad del Bronce Medio [Figura 4.7] (Vergès, 2022; Vergès et al., 2016).

A partir de una serie de elementos descontextualizados se ha constatado el uso continuado de la cueva en diferentes momentos desde el final de la Edad del Bronce, durante la Edad del Hierro y hasta época histórica (Vergès, 2022).



Figura 4.7 Fotografía de los restos humanos del sepulcro colectivo Calcolítico del sector 200; b) Detalle de una concha de *Mytilus* asociado al sepulcro colectivo como ajuar; c) Enterramiento individual del Bronce Medio situado en el saliente rocoso de la pared de la cueva (sector 100); d) Restos canibalizados del Bronce Inicial. Fotografías: J. M. Vergès.

4.5.4 Conjunto antropológico

El material analizado en la presente tesis doctoral se acota al episodio de inhumación colectiva del periodo Calcolítico [Tabla 4.1] y a los 6 individuos canibalizados de la Edad del Bronce. Los restos se encuentran en un estado óptimo de conservación, aunque están desarticulados debido a las bioturbaciones y la actividad furtiva en la cueva (Vergès et al., 2002). Todo ello, junto con el uso continuado de la cueva como lugar de enterramiento y la estabulación del ganado en épocas posteriores, provoca una remodelación de los restos óseos previamente enterrados (Martín et al., 2009; Vergès et al., 2016).

Durante el año 2013/2014 se llevaron a cabo estudios de ADN de los individuos del sepulcro colectivo en base al NMI de aquel momento que era de 17 individuos. Estos análisis genéticos mostraron 7 individuos femeninos y 10 masculinos (Olalde et al., 2022), lo que descartaría un tratamiento diferencial de los difuntos en función al sexo,

ya que hay una representación igualitaria de ambos sexos (Vergès, 2022). Hasta la fecha, han sido identificados un NMI de 38 individuos dentro del sepulcro colectivo [Figura 4.7], en base a la cavidad glenoidea de la escápula derecha. A través de los métodos tradicionales de identificación de sexo utilizando cráneos, fémures y huesos coxales se determinaron proporciones similares de individuos con caracteres masculinos y femeninos (Iglesias et al., 2022).

El perfil demográfico de este grupo muestra una mortalidad natural esperada para este tipo de poblaciones debido a que el 45% de los individuos se corresponden con población adulta, el 5% serían individuos juveniles y el restante 50% pertenecerían a individuos infantiles (Iglesias et al., 2022). Se han documentado una serie de patologías tanto postcraneales de tipo infeccioso, metabólicas y traumáticas (Iglesias et al., 2022; Yustos et al., 2021), además de patologías orales, siendo la incidencia de caries en este grupo muy baja (Lozano et al., 2022).

Por último, los estudios genómicos sobre este grupo evidencian la presencia de 14 linajes diferentes de ADN mitocondrial durante un periodo de entre 200 y 300 años, donde solo unos pocos individuos poseen un parentesco cercano sugiriendo un enterramiento colectivo formado por diferentes miembros de una comunidad y no exclusivamente por un grupo familiar biológico (Olalde et al., 2022).

Respecto al conjunto de la Bronce Inicial, se recuperaron 106 restos óseos de los cuales 64 eran restos dentales pertenecientes a 6 individuos adultos canibalizados (Cáceres et al., 2007).

4.5.5 Material analizado

Del total de restos recuperados del sepulcro colectivo, 600 corresponden a restos dentales, incluyendo dientes aislados, mandíbulas, maxilares y cráneos con maxilares. En base a los restos dentales y, en concreto, a las mandíbulas que son el elemento más numeroso se ha podido establecer un NMI es de 28 individuos (Lozano et al., 2022).

En el marco de este trabajo, se han realizado moldes y réplicas de alta resolución de la dentición anterior y posterior de todos los restos dentales del sepulcro colectivo. Dado que la muestra se encontraba individualizada, se procedió a analizar todos los molares disponibles de los 25 individuos a través de microscopía óptica, centrándonos en los molares inferiores, pero sin discriminar el lado de la mandíbula. De los 25 individuos, solo 15 de ellos pudieron ofrecer información sobre el microdesgaste dental a través de su análisis con microscopio óptico, el resto tuvo que ser descartado por una serie de problemas asociados a la conservación de la muestra.

En lo que respecta a la microscopía electrónica de barrido (SEM), se obtuvo información de dos individuos infantiles del sepulcro colectivo y de los 6 individuos canibalizados del Bronce Inicial.

4.6. Cova del Trader

4.6.1 Localización

La Cova del Trader, o Balma de Can Trader, se sitúa a los pies de la montaña de St. Pau (134.5m snm), en el macizo del Garraf, dentro del término municipal de Cubelles (Barcelona), al NE de la Península Ibérica [Figura 4.1].

La cueva tiene una morfología de T con dos galerías que convergen en una sala central de unos 5m de largo por 3,5m de ancho. La galería de la derecha tiene una longitud de unos 4m de largo, mientras que el brazo izquierdo es más corto y estrecho. Este tipo de formación es debido a la convergencia de 2 surgencias que generan diferentes planos de erosión horizontal (Morales et al., n.d.).

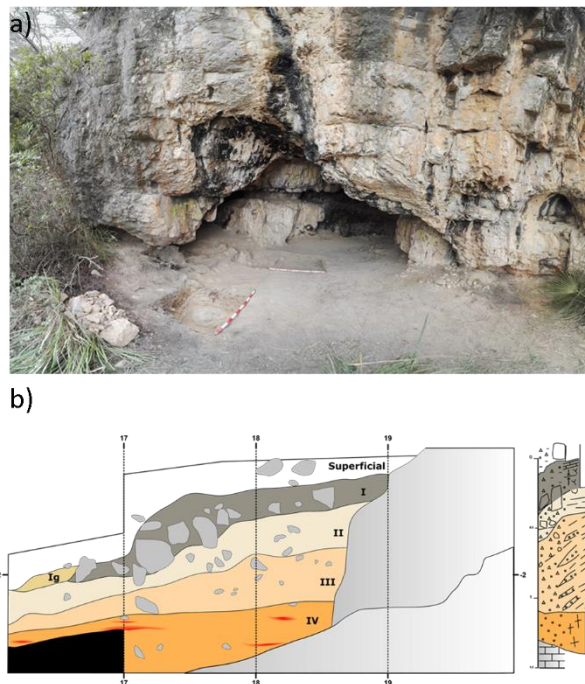


Figura 4.8 a) Vista de la Cova del Trader; b) Perfil estratigráfico del yacimiento. Imágenes: J.I. Morales.

4.6.2 Historia de la investigación

Desde 1955 hasta 1958, se tiene constancia de una serie de excavaciones esporádicas en la Cova del Trader llevadas a cabo por Joan Bellmunt. Sin embargo, la escasa información sobre el yacimiento y sobre el registro arqueológico encontrado

(Bellmunt, 1957, 1955) ha provocado un desconocimiento del estado del yacimiento limitando su puesta en valor (Morales et al., n.d.).

A partir del año 2012, dentro del marco del proyecto "*Substitucions Humanes i transformacions econòmiques entre el Plistocè Superior Final i Holocè al Penedès*" de la Universitat de Barcelona (UB), se puso en marcha una revisión sistemática de los materiales depositados en los fondos de museos de la Sección Arqueológica del Centro de Estudios Víctor Balaguer (Vilanova i la Geltrú). Mayoritariamente, los materiales recuperados son restos humanos además de algún fragmento cerámico e industria lítica. Dentro de este lote son destacables unos ornamentos de calaíta extraídos de las minas de Gavà, además de un botón piramidal hecho en hueso. Gracias a la cultura material se infirió una cronología de final del III milenio BC (Cebrià et al., 2015; Morales et al., n.d.).

Por otro lado, los trabajos de excavación se iniciaron en el año 2016 bajo la dirección de Artur Cebrià, Mireia Pedro y Juan Ignacio Morales, miembros del grupo "*Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques*" (SERP). El objetivo se centró en valorar la preservación del yacimiento y su potencial. El área excavada consistió en la zona interior de la cueva, constatando que la potencia estratigráfica en el interior de la cueva se encontraba prácticamente agotada debido a las intervenciones previas de los años 50. Además, se realizó un sondeo en la entrada de la cueva para comprobar la potencia máxima estratigráfica. Este sondeo fue ampliado durante las campañas posteriores (2017, 2018, 2019) (Morales et al., n.d.).

4.6.3 Secuencia arqueológica

Por el momento se han podido diferenciar un total de 4 unidades estratigráficas, de las cuales una pertenece a un estrato superficial removido y tres son niveles *in situ*.

El nivel I, estudiado en la presente Tesis Doctoral, se encuentra representado en la zona más interna de la cueva y es el producto de las intervenciones antiguas. Posee restos arqueológicos de diferentes episodios cronoculturales, abarcando desde el Neolítico Final-Calcolítico hasta la Edad del Bronce, según las dataciones disponibles por C¹⁴ AMS [Tabla 4.1]. El nivel I posiblemente se trate de una secuencia pleistocena afectada por

las dinámicas de ocupación holocena. A continuación, encontramos los niveles II y III ubicados en el sector exterior y en menor potencia en el interior de la cueva. En estos niveles se han recuperado materiales tanto holocenos como pleistocenos, cabe destacar algún resto lítico como, por ejemplo, una laminilla de *Dufour*, asociada a ocupaciones Auriñacienses. La fase más antigua de ocupación (nivel IV) posee industria lítica con puntas musterienses que definen una cronología del Paleolítico Medio. Estos niveles se encontraron representados en el sondeo y posteriormente, a partir de 2018 se amplió la superficie hacia el oeste de la cueva con el objetivo de completar la excavación de estos niveles paleolíticos. En estos niveles hay un registro faunístico variado con restos de caballo y ciervo, junto con la presencia de algunos carnívoros (Morales et al., n.d.).

4.6.4 Conjunto antropológico

El conjunto óseo recuperado de los niveles superiores se compone de 333 restos, la mayoría son restos dentales y fragmentos de hueso. De las 108 piezas dentales, se obtuvo un NMI de 8 individuos, 6 individuos adultos a través del canino superior derecho (CUR) y 2 infantiles gracias a la presencia de huesos sin fusionar (Morales et al., n.d.).

A través del estudio dental se pudo determinar una serie de patologías como la presencia de caries, casos de hipoplasia dentaria y cálculo dental supragingival, esta última sería la más frecuente en este grupo con un 18,55% de prevalencia (Morales et al., n.d.).

4.6.5 Material analizado

Para el trabajo realizado en la presente tesis doctoral, se analizó todo el conjunto de restos dentales incluyendo el material depositado en el Museu Biblioteca Víctor Balaguer de Vilanova i la Geltrú (80 dientes) junto con el material procedente de las excavaciones recientes (28 dientes). Debido a que los restos de las excavaciones antiguas estaban depositados en el museo, se optó por hacer moldes y réplicas de alta resolución de todo el conjunto.

La dentición posterior contaba con un total de 45 piezas dentales. El NMI es de 5 individuos adultos a través del segundo molar inferior derecho (M2LR) y un individuo infantil. Debido a la pérdida de información por procesos tafonómicos, solo se pudo obtener el patrón de microdesgaste dental de uno de los individuos adultos.

4.7. Roc de les Orenetes

4.7.1 Localización

El Roc de les Orenetes es una cueva kárstica situada a 1860 m.s.n.m en el municipio de Queralbs (Ripollès, Girona), al NE de la Península Ibérica [Figura 4.1]. Esta cavidad natural consiste en una galería de 17m de longitud dividida en dos salas separadas por un pequeño corredor. El acceso a la cueva se realiza a través de dos entradas, orientadas ambas al S-W [Figura 4.9] (Mercadal and Agustí, 2006; Ramírez-Pedraza et al., 2020).

a)



b)

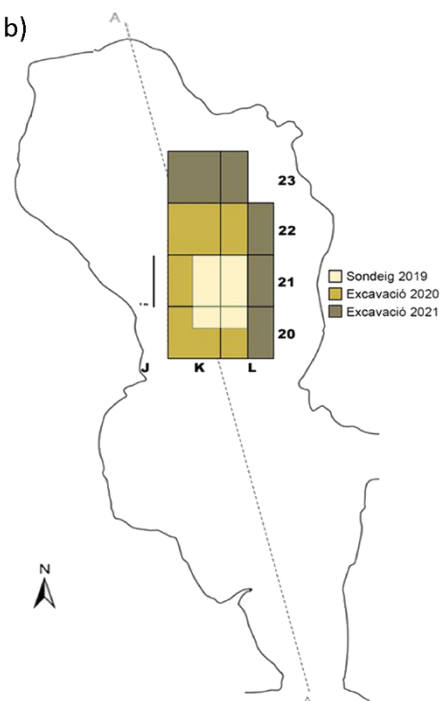


Figura 4.9 a) Entrada a la cueva Roc de les Orenetes; b) Vista de la planta de la excavación durante los años 2019, 2020 y 2021. Imágenes: I. Ramírez.

4.7.2 Historia de la investigación

En el año 1969, el yacimiento del Roc de les Orenetes fue descubierto por Cisco Coll. Posteriormente, en el año 1972 se realizó un informe, publicado en la revista *Vall Fosca*, por parte del delegado provincial de Bellas Artes, el Dr. Miguel Oliva Prat y el arqueólogo Eudald Carbonell, documentando la existencia de restos humanos en el interior de la cueva pertenecientes a un periodo prehistórico (Ramírez-Pedraza et al.,

2020). La primera intervención de urgencia fue llevada a cabo en el verano de 1973 por parte del grupo “Gorber Xaialsa” y dirigida por Eudald Carbonell. El objetivo estaba centrado en realizar cinco sondeos en el exterior de la cavidad, delante de la entrada superior. Además de recoger y documentar todos los restos humanos y materiales arqueológicos expuestos en la superficie. Con la información recogida durante esta campaña, estudios posteriores constataron que la cavidad fue usada como sepulcro colectivo durante la Prehistoria Reciente, concretamente durante la Edad del Bronce, gracias a los restos materiales recuperados. Todo el material arqueológico fue depositado en el Museo Etnográfico de Ripoll (Ramírez-Pedraza et al., 2020).

Casi 50 años después, en el año 2019, se reabrió la cueva dentro del marco del proyecto “*Arrels prehistòriques de la transhumància a l’Alt Ripollès (ARRELS)*”, bajo la dirección de Carlos Tornero y Eudald Carbonell. El objetivo se centró en reabrir la cavidad de la entrada superior para realizar un sondeo en el interior de la sala principal con el propósito de conocer la secuencia arqueológica. Durante la campaña de 2020 hasta la actualidad, se ha continuado excavando el sondeo en la sala central a la vez que se ha ampliado la excavación hacia el Norte de la cueva (Ramírez-Pedraza et al., 2020).

4.7.3 Secuencia arqueológica

La secuencia arqueológica documentada en el sondeo hasta la actualidad consta de 8 unidades estratigráficas (UE). La primera unidad es la UE4 que se caracteriza por una alta densidad de materiales arqueológicos como restos humanos, cerámica, fauna e industria lítica como una punta de flecha. Después, se encuentra representada la UE5 con unas características similares a la UE4. A continuación, se presenta la UE6 que es completamente estéril. La UE7 se divide en dos, la primera es una unidad donde solo se documentan fragmentos de cerámica, mientras que la segunda (UE7 c.c.) se caracteriza por una disminución de la densidad del material. Igualmente, las unidades UE8 y UE9 se presenta con bajas densidades de material. Por último, en la UE10 hay más representación de restos óseos, cerámicas y carbones (Ramírez-Pedraza et al., 2020).

4.7.4 Conjunto antropológico

La muestra recuperada en los años 70 está formada por más de 1000 fragmentos óseos. Los estudios de la época definieron un NMI de 32 individuos de diferentes edades, donde se identificaron 13 mujeres, 14 hombres y 5 individuos de sexo indeterminado. Además, se observaron una serie de patologías como lesiones degenerativas y traumatismos accidentales (Mercadal and Agustí, 2006).

Actualmente se están llevando a cabo estudios sobre estos restos humanos desde diferentes perspectivas con el objetivo de tener una visión más completa sobre este conjunto. La cultura material asociada a este enterramiento junto con una serie de dataciones, pendientes de publicación, relacionan a este conjunto con una fase intermedia entre el Final de Calcolítico y principios del Bronce Inicial.

4.7.5 Material analizado

El material analizado en la presente tesis proviene de la excavación de 1973, depositado en el Museo Etnográfico de Ripoll, junto con nuevos restos óseos recuperados en las UE 2, 3, 4 y 5, en las campañas de excavación de 2019, 2020 y 2021.

La dificultad que conlleva analizar bajo el microscopio óptico mandíbulas enteras o fragmentos mandibulares, debido a su difícil manejo promovió la decisión de realizar moldes y posteriormente réplicas de alta resolución para su análisis. De los 63 fragmentos mandibulares se seleccionaron 50 mandíbulas ya que los dientes presentaban un buen estado de conservación para realizar réplicas de alta resolución.

El estudio del microdesgaste dental con el microscopio óptico se centró exclusivamente en individuos adultos y que conservasen la dentición posterior, siendo seleccionadas 26 mandíbulas. El resto de la muestra tuvo que ser descartado por una serie de problemas asociados a la conservación de la muestra.

4.8. Cova del Gegant

4.8.1 Localización

La Cova del Gegant (Punta de les Coves, Sitges, Barcelona) forma parte de un complejo sistema kárstico situado en el extremo meridional del macizo del Garraf, al NE de la Península Ibérica [Figura 4.1, Figura 4.10] (Daura et al., 2010; Daura and Sanz, 2011).

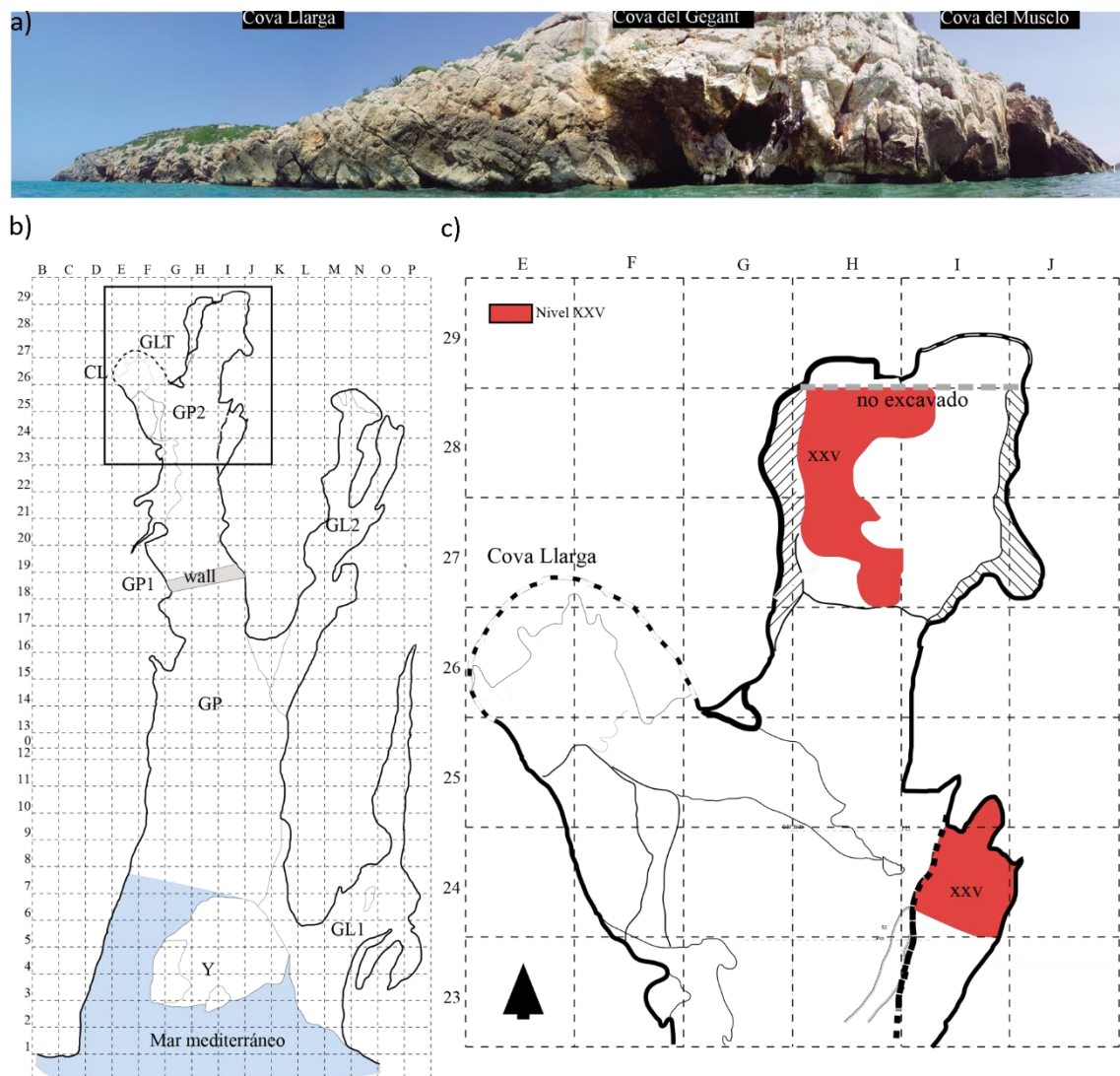


Figura 4.10 a) Vista frontal de la entrada de la Cova del Gegant; b) Planta de la cueva mostrando los diferentes sectores (Cuadro indicando la zona de procedencia de los restos humanos); c) Detalle de la planta indicando la procedencia de los restos humanos estudiados en esta tesis (nivel XXV). Imágenes: J. Daura.

El acceso a la Cova del Gegant es a través de una sima vertical situada encima de la Galería Principal (GP) de la cavidad [Figura 4.10]. Esto es debido a que las otras dos

entradas, a escasos metros del nivel del mar, se encuentran actualmente inundadas. La GP consta de 22m de recorrido, y en paralelo a esta galería se disponen otras dos galerías laterales (GL1 y GL2). Además, la Cova del Gegant se encuentra unida mediante un conducto estrecho (GLT) con la Cova Llarga o de la Trompeta [Figura 4.10] (Daura et al., 2010; Daura and Sanz, 2011).

4.8.2 Historia de la investigación

La Cova del Gegant fue probablemente descubierta en 1880 durante la construcción de una trinchera ferroviaria y posteriormente fotografiada a inicios del siglo XX. Los primeros trabajos arqueológicos, centrados en la GL1, fueron llevados a cabo en el año 1952 por los miembros de la agrupación excursionista “*Agrupació Muntanyenca de Sitges*” (AMUNT), supervisados por Santiago Casanova i Giner. En esta campaña se recuperaron bastantes restos de fauna, entre ellos una mandíbula adulta neandertal (Daura et al., 2005). Durante la década de los años sesenta, se realizaron diferentes intervenciones arqueológicas dirigidas por el equipo del Museo Víctor Balaguer de Vilanova i la Geltrú. Posteriormente, en los años setenta, las intervenciones fueron llevadas a cabo desde la “Sección de Ecología del Cuaternario del Instituto Jaume Almera de Barcelona” (CSIC). Durante los años ochenta se realizaron dos campañas arqueológicas más por parte de “*El Centre de Recerques Paleo-eco-socials*” (CERPES) y, consecutivamente, por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) con el objetivo de excavar el relleno sedimentario que el mar estaba destruyendo debido a la erosión del terreno en la GL1. Pero no fue hasta el año 2001 cuando el equipo del *Grup de Recerca del Quaternari del Seminari d’Estudis i Recerques Prehistòriques* (SERP), bajo la dirección de Joan Daura y Montserrat Sanz, identificó una mandíbula neandertal (Gegant-1) dentro de la fauna de la colección de las excavaciones de 1952, depositada en el Arxiu Històric de Sitges y publicada posteriormente (Daura et al., 2005). Por ello, en el año 2007 se reinician las excavaciones, centrándose fundamentalmente en redefinir la estratigrafía de la cavidad (Daura et al., 2021; Daura and Sanz, 2011). Los trabajos arqueológicos se han centrado fundamentalmente en los niveles pleistocenos, con el hallazgo de varios restos neandertales (Quam et al., 2015; Rodríguez García et al.,

2011). Además, otro de los objetivos fue excavar y documentar un nivel sepulcral de la Edad del Bronce, que es el estudiado en la presente tesis doctoral (Daura et al., 2017; Odriozola et al., 2020, 2019b, 2019a).

4.8.3 Secuencia arqueológica

La cueva presenta una serie de testimonios en base a sedimentos conservados de la erosión marina en las distintas galerías de la cueva que demuestran que se trata de una cavidad que se encontraba completamente rellena de sedimentos y que la erosión marina ha ido vaciando en las últimas décadas. Por este motivo, la secuencia estratigráfica es compleja y se ha construido en base a los distintos testimonios conservados. Sin embargo, la parte más significativa del yacimiento es la conservada en el final de la GP2, donde se ha podido documentar una larga secuencia estratigráfica de más de dos metros de potencia que abarca desde el inicio del Pleistoceno Superior hasta el Holoceno, con niveles del Paleolítico Medio y Superior, Edad del Bronce (epicampaniforme), Edad del Hierro, época romana y, finalmente, de Edad Moderna. La secuencia estratigráfica de la Cova del Gegant fue definida en base a 8 episodios, situando los episodios del 1 al 3 en el Pleistoceno Superior, mientras que los niveles Holocenos pertenecerían a los episodios 4 a 7 (Daura et al., 2022, 2021, 2010).

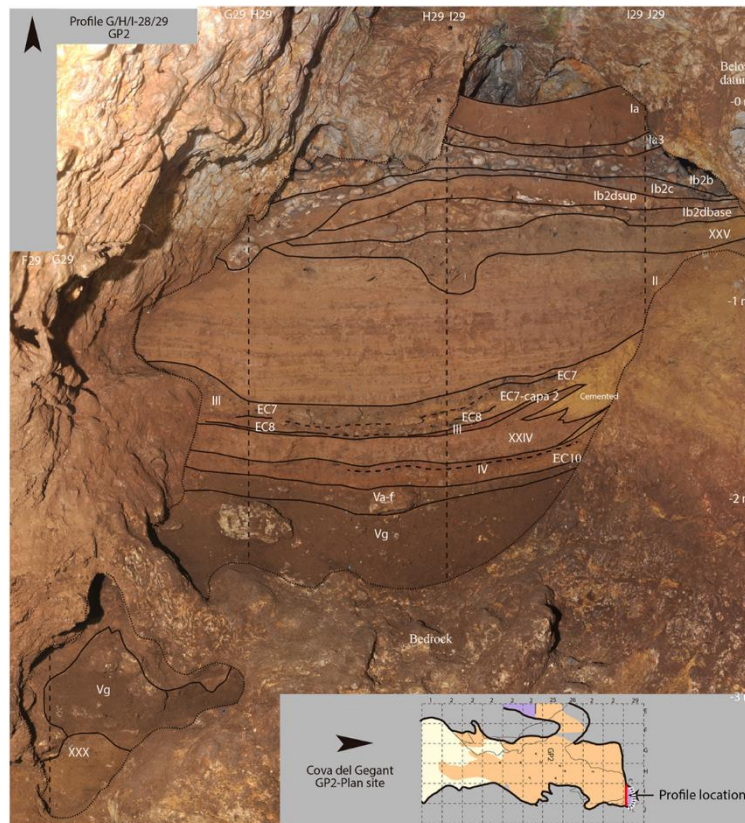


Figura 4.11 Perfil estratigráfico de la Cova del Gegant. Figura: Daura et al., (2021).

En el perfil de GP2, la base de la secuencia está ocupada por el episodio 0, que consiste en un fino nivel de arcillas de tipo endokárstico sin ocupación humana. El episodio 1 se corresponde con ocupaciones del Paleolítico Medio y está representado por el nivel XXX (pre-MIS 5) y mayoritariamente por el nivel V, con una cronología comprendida entre 94-59 ka BP. Los episodios 2 y 3 que contienen ocupaciones del Paleolítico Superior y abarcaría distintos niveles (IV, XXIV, III y II) comprendidos entre ca. 43-25 ka BP (Daura et al., 2022, 2021). El episodio 4 (nivel XXV, Ib2d, Ib2c, Ib2b, Ia), posee cronologías de la Edad del Bronce y se corresponde con un uso de la cavidad como sepulcro colectivo que es el objeto de estudio en la presente Tesis Doctoral [Figura 4.11]. La cronología de la inhumación se determinó en base a tres dataciones sobre restos dentales humanos, dando un episodio cronológico que nos sitúa en el Bronce Medio [Tabla 4.1]. Sin embargo, los restos cerámicos recuperados se atribuyen al estilo epicampaniforme (*Late Bell-Baker*) (Daura et al., 2017), además destaca la presencia de ámbar en el ajuar asociado procedente de Sicilia, indicando importantes redes comerciales a larga distancia. El episodio 5, comprende niveles entre la Edad del Hierro y la Edad Media. En

el episodio 6 se identifican niveles tardo antiguos, medievales y modernos. Por último, el episodio 7 se relaciona con la erosión actual del mar (Daura et al., 2022, 2021).

4.8.4 Conjunto antropológico

Se documentó un total de 1728 restos óseos pertenecientes al episodio 4. La muestra se encuentra muy fragmentada debido al mal estado de conservación, siendo los dientes y los huesos cortos de la mano y el pie los más representados. El conjunto total se compone de un NMI de 19 individuos. Estos individuos se clasificaron en diferentes rangos de edad, 1 neonato, 6 infantiles de entre 1-6 años de edad, 3 infantiles de entre 7 a 12 años de edad, 1 juvenil y 8 adultos. El grupo representado muestra una alta mortalidad infantil (36.8% en la primera infancia). Además, se estimaron 4 individuos masculinos, 2 femeninos y 2 indeterminados, a través de caracteres morfológicos (Daura et al., 2017).

4.8.5 Material analizado

Para este trabajo se revisó y clasificó toda la dentición posterior de los 19 individuos. Como los restos pertenecientes a cada uno de los individuos se encontraban individualizados, se seleccionó en cada caso el molar que mejor preservaba el microdesgaste dental.

De un total de 19 molares, 9 fueron seleccionados para su observación bajo el microscopio óptico. No obstante, debido a procesos tafonómicos, solo 6 individuos conservaron información del microdesgaste dental.

4.9. Cova dels Galls Carboners

4.9.1 Localización

La Cova de Galls Carboners se abre en el risco más alto de la vertiente meridional del Motllats en las montañas de Prades (Tarragona), a 965 m.s.n.m., en el término municipal de Mont-ral en la comarca de l'Alt Camp, al NE de la Península Ibérica [Figura 4.1].

El acceso a la cavidad se realiza a través de una entrada triangular situada a 5,5m de altura respecto al acantilado. La cueva tiene un recorrido de unos 60m de distancia, dividido en dos sectores (Vergès et al., 2017) [Figura 4.12].

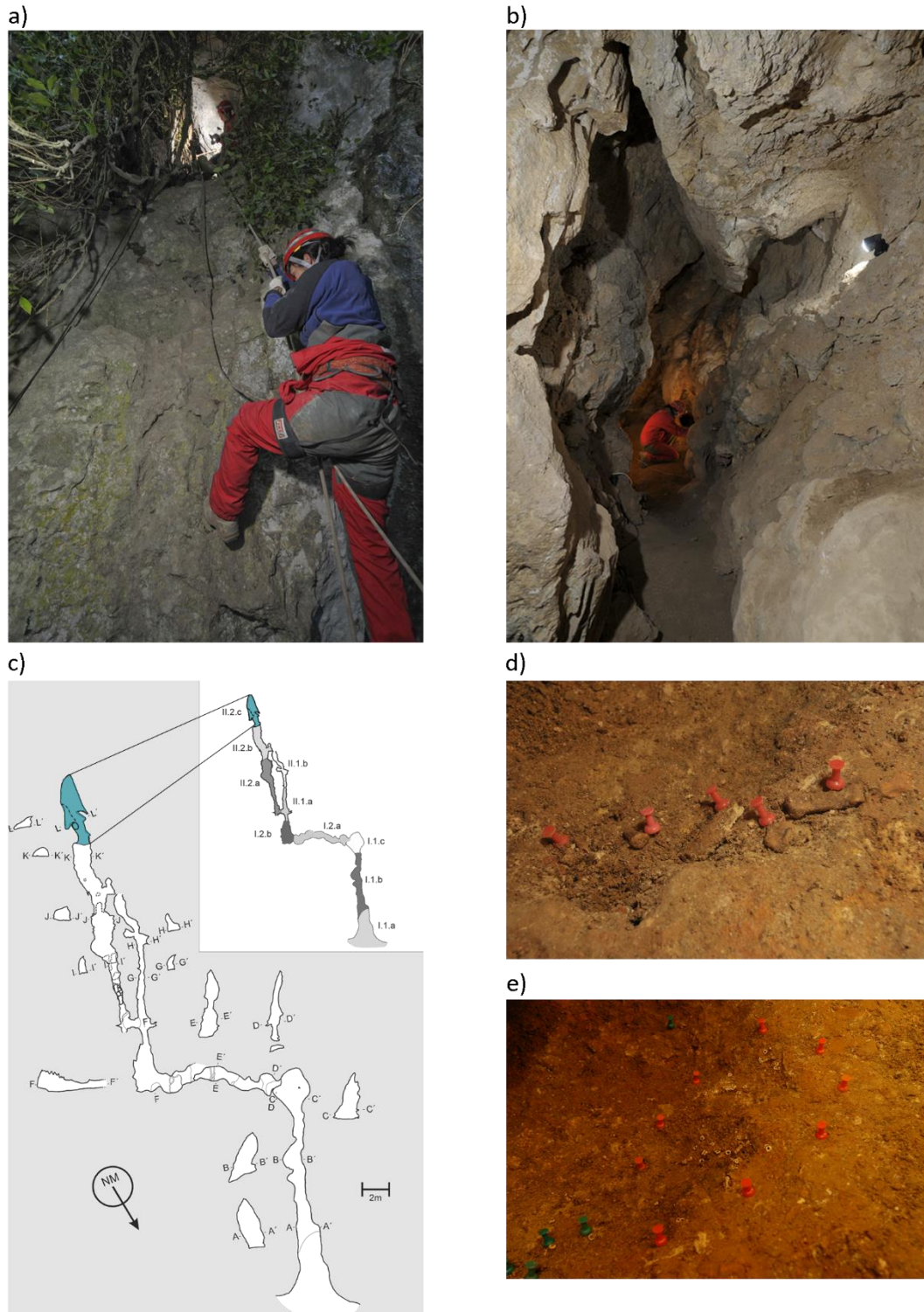


Figura 4.12 a) y b) Vista de la entrada a la Cova de Galls Carboners y dentro de la cavidad; c) Planta de la cueva con los sectores excavados (en azul, el nivel II-2-c con la procedencia de los restos humanos); d) Detalle de los restos humanos; e) Detalle de las cuentas de collar. Imágenes: J. M. Vergès.

4.9.2 Historia de la investigación

Durante la década de 1970 fue excavada por Ferran Companys Nadal, propietario de la finca de Mas d'en Marc donde se encuentra la cueva, quien posteriormente en el año 1995 hizo una donación de materiales arqueológicos al Ayuntamiento de Santa Coloma de Queralt (Tarragona). En el año 2002 la familia de Ferran Companys se puso en contacto con el Área de Prehistoria de la Universidad Rovira i Virgili para hacer una donación de numerosos restos humanos, una valva de *Glycimeris* y un fragmento de cerámica procedente de la Cova de Galls Carboners. Fue a partir de aquí cuando se pone de manifiesto el interés arqueológico de los restos y se decide intervenir, en el año 2008, dentro del marco del proyecto "*Evolució paleoambiental i poblament prehistòric a les conques dels rius Francolí, Gaià, Siurana i rieres del Camp de Tarragona*" por el equipo del Instituto Catalán de Paleoecología Humana y Evolución Social (IPHES). Se llevaron a cabo dos campañas de excavaciones, entre los años 2009 y 2010, verificando que se conservaban restos arqueológicos en posición primaria (Vergès et al., 2017).

Durante la intervención de 2009 se realiza una primera topografía de la cavidad con el objetivo de identificar la zona de interés y tener un posicionamiento de los restos arqueológicos. Es en la campaña de 2010 cuando se realizan las excavaciones, concretamente en los subsectores I-1c y II-2-c [Figura 4.12] (Vergès et al., 2017).

4.9.3 Secuencia arqueológica

El nivel más antiguo se ha localizado en un depósito sedimentario con abundantes restos paleontológicos pertenecientes a micromamíferos, reptiles y anfibios. La datación de este nivel 107 (31.260 años cal. BP) situaría este conjunto faunístico en el episodio Heinrich 3 (López-García et al., 2014; Vergès et al., 2017).

El registro arqueológico de carácter antrópico se limita a tres sectores de la cueva, I-1-c, II-1-b, II-2-c. En el sector I-1-c, los restos humanos, la fauna y los elementos de cultura material se han recuperado casi exclusivamente del nivel 100. Dentro de los restos de cultura material se encuentran 12 fragmentos de cerámica a mano y tres restos de industria lítica. Respecto a la fauna, se ha podido identificar un 24% del conjunto

faunístico compuesto mayoritariamente por especies de origen doméstico (*Ovis aries/Capra hircus*), además de fauna de origen cinegético como cérvidos y lepóridos (Vergès et al., 2017).

El sector II-1-b se caracteriza por la ausencia de sedimento en superficie, por lo que los materiales, exclusivamente restos humanos, se localizan sobre una costra calcárea (Vergès et al., 2017).

Por otro lado, el sector II-2-c es el punto más profundo de la cavidad, donde se documenta el nivel 201, que presenta restos humanos, algunos de ellos en conexión anatómica, y cuentas de collar [Figura 4.12]. Se realizó una datación por C^{14} AMS sobre una falange proximal del dedo IV izquierdo de la mano, que ofreció una cronología del Bronce Medio [Tabla 4.1] (Vergès et al., 2017).

4.9.4 Conjunto antropológico

El material donado al área de Prehistoria de la URV en el año 2002 presentaba un estado de conservación óptimo. El conjunto está compuesto por más de 1500 restos humanos, representado mayoritariamente por restos postcraneales. A través del estudio de los restos óseos, se han encontrado representados todos los grupos de edad con una mayor representación de individuos infantiles y juveniles que de individuos de edad adulta. Sin embargo, mediante el análisis de restos postcraneales, se ha definido un número mínimo de individuos (NMI) de 16 individuos, 9 adultos, 3 juveniles y 4 infantiles (Vergès et al., 2017).

4.9.5 Material analizado

El conjunto de restos dentales consta de 361 dientes aislados, de los cuales hay 91 piezas de la dentición posterior. Para el análisis realizado en esta tesis, nos hemos centrado en los 47 molares inferiores, definiendo un NMI de 11 individuos a través de los primeros molares inferiores izquierdos (M1LL), de los cuales 5 son adultos, 2 juveniles y 4 infantiles. Sin embargo, para los dientes deciduos hay un NMI de 8

individuos a través de los dm2 inferiores que clasificamos por rangos de edad, según (AlQahtani et al., 2010). Por otra parte, el M2LR indicaba un NMI de 6 individuos adultos.

Para el análisis del microdesgaste dental a través del microscopio óptico nos centramos en los individuos adultos, seleccionando los 6 M2LR. De estos 6 individuos, 4 molares conservaban el esmalte en estado óptimo para analizar el microdesgaste dental. El resto tuvo que ser descartado por una serie de problemas tafonómicos asociados a la conservación de la muestra.

Por otro lado, el estudio los individuos infantiles se realizó mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM), con un total de 8 segundos molares deciduos derechos e izquierdos (dm2LL, dm2LR).

4.10. Cova de Valdavara

4.10.1 Localización

El yacimiento de Valdavara ubicado en el Concello de Becerreá (Lugo), a una altitud de unos 600 m s.n.m, se compone de tres localizaciones (Valdavara 1, Valdavara 2 y Valdavara 1-2) que forman parte del sistema kárstico que rodea al municipio de Becerreá [Figura 4.1] (Vaquero et al., 2009).

La cueva se encuentra en el margen derecho del río Narón, en un entorno compuesto por formaciones del Paleozoico Inferior, principalmente constituido por rocas arenosas y pizarrosas, destacando las formaciones calcáreas. Se trata pues de una singular formación por su litología constituida por dolomías y calizas (Vaquero et al., 2009; Vera, 2004).

4.10.2 Historia de la investigación

En los años 60 se realizó un sondeo en la entrada de la cueva, llevado a cabo por un grupo de vecinos locales. Los resultados de este sondeo propiciaron que en el año 2007 se iniciaran las excavaciones en la cueva de Valdavara, dentro del proyecto de investigación "Ocupaciones humanas durante el Pleistoceno en la cuenca media del Miño" desarrollado por la Universidad de Santiago de Compostela y la Universidad Rovira i Virgili y se prolongaron hasta 2011 (Fábregas et al., 2012, 2008; Vaquero et al., 2009).

El yacimiento está distribuido en diferentes sectores. La cavidad principal es denominada Valdavara 1, las intervenciones arqueológicas se iniciaron con un sondeo de 1m² en el centro de la galería principal y a 2m de la entrada de la cueva. A escasos metros por debajo de Valdavara 1, se localizó una pequeña fisura con restos óseos y líticos en superficie que se denominó Valdavara 2. Posteriormente se excavó una superficie de aproximadamente 6 m² localizada en el exterior de la cavidad principal Valdavara 1, denominada Valdavara 1-2 [Figura 4.13] (Vaquero and Alonso-Fernández, 2020).



Figura 4.13 Vista de la entrada a Cova de Valdavara con sus diferentes sectores: Valdavara 1, Valdavara 1-2 y Valdavara 2. Fotografía: M. Vaquero.

4.10.3 Secuencia arqueológica

En Valdavara 1 se diferencian dos conjuntos estratigráficos, tanto cultural como cronológicamente. El conjunto superior, definido por los niveles 2 y 3, se caracteriza por la presencia de fragmentos cerámicos, restos ornamentales y restos humanos. La datación de una falange humana, asociada a este nivel, se atribuye a la Prehistoria Reciente (5340-4980 cal. BP). Mientras que el conjunto inferior, definido por el nivel 4, se caracteriza por la desaparición de la cerámica y la aparición de industria lítica. A este conjunto se le atribuye unas fechas del Paleolítico Superior Final (17080-16880; 17890-17730 cal BP), encajando en el Magdalenense Inferior-Medio (Vaquero et al., 2009).

La secuencia estratigráfica de Valdavara 2 se compone de tres niveles. En el nivel 1, el más superficial, se encontraron aisladamente algunos restos óseos e industria en cuarzo. El nivel 2 se caracteriza por una acumulación de grandes bloques mientras que el nivel 3 tenía una mayor presencia de gravas. Es en este nivel 3 donde se localizó el conjunto

de restos humanos estudiado para esta tesis, además de una gran abundancia de restos faunísticos (Vaquero et al., 2009).

4.10.4 Conjunto antropológico

En el nivel 3 de Valdavara 2 se recuperaron un total de 55 restos humanos, pertenecientes a dos individuos infantiles según los análisis iniciales (Vaquero et al. 2009). Posteriormente, los análisis genéticos de estas muestras determinaron la presencia de tres individuos (González-Fortes et al., 2019).

El conjunto de restos humanos de Valdavara 2 tiene una cronología del Bronce Medio, que se ha determinado a través de dos dataciones de C^{14} AMS sobre dos huesos humanos [Tabla 4.1] (Vaquero et al., 2009). El escaso número de restos de tamaño pequeño, su disposición, así como la naturaleza del mismo ha llevado a concluir que Valdavara 2 podría tratarse de un enterramiento secundario durante el Bronce Medio (Vaquero et al., 2009).

4.10.5 Material analizado

En el nivel 3 se recuperaron 12 restos dentales, entre dientes aislados y fragmentos mandibulares y maxilares (Hernando et al., 2019; Vaquero et al., 2009). Una descripción detallada de todos los restos de cada individuo se llevó a cabo en uno de los artículos que forma parte de esta tesis (ver (Hernando et al., 2019)).

Para el análisis del microdesgaste dental, se han analizado el individuo II y el individuo III. El individuo II fue identificado a partir del neurocráneo, asociados con huesos del postcráneo y un fragmento de maxilar con dientes deciduos erupcionados. Mientras que el individuo III solamente tiene asignado un fragmento de mandíbula con los dientes in situ (Hernando et al., 2019).

En el marco de este trabajo se realizó una estimación de la edad de los tres individuos en base a la secuencia de erupción de los restos dentales y el macrodesgaste, concluyendo una edad para el individuo I de entre 6 a 9 meses, mientras que el individuo

II tendría una edad cercana a los 5-6 años. Por último, el individuo III tendría una edad alrededor de los 4-5 años (Hernando et al., 2019).

5. METODOLOGÍA

En esta sección se describen las metodologías empleadas para el análisis del microdesgaste dental en ambas superficies del diente de los grupos analizados. En primer lugar, se van a describir los métodos utilizados para la clasificación de los dientes seleccionados junto con su estimación de edad en el caso de los individuos infantiles. A continuación, se detalla el protocolo de limpieza aplicado a los originales para la posterior realización de réplicas de alta resolución.

Los trabajos de investigación que conforman esta Tesis se centran fundamentalmente en tres técnicas de análisis del microdesgaste dental con diferentes tipos de microscopía. En este bloque se van a detallar los procedimientos, métodos y técnicas de cada una de ellas. Por último, se van a tratar los aspectos relacionados con las dificultades a la hora de analizar el microdesgaste dental, debido a las superficies mal conservadas y otros factores tafonómicos. En el apartado 5.5, se va a realizar una descripción de los procedimientos estadísticos aplicados en los diferentes estudios de la presente Tesis Doctoral. Debido a las limitaciones encontradas por la ausencia de bases de datos de comparación, el último bloque va a centrarse en la necesidad de bases de datos e imágenes como marcos de referencia para los estudios de microdesgaste dental.

5.1. NMI y Perfil demográfico del conjunto estudiado

5.1.1. Identificación anatómica y Número Mínimo de Individuos (NMI)

La identificación anatómica de los restos dentales se ha realizado siguiendo los estándares anatómicos y de terminología establecidos internacionalmente (Hillson, 1996; White et al., 2011). En el caso de los dientes *in situ* en mandíbulas, se ha registrado el grado de desgaste dental siguiendo los criterios de Brothwell (1981) y Lovejoy (1985).

El NMI representa en número mínimo de individuos estimados en el conjunto. En general, en todos los conjuntos bioarqueológicos analizados se ha observado una mayor

representación de mandíbulas que de maxilares asociados a cráneos. Por ello, en el caso de los restos dentales aislados, se optó por escoger el molar mandibular más abundante, mientras que cuando los molares se encontraban *in situ* en las mandíbulas se priorizó el segundo molar inferior, seguido del primer molar en caso de ausencia.

5.1.2. Edades de muerte

Los dientes han sido clasificados por su estado de desarrollo y sus diferentes patrones de macrodesgaste dental. En términos generales, para los estudios de individuos adultos se ha seleccionado exclusivamente la dentición permanente, teniendo en cuenta que el segundo molar permanente emerge alrededor de los 12 años y asegurando que las raíces estuviesen totalmente fusionadas. Mientras que para el estudio de los individuos infantiles se optó por escoger los molares deciduos, que suelen erupcionar entre el primer y segundo año de vida (AlQahtani et al., 2010) [Figura 5.1]. La edad de muerte de los individuos infantiles se estimó a partir del estadio de formación de los dientes y de su secuencia de erupción en la maxilar o mandíbula (Ferembach et al., 1980). En el caso de los dientes aislados, el estadio de formación de la raíz, el desgaste dental oclusal y la reabsorción de la raíz fueron los criterios para la determinación de la edad (AlQahtani et al., 2010; Ferembach et al., 1980; Schour and Massler, 1941).

Los grupos de edad establecidos se han basado en la edad biológica siguiendo a Halcrow and Tayles (2008): los individuos de 0 a 4 años corresponden a las etapas de lactancia materna a destete terminal, los individuos de 5 a 7 años son niños que todavía dependen en gran medida de los adultos para la alimentación y la protección, y los individuos de 8 a 11 años pertenecen al periodo prepuberal.

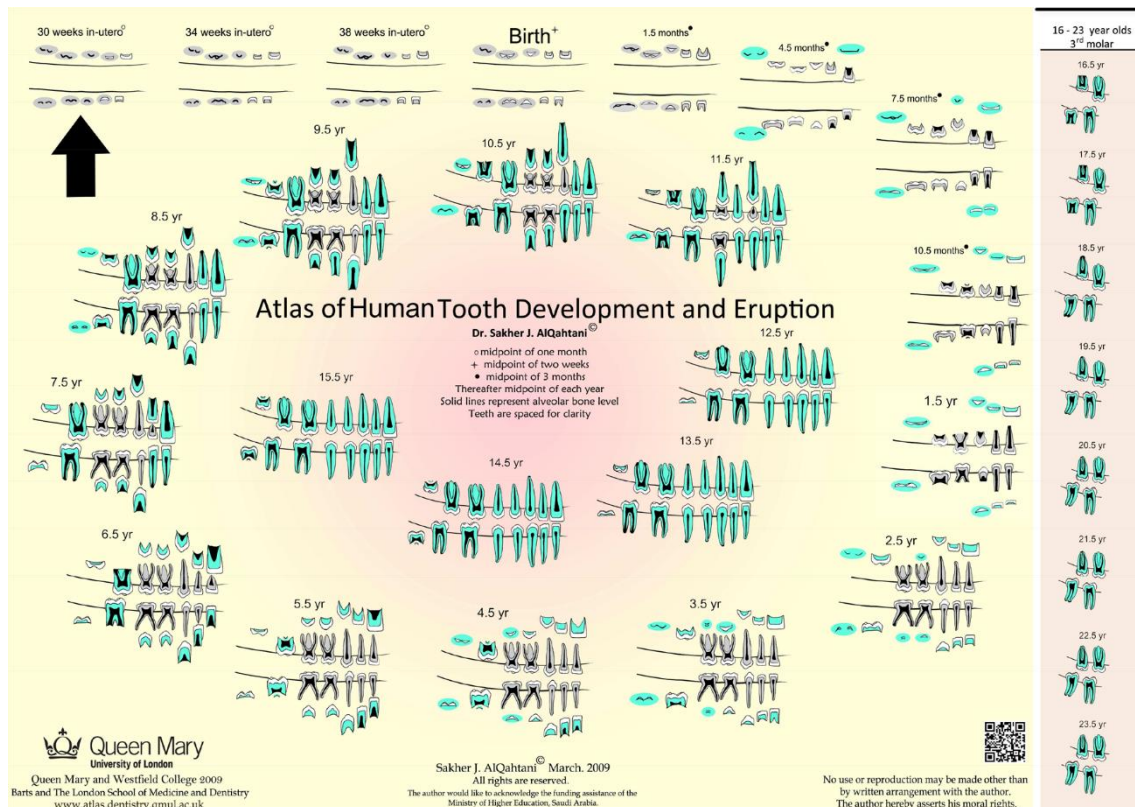


Figura 5.1 Atlas del desarrollo y erupción de los dientes humanos. La flecha indica el punto de partida. Los dientes deciduos en gris y los permanentes en verde (AlQahtani et al., 2010).

5.2. Elaboración de moldes y réplicas de alta resolución

El análisis del microdesgaste dental se ha llevado a cabo tanto con dientes originales como con réplicas de alta resolución. Cuando se pudo se priorizó la observación directa de los originales, sin embargo, en algunos casos (como, por ejemplo, cuando los dientes se encontraban *in situ* en las mandíbulas) se hicieron réplicas de alta resolución para su mejor manipulación en el microscopio. El proceso de elaboración de réplicas consta básicamente de tres pasos consecutivos: limpieza previa del original, obtención del molde o impresión negativa y, por último, elaboración de la réplica o la impresión positiva (Camarós et al., 2016).

Primero, se realizó un protocolo de limpieza donde los dientes originales se limpiaron suavemente con un hisopo de algodón y con acetona al 99% para eliminar la arenilla adherida, el polvo o los residuos de adhesivo. Posteriormente, se dejaron secar a temperatura ambiente (Galbany et al., 2006, 2004). La experiencia nos ha demostrado

que tanto el uso de alcohol al 95% como de acetona elimina completamente los residuos de la superficie [Figura 5.2].

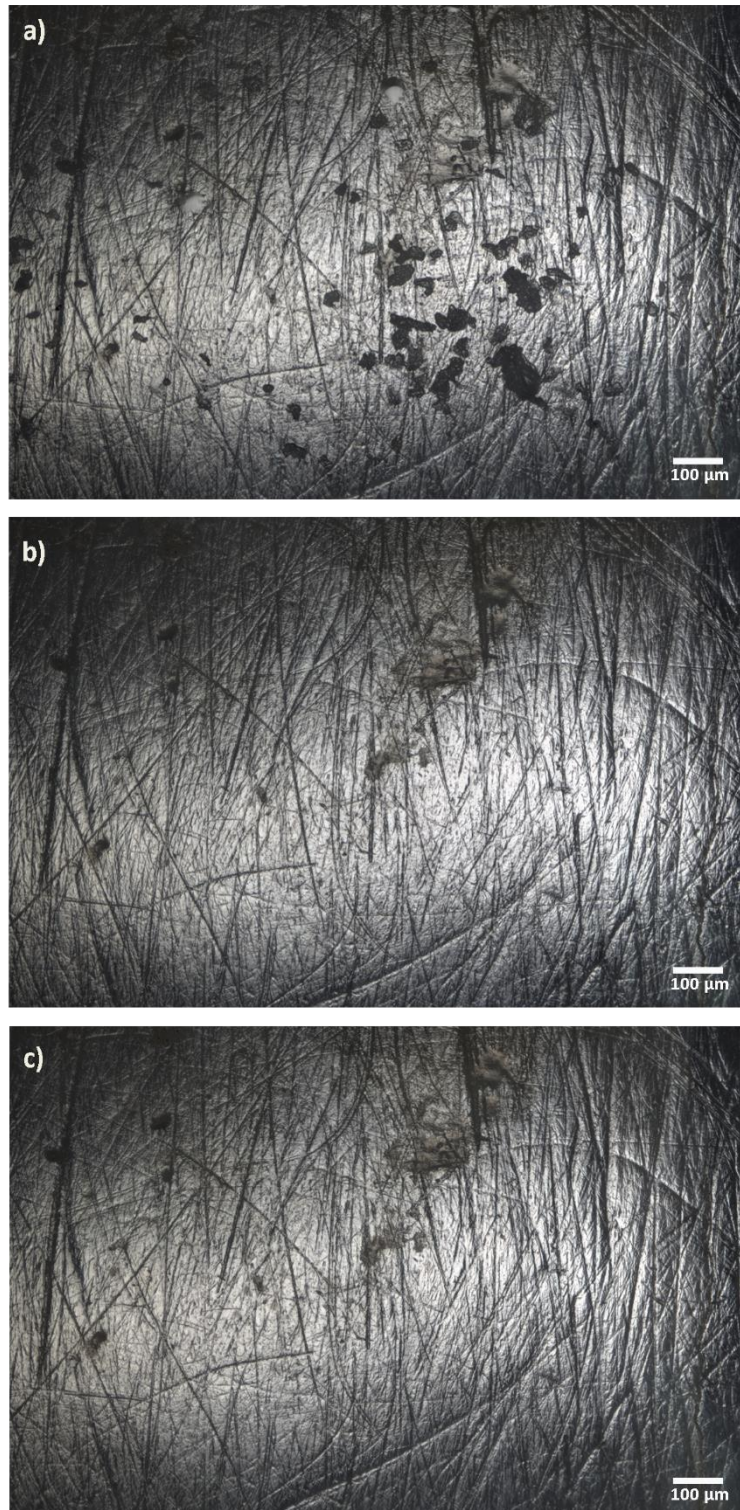


Figura 5.2 Tres imágenes de la misma superficie de esmalte dental (GN89-D1-343) tratado con diferentes tipos de limpiezas al microscopio óptico. a) Esmalte dental con restos de grasa; b) Esmalte dental tratado con alcohol al 95%; c) Esmalte dental tratado con acetona al 99%.

La silicona dental (*Colténe President Plus Jet regular body*) se utilizó para hacer moldes de las superficies oclusales y bucales de cada diente [Figura 5.3]. Se trata de un elastómero de silicona por adición de polivinilsiloxano con diferentes tipos de viscosidades: baja (*Light body*), media (*Regular body*) y alta (*Heavy body*) y consta de dos componentes, el catalizador y la base, que generan una reacción al entrar en contacto. La capacidad de resolución del molde depende de la consistencia de la silicona, es decir, cuanto más alta sea la viscosidad (*heavy body*) se observan menores precisiones del negativo. Por lo tanto, se recomienda utilizar siliconas de viscosidad baja o media para no perder la capacidad de resolución de la impresión de los detalles del microdesgaste dental (Galbany et al., 2004; Goodall et al., 2015; Sawaura et al., 2022). El proceso de obtención de la silicona se realiza con una pistola dispensadora de auto-mezclado donde se combinan en proporciones iguales la base y el catalizador, creando una mezcla de color uniforme. Siguiendo los protocolos establecidos, la aplicación de la silicona debe cubrir la superficie bucal incluyendo todas las superficies del esmalte hasta la unión amelo-cementaria. Una vez que la base y el catalizador entran en contacto se produce la polimerización del material pasando a ser un molde endurecido que se puede retirar del original después de esperar unos 5 minutos (Fiorenza et al., 2009; Galbany et al., 2004). Generalmente, se ha realizado un primer molde para eliminar las partículas más adheridas a la superficie dental, y ha sido la segunda impresión la elegida para reproducir el original (Mahoney et al., 2016).



Figura 5.3 Proceso de realización de moldes de las mandíbulas de Roc de les Orenetes (a). Detalle del proceso en la superficie bucal (b) y en la oclusal (c).

La resina utilizada para producir réplicas de alta resolución ha sido de tipo Epoxy (Epo-Tek 301, Epoxy Technology, Inc), ya que posee una buena capacidad de resolución de

los detalles microscópicos. Sin embargo, no descartamos que la resina de poliuretano *Feropur*[®] no sea válida para estos estudios [Figura 5.4].

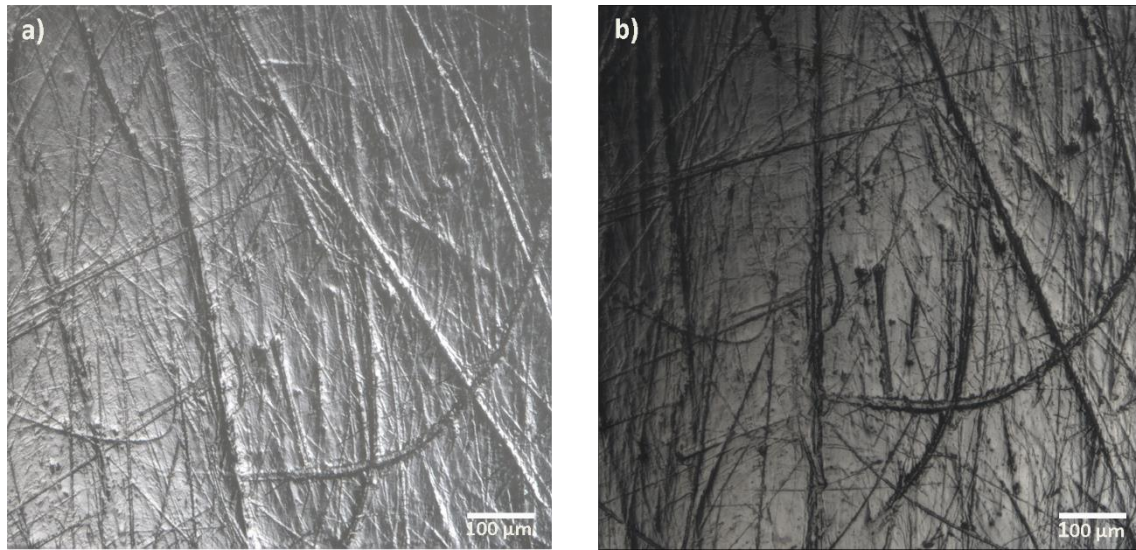


Figura 5.4 Micrografías obtenidas con el microscopio óptico mostrando la misma superficie dental (M1LR Individuo 9 El Mirador) de réplicas de alta resolución hechas con *Feropur* (a) y epoxy (b).

Esta resina epoxy consta de dos componentes, la parte A y la B. Para la preparación de los positivos se han mezclado los dos componentes líquidos en una relación de 1:4 en peso, una parte B por cada cuatro de parte A, removiendo aproximadamente durante un minuto. Una vez que la mezcla está preparada, se realiza un primer vertido al molde mediante una pipeta Pasteur recubriendo toda la superficie oclusal con el objetivo de intentar romper la tensión superficial y evitar la formación de burbujas. A continuación, se vierte cuidadosamente el resto del contenido dentro del molde. A partir de aquí comienza la polimerización de la resina que suele durar al menos 24 horas, aunque se recomienda esperar hasta 48 horas para evitar que la resina siga teniendo una consistencia pegajosa (Galbany et al., 2006, 2004). Por último, pasado este tiempo se procede a retirar el molde obteniendo una réplica de alta resolución del diente original [Figura 5.5].

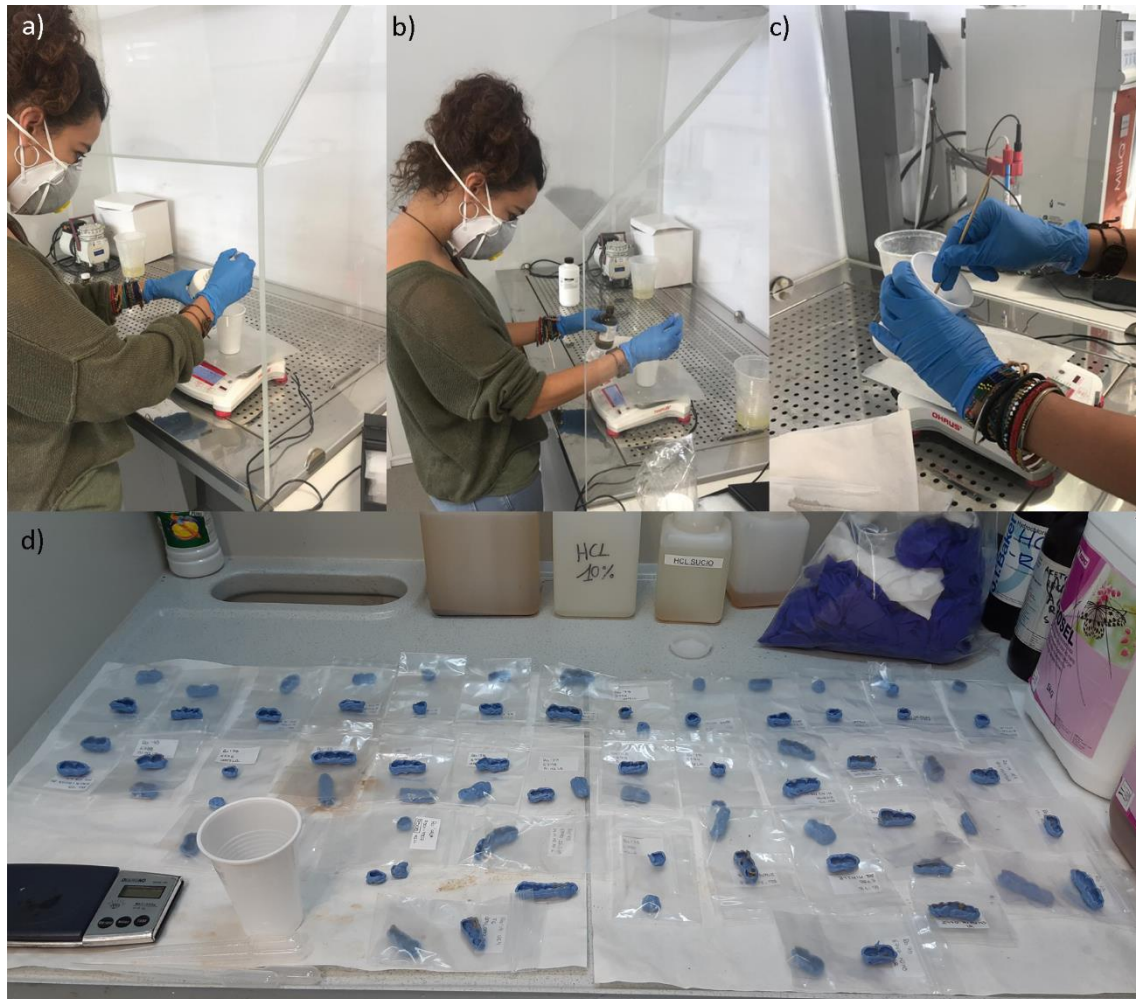


Figura 5.5 Proceso de preparación de las réplicas de epoxy de alta resolución. a) y b) Pesado de las cantidades de los componentes A y B; c) Mezclado de ambas; d) Vertido de la epoxy al molde dentro de la campana extractora.

5.3. Métodos de observación y análisis del microdesgaste dental

La observación del microdesgaste dental se ha llevado a cabo utilizando tres técnicas microscópicas diferentes (microscopía electrónica de barrido, microscopía óptica y, por último, microscopía láser confocal). Para las dos primeras, se han utilizado procedimientos semiautomáticos estandarizados para realizar el análisis cuantitativo de imágenes 2D. Mientras que para el análisis 3D de la textura del microdesgaste dental con el microscopio láser confocal se ha utilizado un método cuantitativo automatizado mediante el análisis fractal sensible a escala (en inglés, *Scale Sensitive Fractal Analysis* o SSFA).

5.3.1. Análisis del microdesgaste dental con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

Previamente a la obtención de las imágenes a través del microscopio electrónico de barrido, las réplicas se montaron en un disco de aluminio o *stub*, mediante cola termofusible. Con el objetivo de mejorar la conductividad y evitar las cargas electrostáticas durante el proceso de obtención de imágenes, las réplicas fueron metalizadas mediante pulverización catódica con una capa de oro de ~25 nm. A continuación, se utilizó una tira de aluminio para conectar el *stub* con la réplica metalizada con el fin de facilitar la conducción de electrones sobre la superficie (Galbany et al., 2006, 2004).

El Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA, o las siglas en inglés, ESEM) utilizado en nuestro análisis ha sido un equipo modelo FEI Quanta 600, ubicado en el Servicio de Recursos Científicos y Técnicos de la Universidad Rovira i Virgili (Tarragona, España) [Figura 5.6]. Este microscopio electrónico genera imágenes mediante un barrido de la superficie examinada, por un haz de electrones de alta energía. La interacción entre los electrones y los átomos que forman la superficie de la muestra analizada produce emisiones con la información de la topografía y la composición de la misma que son detectadas y analizadas (Goldstein et al., 1992). Cabe destacar que estrictamente el equipo nunca fue utilizado como un ESEM, es decir, en condiciones ambientales. Sino que, por el contrario, fue utilizado como un microscopio electrónico de barrido convencional (SEM). Además, dependiendo del tipo de muestra analizada se utilizaron diferentes condiciones de vacío dentro de cámara. De este modo, se utilizaron condiciones de bajo vacío para analizar dientes originales y condiciones de alto vacío cuando se observaron réplicas metalizadas.



Figura 5.6 Microscopio electrónico de barrido ambiental FEI Quanta 600, ubicado en el Servicio de Recursos Científicos y Técnicos de la Universidad Rovira i Virgili (Tarragona). Créditos: Marina Lozano.

Los detectores del SEM son lentes compuestas de electroimanes que cuantifican la cantidad e intensidad de electrones reflejados desde la muestra para formar una imagen. Se pueden utilizar tres tipos de detectores: Detectores de electrones secundarios que a su vez se dividen en dos, *Everhart Thornley Detector* -ETD cuando se trabaja en alto vacío, y *Large Field Detector* -LFD- cuando trabajando a bajo vacío), y electrones retrodispersados (*BSE dual*, para bajo y alto vacío). Todos los tipos de detectores funcionan con los dientes originales, pero en el caso de las réplicas metalizadas tiene poco sentido recurrir al *BSE dual*, ya que la imagen se forma principalmente basándose en la naturaleza química de la muestra, lo que en una réplica del original tiene poco sentido. Por lo tanto, para minimizar el control de la variación potencial introducida por parámetros específicos del SEM, utilizamos sistemáticamente detectores de electrones secundarios para todos los análisis de microdesgaste dental en ambas superficies.

Siguiendo la metodología de (Pérez-Pérez et al., 1994) para la adquisición de las micrografías, los molares originales fueron colocados dentro de la cámara del SEM a

bajo vacío utilizando parámetros fijos. Se estableció un voltaje de aceleración de 20 kV, junto con un tamaño de apertura del haz de electrones (en inglés, *spot size*) de 4,5. Para la adquisición de las micrografías con réplicas epoxy metalizadas se utilizó el modo alto vacío siguiendo los mismos parámetros estandarizados, donde la ausencia de oxígeno en el interior de la cámara y el recubrimiento de oro de las muestras favorecen el rebote de electrones de forma más eficaz (Borel et al., 2014; Goldstein et al., 1992).

Dependiendo de la superficie observada, en cada micrografía se estableció un área de observación concreta, en el caso de las superficies bucales tanto originales como réplicas, las micrografías se corresponden con el tercio medio de la superficie bucal a 100x en el modo de pantalla múltiple, con un campo de visión horizontal (en inglés, *field of view*) de 1490 μm , y la captura de imágenes ajustada a una resolución de 1024 x 884 píxeles (Pérez-Pérez et al., 1994). Por el contrario, para la superficie oclusal, las micrografías se centraron en la faceta 9 a 500x en el modo de pantalla múltiple siguiendo los parámetros anteriores (Gordon, 1988; Ryan, 1979).

Tras la adquisición de las imágenes, estas fueron tratadas utilizando un software de manipulación de imágenes de libre acceso, GIMP (<https://gimp.es/>) para modificar su contraste. Para ello, se aplicó el filtro *high pass* con el fin de eliminar los efectos de sombra y realizar un autoajuste de la imagen (Galbany et al., 2004).

5.3.2. Análisis del microdesgaste dental con Microscopio óptico (OM) a altos aumentos

El análisis se llevó a cabo con un microscopio óptico ZEISS Axioscope A1, equipado con un sistema de contraste de interferencia diferencial (DIC) y un prisma Nomarski. Este equipo se encuentra ubicado en las instalaciones del *Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social* (IPHES), en Tarragona [Figura 5.7].

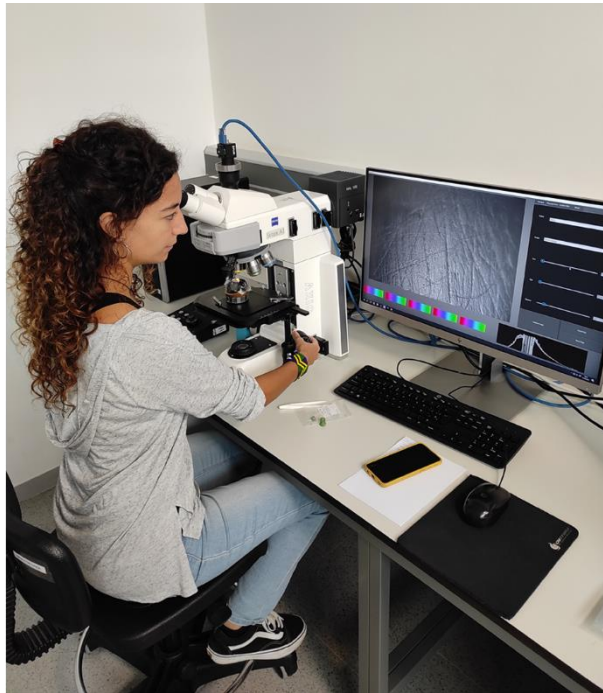


Figura 5.7 Microscopio óptico ZEISS AxioScope A1, ubicado en las instalaciones del Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES), en Tarragona. Créditos: Miguel Ángel Moreno.

Se utilizaron dos objetivos Epiplan: un 5x/0,13 y un 10x/0,20 (Ollé et al., 2016). La cámara utilizada con el microscopio óptico es una cámara Blackfly S USB 3.0 de 6,3 MP en color, 1/1,8", de FLIR, y el software utilizado para controlar la adquisición de imágenes es Kivy Capture MIC Z. Los parámetros se ajustaron a los del SEM trabajando con el prisma de campo brillante (en inglés, *bright field prisma*) a 100x (usando el objetivo de 10x), obteniendo un campo de visión de 1464 μm (Borel et al., 2014; Fernández-Marchena et al., 2018; Martín-Viveros and Ollé, 2020).

A continuación, las imágenes adquiridas fueron tratadas con el software de procesamiento de las imágenes Helicon Focus 5.3 (Plisson and Zotkina, 2015), usando el método de montaje piramidal C, que elimina las aberraciones comunes de la imagen (por ejemplo, los "halos") que se forman cuando se trabaja con materiales altamente reflectantes, en nuestro caso el esmalte dental y las réplicas epoxy.

5.3.3. Tratamiento de las imágenes para el microscopio electrónico de barrido y microscopio óptico para la obtención de las variables

De las micrografías obtenidas con ambos microscopios, solo las que mostraban claramente características de microdesgaste dental fueron escogidas para su análisis (Pérez-Pérez et al., 2003). Las imágenes seleccionadas de la superficie bucal fueron cortadas con un área de 0,56 mm² (Galbany et al., 2004), mientras que para la superficie oclusal se seleccionó un área de 0,03 mm² (Mahoney, 2006; Teaford and Tylenda, 1991).

Una vez adquiridas las imágenes de la superficie bucal con el microscopio electrónico de barrido, el siguiente paso es la identificación, conteo y medición de forma manual de todas las estrías del área seleccionada de la superficie bucal siguiendo los procedimientos metodológicos establecidos (Pérez-Pérez et al., 2003; Pérez-Pérez et al., 1994). El procedimiento consiste en un recuento del número total de estrías (BTN) en cada diente, la longitud media de las estrías (XT, en μm) y sus orientaciones. Estas variables se registran semiautomáticamente con el software de acceso libre, ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>) (Schneider et al., 2012). La orientación se clasificó en intervalos de 45°: horizontal (H) (0°-22,5°; 157,5°-180°), vertical (V) (67,5°-112,5°), mesiodistal (MD) (Molares inferiores izquierdos/Molares superiores derechos [LL/UR]: 112,5°-157,5°; Molar superior izquierdo/ Molar inferior derecho [UL/LR]: 22,5°-67,5°); distomesial (DM) (Molar inferior izquierdo/Molar superior derecho [LL/UR]: 22,5°-67,5°; Molar superior izquierdo/Molar inferior derecho [UL/LR]: 112,5°-157,5°) (Pérez-Pérez et al., 1994). Los dos últimos dependen del lado del diente y de si es un molar mandibular o maxilar. Además, se calcularon dos índices: el número de estrías horizontales entre número total de estrías (NH/BTN), y el número de estrías verticales entre el número total de estrías (NV/BTN) (Lalueza-Fox et al., 1996) [Figura 5.8].

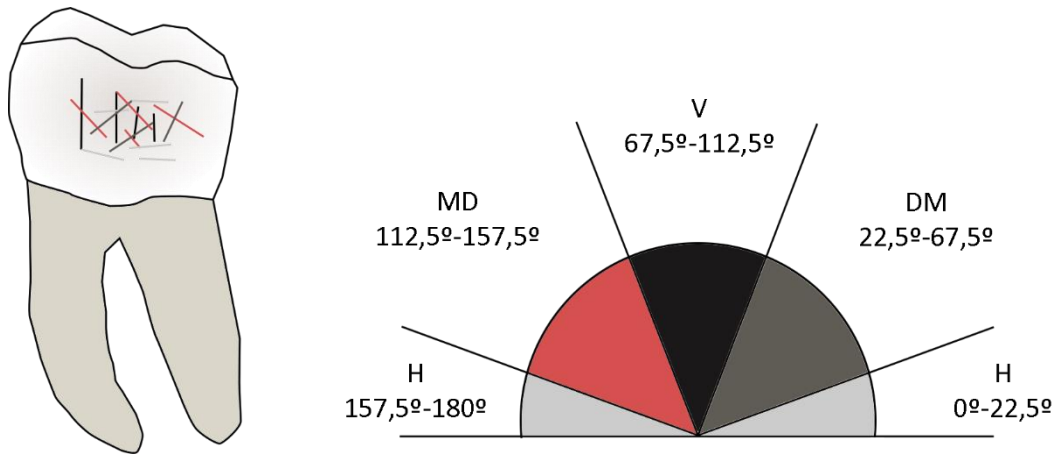


Figura 5.8 Esquema de la distribución de las estrías en la superficie bucal del diente dependiendo de su orientación, categorizadas en ángulos de 45°: horizontales (H), mesiodistales (MD), verticales (V) y distomesiales (DM). Imagen modificada de (Pérez-Pérez et al., 1994).

En el caso de las imágenes obtenidas de la superficie bucal con microscopía óptica, se aplicó el mismo procedimiento con la inclusión de una variable más, la anchura de las estrías (W). Esta variable usada en otros estudios de la superficie oclusal e incisal (Mahoney, 2007; Schmidt, 2001; Ungar, 1994) ha sido definida para la superficie bucal. En este sentido, de cada micrografía se decidió registrar la medición de la anchura (en μm) de las cinco estrías más anchas, para la obtención del valor medio. De esta manera, valores altos de esta variable reflejarían una superficie con estrías muy anchas, propia de dietas más abrasivas mientras que valores más bajos mostrarían una superficie con estrías más finas propias de dietas más refinadas.

A diferencia de la superficie bucal, la superficie oclusal se caracteriza por dos tipos de atributos de microdesgaste dental: estrías y agujeros (en inglés, *pits*) (Gordon, 1988; Ryan, 1979). Para la obtención de las variables en esta superficie, las estrías se definieron y midieron de la misma manera que en la superficie bucal, pero sin tener en cuenta las orientaciones, mientras que los *pits* se definen como rasgos con una relación longitud/anchura $\leq 4:1$. El número total de estrías (OTN) y su longitud media (OXT) en micrómetros (μm) se calcularon y midieron con el software libre ImageJ, además del número total de *pits* junto con su área.

Debido a la cuantificación semiautomática de ambas técnicas (SEM y OM) existe un ratio de error intrínseco inter- e intra- observador. En este sentido, para limitar el error

interobservador en este trabajo, una sola persona (RH) fue la responsable de la medición de todo el microdesgaste. Y, para comprobar la consistencia intraobservador en el análisis (Galbany et al., 2005; Grine et al., 2002), tres micrografías aleatorias se analizaron tres veces cada una debido a que si existían valores bajos de varianza en base a su desviación estándar se evidenciaba una limitada variación intraobservador en el análisis.

5.3.4. Análisis 3D de la Microtextura dental (DMTA) a través del Microscopio Láser Confocal

En el análisis 3D de la microtextura dental se observaron directamente las superficies de los dientes originales y cuando por motivos de tamaño (por ejemplo, mandíbulas completas) no fue posible su observación directa, los análisis se realizaron directamente de las impresiones de silicona (véase también, Bas et al., (2020); Mahoney et al., (2016); Ramdarshan et al., (2016)), evitando pasos previos y pérdida de resolución (Mihlbachler et al., 2019).

Los moldes de las superficies bucales y oclusales se observaron y midieron con un microscopio láser confocal Sensofar S Neox junto con el software SensoSCAN® 6.2 ubicado en las instalaciones del Centro *De la Préhistoire à l'Actuel: Culture, Environnement et Anthropologie* (PACEA) en la Universidad de Burdeos, Francia [Figura 5.9].

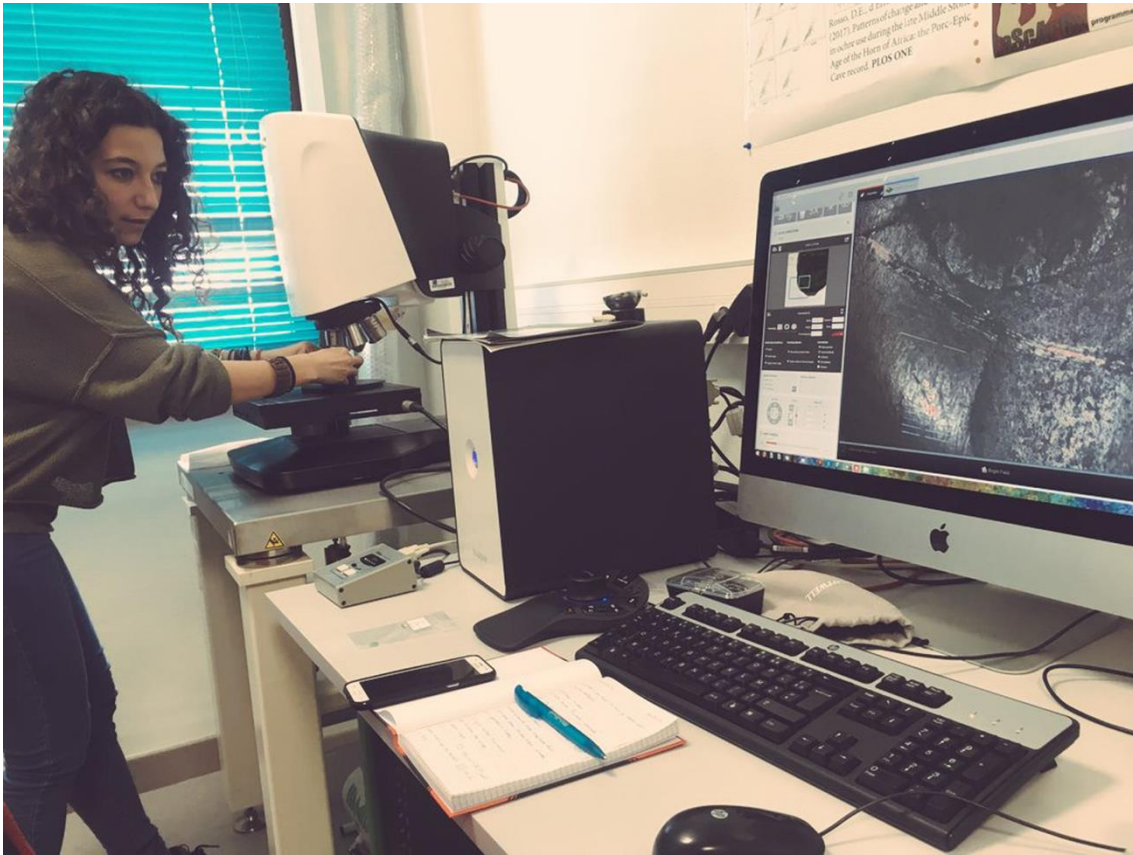


Figura 5.9 Microscopio láser confocal Sensofar S Neox junto con el software SensoSCAN® 6.2, ubicado en el PACEA (Universidad de Burdeos, Francia).

El análisis 3D de la microtextura en la superficie oclusal se estableció en la faceta 9 de cada segundo molar inferior izquierdo (Krueger et al., 2008; Scott et al., 2006). Mientras que la metodología utilizada para la superficie bucal se adaptó a partir de los protocolos desarrollados por (Scott et al., 2006; Ungar et al., 2003), centrándonos en el tercio medio de la superficie bucal (Aliaga-Martínez et al., 2017).

Los moldes de ambas superficies se colocaron lo más planos posible bajo el microscopio con una orientación estandarizada de cada diente y superficie. Las observaciones iniciales de observaciones se realizaron a 5 aumentos para localizar el área de interés en la faceta 9 o el tercio medio bucal (Schmidt et al., 2019). La adquisición del área seleccionada se estableció a 100x, correspondiente a un área de $332,3 \times 249,9 \mu\text{m}$ integrada en cuatro campos de visión (*scan*). El área de estudio fue recortada a $242 \times 182 \mu\text{m}$ para permitir comparaciones con los datos publicados previamente (por ejemplo, Schmidt et al., (2019, 2015); Williams et al., (2020)) y con el objetivo de mantener la equivalencia entre las superficies oclusal y bucal para la comparación en este estudio.

Las adquisiciones resultantes se trataron con un software de imagen y metrología de superficies denominado MountainsMap® (Digital Surf). A través de este software las anomalías identificables en las imágenes, tales como partículas de polvo adheridas y pequeños defectos pudieron ser eliminadas mediante la función *defect erasing*. Sin embargo, las superficies con excesivos daños postdeposicionales, que requerían una modificación mayor del 10% del total del área fueron directamente excluidas de los análisis estadísticos (Schmidt et al., 2019). En el caso de la observación de las impresiones de silicona, las imágenes fueron invertidas en relación al eje Z mediante la función *Mirror* incluida en el software SensoMap®.

Las nubes de puntos 3D obtenidas en el paso previo fueron procesadas con el software Toothfrax®, siguiendo el protocolo de análisis fractal sensible a escala o SSFA (en inglés, *Scale Sensitive Fractal Analysis*) (Scott et al., 2006; Ungar et al., 2003) para calcular automáticamente los parámetros de la complejidad (*Asfc*) y la anisotropía (*epLsar*). Nos centramos en estos dos parámetros SSFA para describir las superficies de microdesgaste, ya que estas variables suelen considerarse más útiles a la hora de discernir las diferencias de alimentación entre varios grupos (Schmidt et al., 2019; Scott et al., 2006, 2005).

La complejidad (*Asfc*, *Area-scale fractal complexity*), describe la rugosidad de la superficie a una escala determinada, es decir, indica la cantidad de cambios en el relieve de una superficie a diferentes escalas (Scott et al., 2006). En este sentido, superficies del esmalte dominadas por *pits* de varios tamaños y estrías superpuestas se correlacionan con altos niveles de complejidad [Figura 5.10]. Esto se atribuye generalmente a dietas abrasivas que incluyen la masticación de partículas duras (El-Zaatari, 2010) o a la erosión debido a los ácidos de la dieta (Hara et al., 2016; Krueger et al., 2021; Ranjitkar et al., 2017). Por el contrario, los valores de complejidad más bajos indican superficies más simples, generalmente se cree que provienen de dietas más blandas, más procesadas o menos cargadas de partículas contaminantes (Scott et al., 2005; Ungar and Sponheimer, 2011). El rango de valores de las poblaciones humanas oscila entre 1,0 y 2,0 (Mahoney et al., 2016; Schmidt et al., 2019, 2015).

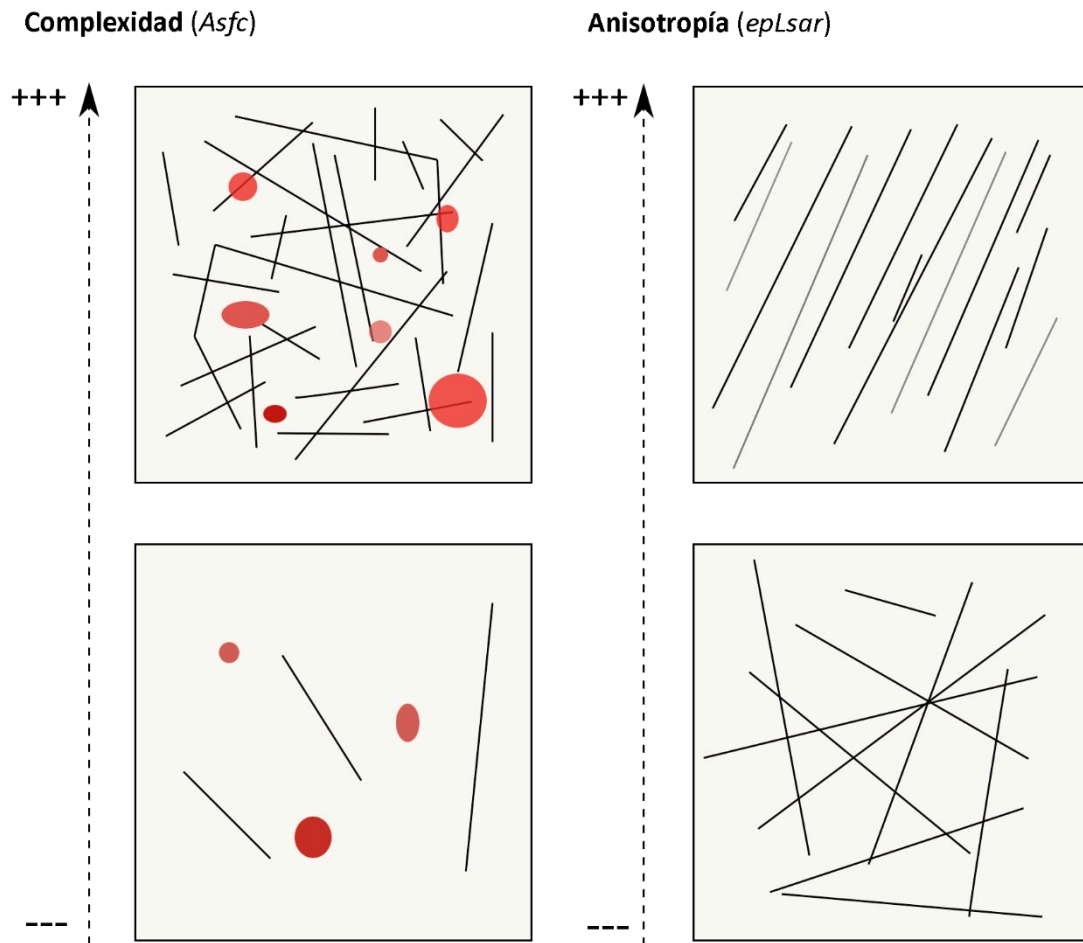


Figura 5.10 Representaciones esquemáticas de superficies con diferentes texturas dentales. Imagen adaptada de Scott et al (2006).

La anisotropía (*epLsar*, *exact proportion Length-scale anisotropy of relief*), documenta la direccionalidad de los rasgos a través de la superficie y está relacionada con los movimientos repetitivos de la mandíbula durante la masticación. De esta manera, representa los cambios producidos en la longitud relativa al variar la orientación de la observación. Por lo tanto, valores de anisotropía altos se caracterizan por una mayor varianza de los vectores normalizados de longitud relativa respecto a la orientación, esto se atribuye a la masticación de alimentos correosos y/o fibrosos (*tough foods*), que implican un tiempo más largo de masticación y por lo tanto, superficies dominadas por estrías paralelas (El-Zaatari, 2010; Schmidt et al., 2019; Scott et al., 2006) [Figura 5.10]. En los seres humanos, los valores de anisotropía tienden a oscilar entre 0,0005 y 0,0090 (El-Zaatari, 2010; Schmidt et al., 2019).

5.4. Superficies dentales mal conservadas

Junto a las características propias del microdesgaste dental existen otra serie de factores que pueden afectar al esmalte dental. En este sentido, es posible observar alteraciones del esmalte relacionadas con procesos tafonómicos *post-mortem* (King et al., 1999; Pérez-Pérez et al., 2017, 2003; Romero et al., 2012; Weber et al., 2021). En general, estos procesos *post-mortem* pueden discernirse claramente de los rasgos propios del microdesgaste dental (Galbany et al., 2004; King et al., 1999; Martínez and Pérez-Pérez, 2004). Por ello, en el presente estudio solo se estudiaron las superficies de esmalte bucales y oclusales bien preservadas.

Inevitablemente, esto conlleva la reducción de la muestra final tanto en técnicas microscópicas 2D como 3D, e independientemente del tipo de superficie considerada [Figura 5.11, Figura 5.12, Figura 5.13]. Diferentes estudios han mostrado reducciones del 30% o incluso más de la muestra inicial (Correia et al., 2020; Hernando et al., 2022b, 2020b; Krueger, 2016a; Martin et al., 2018; Teaford, 2007).

Además, se ha demostrado en estudios clínicos experimentales que existen otra serie de factores tanto *ante-mortem* como *post-mortem* (por ejemplo, los procesos químicos y erosivos) que tienden a borrar o distorsionar las características del microdesgaste dental (Hara et al., 2016; Krueger et al., 2021; Ranjitkar et al., 2017; Weber et al., 2022). Igualmente, factores como la suciedad del diente o fallos en el proceso de replicación de los originales pueden conllevar a la pérdida de muestra.

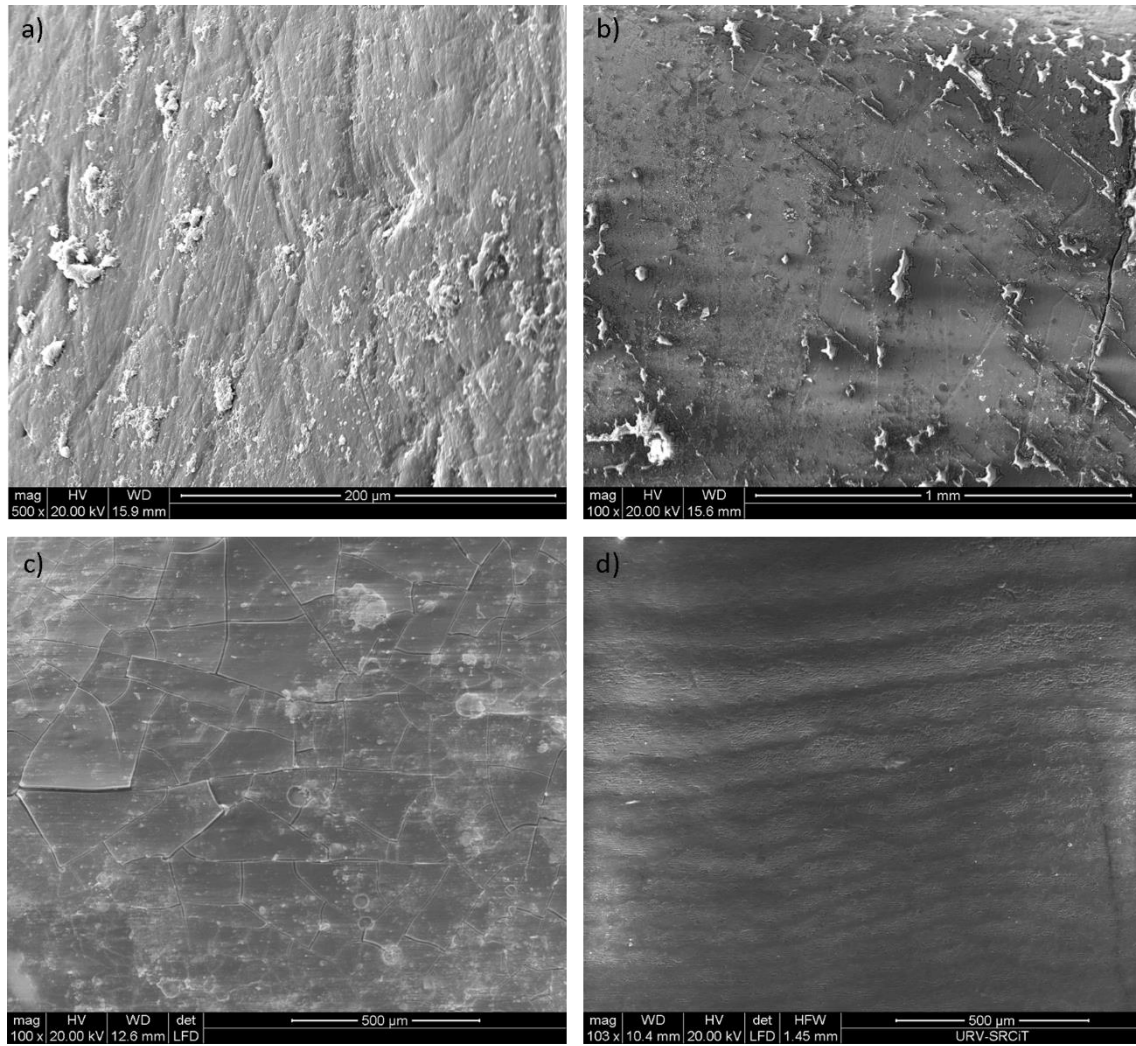


Figura 5.11 Imágenes obtenidas a través del microscopio electrónico de barrido de las superficies dentales no aptas para el estudio del microdesgaste dental: a) Superficie dental sucia; b) Réplica defectuosa; c) Daño postdeposicional: superficie craquelada y d) Superficie con periquimatis.

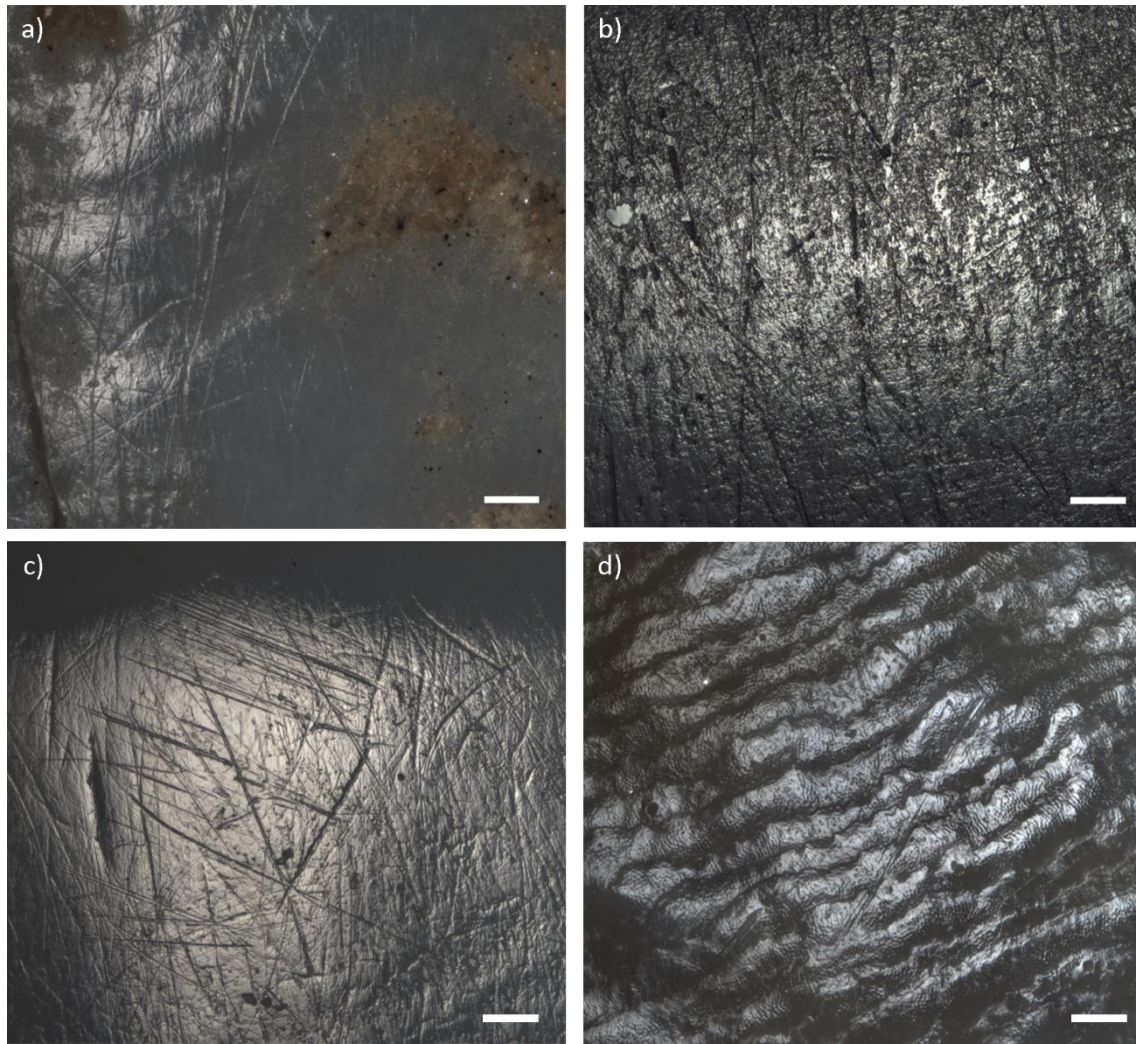


Figura 5.12 Imágenes obtenidas a través del microscopio óptico de las superficies dentales no aptas para el estudio del microdesgaste dental: a) Superficie dental sucia; b) Réplica defectuosa; c) Daño postdeposicional y d) Superficie con periquimatas. Escala 100 μ m.

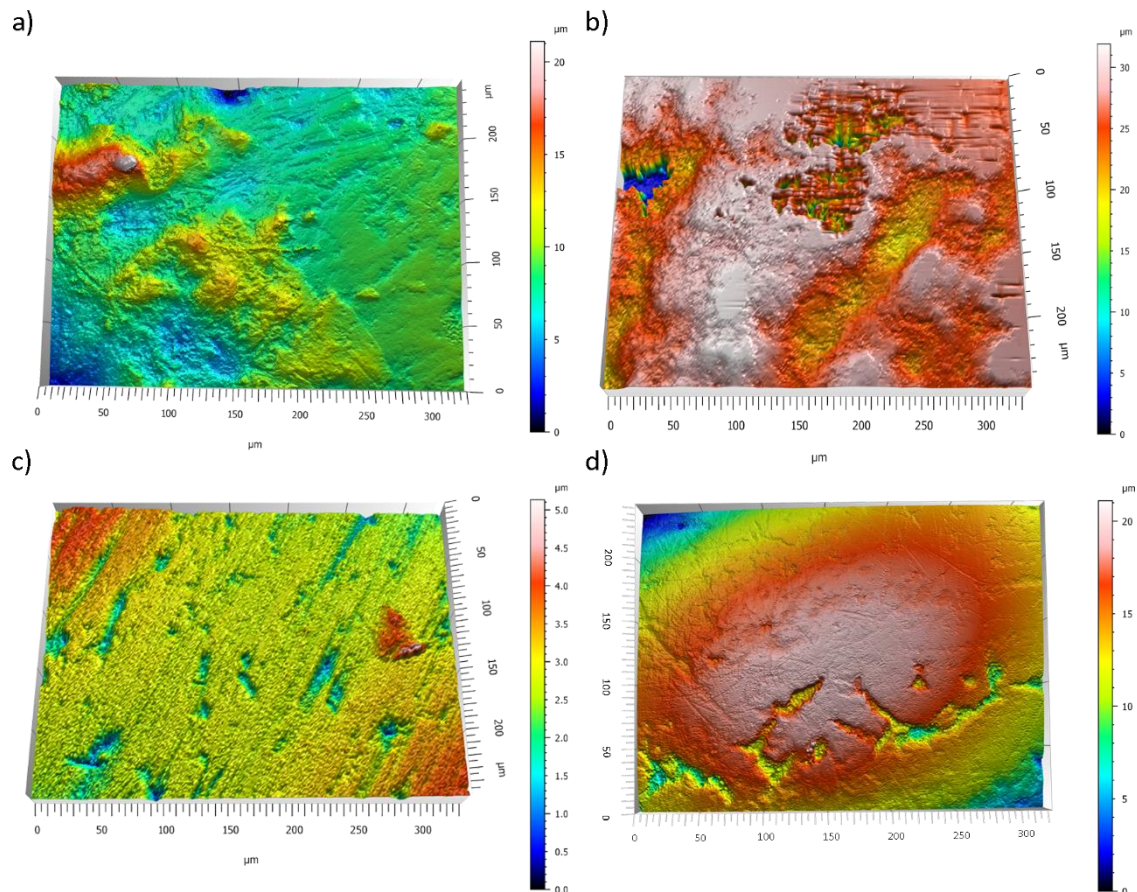


Figura 5.13 Imágenes obtenidas a través del microscopio láser confocal de las superficies dentales no aptas para el estudio del microdesgaste dental: a) Superficie dental sucia; b) Réplica defectuosa; c) Daño postdeposicional y d) Superficie con periimplantitis.

5.5. Procedimientos y análisis estadísticos

En función de cada problemática, los datos obtenidos han seguido diferentes procedimientos estadísticos. Todo el procedimiento estadístico se realizó con R (R Core Team, 2020), utilizando diferentes paquetes dependiendo del estudio (como, por ejemplo, los paquetes *blan*dr (Datta, 2017) y *ggplot2* (Wickham, 2016). En todos los casos, se han llevado a cabo análisis exploratorios con el fin de evaluar la normalidad de la distribución de los datos (Shapiro-Wilk).

Para la evaluación estadística de los grupos arqueológicos se han empleado test de comparación estadísticos dependiendo del carácter paramétrico o no paramétrico de la distribución, del tamaño del conjunto de datos y de los grupos comparados. Así pues, se ha usado el test Kruskal-Wallis (X^2) para determinar si las medianas de varios grupos

difieren cuando los datos no se distribuyen paramétricamente. Mientras que para la comparación entre dos grupos no paramétricos se usó el test U Mann-Whitney (p). Con el objetivo de poder identificar entre qué grupos se encuentran las diferencias significativas, se realizaron los test *posthoc* Dunn con el ajuste de Holm. Además, se aplicaron pruebas estadísticas adicionales a los datos, como el Análisis de Componentes Principales (PCA, en inglés, *Principal Component Analysis*), para identificar diferencias y/o similitudes entre los diferentes grupos en base a las variables analizadas.

En este sentido, cuando tratamos con tamaños muestrales pequeños optamos por seguir las recomendaciones de Smith (2018) centrándonos en la comparación de las tendencias centrales de las variables junto con herramientas de visualización (*boxplots*), dejando de lado las pruebas estadísticas de hipótesis nula, como el *p-valor* (Smith, 2018).

En el caso comparativo de diferentes técnicas microscópicas (SEM versus OM), evaluamos las diferencias entre microscopios calculando la estadística descriptiva junto con una nueva variable que calcula el error medio absoluto (%MAE), evaluando la precisión de las estimaciones. Posteriormente, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para evaluar la correlación entre los datos registrados con el OM y los datos recogidos con el SEM. Si bien la correlación es informativa de la consistencia de la relación entre dos variables, no significa que estén de acuerdo, ni que no significa que ambos métodos sean intercambiables. Para evaluar la concordancia entre el MEB y la cuantificación de características de la OM hemos aplicado el análisis de Bland - Altman (Bland and Altman, 1999, 1986). Este método consiste en la representación gráfica de la diferencia entre las dos mediciones (eje Y) y su media (eje X). Las observaciones se representan junto con la diferencia media (o sesgo), que refleja la desviación media de la concordancia perfecta entre métodos (un valor de 0).

Por último, para la comparación de diferentes superficies dentales a través de DMTA, se realizaron regresiones de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS, *Ordinary Least Squares regressions*) con intervalos de confianza al 95%. Además, se utilizaron correlaciones de Spearman para explorar la relación entre las diferentes variables y superficies. Dada la dificultad de obtener grandes conjuntos de datos de textura de microdesgaste en contextos bioarqueológicos por diferentes factores se decidió utilizar el método de

remuestreo bootstrap para comparar las variables entre las superficies, permitiendo calcular las distribuciones de probabilidad mediante el remuestreo (500 veces) de los datos originales sin ninguna suposición de la distribución de los datos originales. Esto nos permite sacar conclusiones estadísticas mediante una estimación mejorada de las distribuciones de muestreo que pueden no ser evidentes con los datos originales.

5.6. Open data

Una de las limitaciones de nuestro estudio ha sido la comparativa de los datos con otros conjuntos debido a la falta de bases de datos completas en acceso libre e imágenes obtenidas de los diferentes microscopios. Con el fin de crear un marco de referencia para futuras investigaciones nuestras bases de datos completas están disponibles en un repositorio abierto junto con todas las micrografías obtenidas con el microscopio óptico de la muestra arqueológica analizada [Anexo I: Micrografías OM; Anexo II: Datos de microdesgaste dental].

6. RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados obtenidos de los trabajos realizados en la presente Tesis Doctoral. Los objetivos han sido abordados en las siguientes cuatro publicaciones científicas y un trabajo inédito en preparación.

En el primer bloque se tratarán los resultados obtenidos de la sección metodológica mientras que en el segundo bloque se van a exponer los resultados de la aplicación metodológica para la determinación del patrón de microdesgaste dental de los grupos arqueológicos seleccionados.

6.1. Resultados metodológicos

En esta sección se van a presentar los resultados obtenidos de las cuestiones metodológicas. En primer lugar, se van a tratar los resultados obtenidos del desarrollo de la metodología alternativa con el microscopio óptico a altos aumentos. Estos resultados han sido publicados en la revista científica indexada *Quaternary International*. Mientras que la segunda parte, centrada en la combinación de las superficies oclusal y bucal en un mismo individuo mediante del análisis 3D de la microtextura dental (DMTA), ha sido publicada en la revista científica indexada *American Journal of Biological Anthropology*.

Artículo 1: Hernando, R., Fernández-Marchena, J. L., Willman, J. C., Ollé, A., Vergès, J. M., & Lozano, M. (2020). Exploring the utility of optical microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear. *Quaternary International*, 569, 5-14. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.05.022.

Artículo 2: Hernando, R., Willman, J. C., Souron, A., Cebrià, A., Oms, F. X., Morales, J. I., & Lozano, M. (2022). What about the buccal surfaces? Dental microwear texture analysis of buccal and occlusal surfaces refines paleodietary reconstructions. *American Journal of Biological Anthropology*, 178(2), 347-359. DOI: 10.1002/ajpa.24509.

6.1.1. Comparación de la microscopía óptica a altos aumentos con la microscopía electrónica de barrido para la cuantificación del microdesgaste dental

El estudio de la dieta mediante el microdesgaste dental es una línea de investigación con una larga trayectoria y en constante evolución. A lo largo de los años, se han producido cambios sustanciales en las metodologías y tecnologías utilizadas para observar y cuantificar el microdesgaste. Los primeros estudios de microdesgaste fueron llevados a cabo con microscopía óptica, que posteriormente fue sustituida por la microscopía electrónica de barrido. Actualmente, estos estudios se han visto eclipsados por la microscopía láser confocal y el análisis 3D de la microtextura dental. Sin embargo, el microscopio electrónico de barrido sigue siendo el método más utilizado para la caracterización del microdesgaste bucal. En los últimos años se han producido una serie de mejoras tecnológicas con la microscopía óptica que, junto al bajo coste y el sencillo mantenimiento de la misma, nos ha llevado a explorar la utilidad del microscopio óptico a altos aumentos (100x) para la adquisición de datos de microdesgaste bucal en comparación con la metodología con el SEM. Se analizó una muestra de 18 dientes humanos (originales y réplicas) utilizando tanto la OM y el SEM, obteniendo micrografías en el mismo punto de la superficie bucal con ambos microscopios. Los resultados muestran que se observa un mayor número de estrías utilizando la OM que cuando se analiza la misma superficie con SEM. Sin embargo, la tendencia de recuento central es similar con ambas técnicas. Por lo tanto, podemos concluir que la OM es un método efectivo, consistente y fácil de usar que proporciona una buena resolución de imagen junto con una serie de ventajas económicas y técnicas.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Quaternary International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quaint



Exploring the utility of optical microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear



Raquel Hernando^{a,b,*}, Juan Luis Fernández-Marchena^c, John C. Willman^{d,b,a}, Andreu Ollé^{b,a},
Josep Maria Vergès^{b,a}, Marina Lozano^{b,a}

^a Universitat Rovira i Virgili, Departament d'Història i Història de l'Art, Avinguda de Catalunya 35, 43002, Tarragona, Spain

^b Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007, Tarragona, Spain

^c Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Secció de Prehistòria i Arqueologia, Departament d'Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona. C/ Montalegre 6-8, 08001, Barcelona, Spain

^d Laboratory of Prehistory, CIAS – Research Centre for Anthropology and Health, Department of Life Sciences, University of Coimbra, 3000-456, Coimbra, Portugal

ARTICLE INFO

Keywords:

Scanning electron microscopy
Optical microscopy
Dental microwear

ABSTRACT

Dental microwear has been used for the reconstruction of diet for decades, and given its long history, substantial changes in the methodologies and technologies used to observe and quantify microwear have occurred. For instance, early work on microwear used optical microscopy (OM), before being largely replaced by scanning electron microscopy (SEM). More recently, SEM-based studies have been overshadowed by confocal microscopy and dental microwear texture analysis. However, SEM is still the preferred method of data acquisition for buccal microwear analysis and significant improvements in OM have also occurred in recent years – particularly with the development of continuous focus systems for OM. Given the low-cost and simple upkeep of OM compared to SEM, this study seeks to explore the utility of OM for buccal microwear data acquisition compared to the methods established using SEM. A sample of 18 human teeth (originals and casts) were analyzed using both OM and SEM. Results show that more striations are observed using OM than when analyzing the same surface with SEM. However, the central counting trend is similar with both techniques. We can therefore conclude that OM is a consistent and user-friendly method that provides good image resolution together with a series of economic and technical advantages.

1. Introduction

Dental microwear has a long history of use as a method for paleo-dietary analysis. Dental microwear features are generally quantified using buccal or occlusal enamel surfaces (although microwear also occurs on dentin), and are produced by the contact of the teeth with particles during the chewing cycle and/or tooth-to-tooth contact depending on the surface of the teeth observed (Puech, 1979; Gordon, 1988; Teaford and Lytle, 1996).

The earliest studies of human dental microwear were done with optical microscopes (Dahlberg and Kinzey, 1962). However, these optical means were soon replaced by more accurate technologies, which increased the depth of field and removed out of focus areas using high vacuum scanning electron microscopy (SEM) (Gordon, 1988; Pérez-Pérez et al., 1994; Teaford and Lytle, 1996; Romero et al., 2004), or low vacuum SEM (García-González et al., 2015, 2018; Hernando et al., 2020). A more recent technological and methodological advance came

from the use of white light confocal microscopy in conjunction with scale-sensitive fractal analysis for dental microwear texture analysis (DMTA) on occlusal surfaces (Ungar et al., 2003; Scott et al., 2006; Schmidt et al., 2015, 2019; Krueger, 2016). The use of stereo light microscopy for the study of non-human primates and other mammalian dental microwear developed in parallel to these methodologies, and is widely adopted as a more standardized and accessible method compared to SEM (Solounias and Semprebon, 2002; Semprebon et al., 2004; Mühlbachler and Beatty, 2012; Rivals, 2015; Belmaker, 2018).

Early studies examined microwear for dietary reconstruction with optical microscopy (OM) used a qualitative classification of features defined as “scratched”, “pitted”, or “polished” surfaces (Dahlberg and Kinzey, 1962; Teaford, 1988; Ungar, 2018). The replacement of the OM by SEM was due to a series of limitations that included limited depth of field, problems with shiny enamel surfaces, and resolution. That, together with the curved surface of the teeth, made it very difficult to analyze the microwear on dental surfaces with OM since much of the

* Corresponding author. Universitat Rovira i Virgili, Departament d'Història i Història de l'Art, Avinguda de Catalunya 35, 43002, Tarragona, Spain.
E-mail address: r.hernando90@gmail.com (R. Hernando).

<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.022>

Received 14 February 2020; Received in revised form 6 May 2020; Accepted 9 May 2020

Available online 29 May 2020

1040-6182/ © 2020 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

field of view was out of focus and only narrow bands were visible (Brothwell, 1969; Olsen, 1988; Ungar et al., 2008; Romero and Juan, 2012; Krueger, 2016; Ungar, 2018). This is a common problem, also described by some lithic use-wear analysts, created by a limited depth of field that can generate optical effects during the focus time, which results in non-existent, “phantom” lines that can be wrongly interpreted as striations (González-Urquijo and Ibáñez Estévez, 1994, p. 59; Borel et al., 2014, p. 50).

A recent synthesis encouraged the integration of the research specialization known as “traceology” (the study of the microwear on the surfaces of artifacts (Keeley, 1980)), and dental microwear studies (Calandra et al., 2019). The common objective of both approaches is the observation of wear traces, and some methodological crossover also exists. However, traceology has continued to use, and adopt technological improvements, in OM whereas dental microwear studies have largely moved away from OM. We suggest that there is an untapped potential for interdisciplinary cross-fertilization between dental microwear studies and traceology. With this in mind, we aim to evaluate the applicability of optical microscopy for buccal dental microwear analysis, following the standardized traceology protocols that were established in parallel with recent developments in OM technology and software. In this study, we test OM against established SEM procedures for buccal microwear analysis.

2. Material

The sample analyzed consists of 18 humans molars, selected from different Holocene sites from Iberian Peninsula: El Mirador Cave (4550-4390 cal. BP; 4880-4480 cal. BP) (Vergès et al., 2016), Galls Carboners (3620-3460 cal. BP) (Vergès et al., 2017), Cova de la Guineu (4820-4454 cal. BP; 5040-4865 cal. BP) (Oms et al., 2016), and Mas del Trader (3930-3690 cal. BP; 4040-3840 cal. BP) (Cebrià et al., 2017) (Table 1). The 18 molars were chosen not for the sake of paleodietary reconstruction but to test the utility of OM versus SEM buccal microwear analysis. We used individual teeth from a combination of sites and chronologies that were available to us for study to foster internal variability within this exploratory dataset.

Lower molars were preferably chosen, but without discriminating the side of the mandible. A further level of variability was added by assessing buccal microwear in original teeth as well as on the surfaces of high-resolution epoxy casts. The reflective properties of enamel were an initial limiting factor when OM was employed in the earliest microwear analyses (Brothwell, 1969; Olsen, 1988). As a result, researchers began molding and casting teeth to safely analyze them under

high-vacuum conditions with standard SEM. Likewise, whole mandibles and crania are too large for many SEM chambers, which also encouraged the analysis of individual epoxy casts. Here, we are interested in understanding whether original teeth or casts are suitable for analysis with optical microscopes. Low vacuum SEM is especially useful for uncoated samples, which allows researchers to observe not only dental casts but also original teeth in comparison to high vacuum SEM which requires conductive sputter coating of samples. Non-conductive samples can be analyzed under low vacuum SEM conditions due to the presence of gas inside the chamber with more pressure than high vacuum SEM (Ipohorski and Bozzano, 2013).

3. Methodology

3.1. Prior to microscope analysis

Original teeth were gently cleaned first with acetone and a cotton swab to remove adherent grit, dust, or adhesive residues and wiped clean with alcohol (Galbany et al., 2004, 2006). Polyvinylsiloxane (Coltène President Plus Jet light body) was used to create molds of the original tooth surfaces. Epoxy (Epo-Tek 301, Epoxy Technology, Inc) was used produce high resolution casts from the molds. Casts were sputter coated with ~25 nm gold layer, and an aluminum strip was used to connect the cast and the stub to facilitate the conduction of electrons over the surface (Galbany et al., 2004, 2006).

3.2. Buccal dental microwear using low and high vacuum SEM

Low and high vacuum SEM was accomplished using an Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) Fei Quanta 600, located in the Scientific and Technical Resources Service of the Rovira i Virgili University (Tarragona, Spain). It is worth noting that the equipment was never used strictly speaking as an ESEM, that is, in environmental conditions. Instead, we made use of both low (original teeth) and high vacuum modes (coated casts). Different detectors can be used: Secondary electron detectors (Everhart Thornley Detector -ETD- when working at high vacuum, and Large Field Detector -LFD- when working at low vacuum), and Backscattered electrons (dual BSE in both modes). Both types of detectors perfectly work with original teeth, but for the cast there is few sense resorting to the BSE, as it forms the image mainly basing on the chemical nature of the sample, which in a cast has little sense. So, to minimize control for potential variation introduced by specific SEM parameters, we consistently used Secondary electron detectors (SE) for all SEM analyses.

Table 1

Teeth analyzed from different sites of the Iberian Peninsula. Abbreviations for tooth types correspond to jaw (upper or lower: U or L), side (left or right: L or R), and position in tooth row (first or second: 1 or 2).

Site	Chronology	Specimen	Material	Tooth	Observation
Cova de la Guineu	Late Neolithic	5	Original	LLM2	Buccal microwear
Cova de la Guineu	Late Neolithic	9	Original	LLM2	Buccal microwear
Cova de la Guineu	Late Neolithic	15	Original	LLM2	Buccal microwear
Cova de la Guineu	Late Neolithic	40	Original	LLM2	Buccal microwear
Cova de la Guineu	Late Neolithic	55	Original	LLM2	Buccal microwear
Cova de la Guineu	Late Neolithic	343	Original	LLM2	Buccal microwear
Cova de la Guineu	Late Neolithic	555	Original	LLM2	Buccal microwear
El Mirador Cave	Chalcolithic	3	Cast	LLM2	Buccal microwear
El Mirador Cave	Chalcolithic	10	Cast	LLM1	Buccal microwear
El Mirador Cave	Chalcolithic	10	Cast	LLM2	Buccal microwear
El Mirador Cave	Chalcolithic	17	Cast	LRM2	Buccal microwear
El Mirador Cave	Chalcolithic	20	Cast	LRM1	Buccal microwear
Galls Carboners	Middle Bronze Age	8	Original	ULM1	Buccal microwear
Galls Carboners	Middle Bronze Age	14	Original	LRM1	Buccal microwear
Galls Carboners	Middle Bronze Age	220	Original	LRM2	Buccal microwear
Galls Carboners	Middle Bronze Age	235	Original	LRM2	Erosive damage
Galls Carboners	Middle Bronze Age	217	Original	LRM2	Perikymata
Mas Trader Cave	Chalcolithic	197	Original	LRM2	Buccal microwear

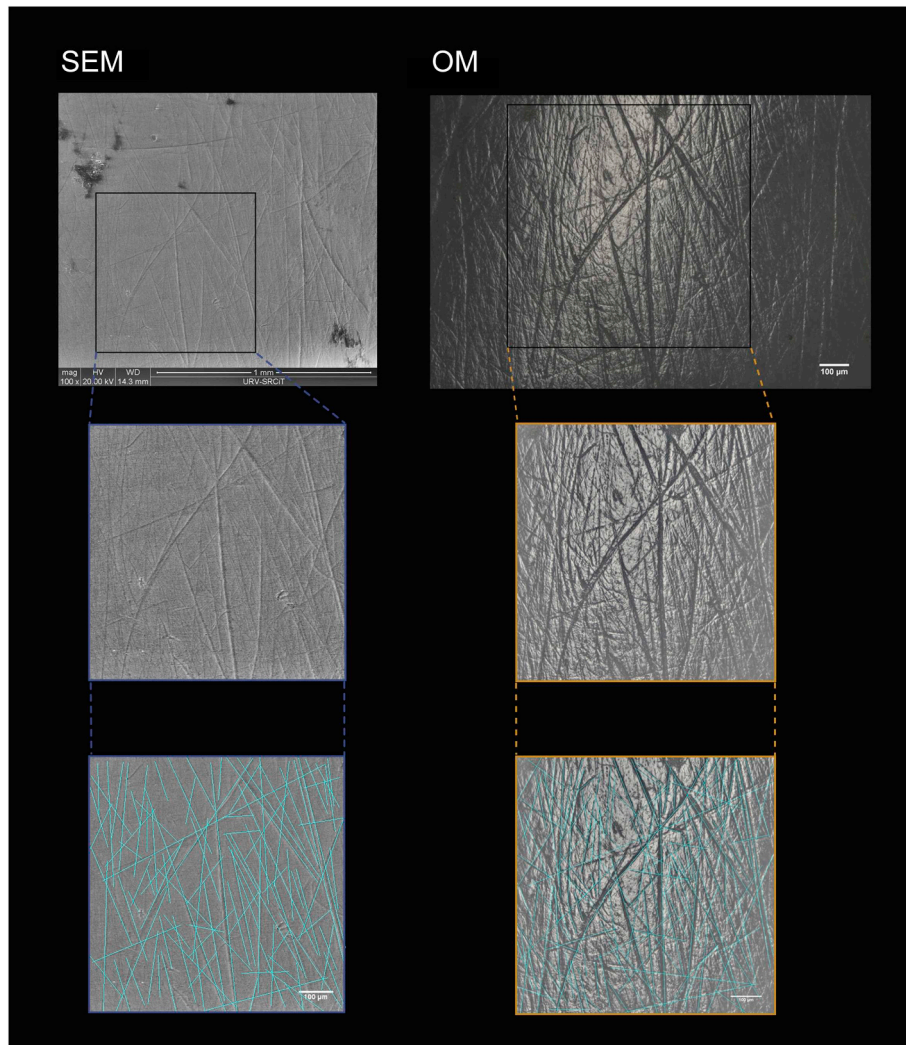


Fig. 1. Microwear methodology with the different microscopes (SEM and OM). SEM magnifications are 100x in the multiple screen mode (horizontal field of view: 1490 µm), OM magnifications are 100x (horizontal field of view: 1467 µm) with 10x lens.

Previous studies of dental microwear with SEM showed fewer striations, especially those parallel arranged with respect to the detector alignment, due to the use of a BSE. Thus, SE are highly recommended because they create more reliable pictures for analysis despite not maximizing the relief of microscopic features (Galbany et al., 2004).

Following the methodology of Pérez-Pérez et al., (1994; Galbany et al., 2006), original archaeological molars were placed inside the SEM chamber under low vacuum using fixed parameters of 20 kV of acceleration voltage, and 4.5 spot size. The same parameters were used for the epoxy dental casts, but in high vacuum mode, since there is no risk of damaging casts, and the absence of oxygen in the chamber and the gold-coated samples favor the bouncing electrons more effectively (Goldstein et al., 1992; Borel et al., 2014). The micrographs were taken at 100x in the multiple screen mode, with a horizontal field of view of 1490 µm, and image capture set at a resolution of 1024 x 884 pixel. Each micrograph was centered on the middle third of the buccal surface (Pérez-Pérez et al., 1994).

3.3. Buccal microwear through the reflected light microscope

A ZEISS Axioscope A1 optical microscope equipped with a Differential Interference Contrast system (DIC) and a Nomarski prism was used. Two Epiplan lenses were used: a 5x/0.13 and a 10x/0.20 (Ollé et al., 2016). The camera used with the OM is a 6.3 MP Color

Blackfly S USB 3.0 Camera, 1/1.8", FLIR, and the software used to control image acquisition is Kivy Capture MIC Z. We used Helicon Focus 5.3 (Plisson and Zotkina, 2015), with the pyramidal mounting method C, since it eliminates common image aberrations (e.g., “halos”) that form when working with highly reflective materials – which in our case consist of enamel surfaces of original teeth, epoxy casts, and gold coated epoxy casts.

With the OM, the parameters were adjusted working with the bright field prisma and using 100x magnification (10x objective plus 10x oculars), as done with the SEM in the multiple screen mode.

3.4. Image processing and cropping

Previous studies noticed that there is not a direct equivalence in the magnification of the pictures taken with different kinds of microscopes, or even in the microscope cameras themselves. This is due in part to differences between the cameras associated with various microscopes and the variable field of view that they record (Martín-Viveros and Ollé, 2020). Therefore, besides reporting the original magnification, the critical information needed to allow comparison between images obtained with different microscopes is the inclusion of a scale bar and/or a reference to the horizontal field of view (Borel et al., 2014; Fernández-Marchena et al., 2018; Willman et al., 2020).

Some researchers have shown the difficulties of selecting

Table 2

Statistical comparison of the central tendencies of the variables (Mean error, Mean absolute error, % of mean increase and of mean absolute error (%MAE)); and statistical test for each variable (Test U Mann Whitney and Pearson's *r*). Bold numbers are indicating significance.

Variable	Total Mean SEM	Total Mean OM	Mean error	Mean absolute error	% Mean increase	% MAE	Test U Mann Whitney	Pearson's <i>r</i>
TN	94.00	110.12	16.12	16.87	17.50%	17.95%	U = 62.5; p = 0.014	0.708; p = 0.002
DM	17.31	20.06	2.75	4.12	15.88%	25.18%	U = 103; p = 0.355	0.884; p < 0.000
MD	21.00	25.18	4.18	7.93	19.94%	37.80%	U = 94; p = 0.206	0.647; p = 0.007
V	50.31	53.31	3.00	6.37	5.96%	12.67%	U = 106.5; p = 0.428	0.725; p = 0.001
H	5.31	11.56	6.25	6.25	117.65%	117.65%	U = 51; p = 0.003	0.818; p < 0.000
NH/TN	0.05	0.11	0.05	0.05	94.40%	95.01%	U = 59; p = 0.009	0.784; p < 0.000
NV/TN	0.54	0.48	0.05	0.07	0.05%	0.07%	U = 97; p = 0.250	0.770; p < 0.000

homologous locations on the buccal enamel of different teeth (Galbany et al., 2004; Romero et al., 2012). However, we were able to select and photograph the same area on the same teeth using the SEM and OM in the present study (see supplementary figures). Considering the field of view of the screens of both microscopes, the images obtained from both microscopes were compared. Knowing that a 100x micrograph taken with SEM (FEI Quanta 600) in the multiple screen mode offers a horizontal field of view of 1490 μm whereas 100x micrograph with OM (Zeiss Axioscope) is 1464 μm (Fig. 1) (Borel et al., 2014; Fernández-Marchena et al., 2018; Martín-Viveros and Ollé, 2020), we were able to check how effectively we could find the same features in both images. This means that with the reference of the scale bar, the same area in both microscopes can be selected (Fig. 1).

After image acquisition with both microscopes, the contrast was enhanced (Galbany et al., 2004) using open-access image manipulation

software, GIMP (<https://gimp.es/>), and the images were cropped to an area of 0.56 mm² (Pérez-Pérez et al., 1994). The total number of striations (TN), average striation's length (X, in μm) and their orientations of each striation on the teeth were recorded with the open-access software, ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>) (Fig. 1). Orientation was classified in 45° intervals: horizontal (H) (0°-22.5°; 157.5°-180°), vertical (V) (67.5°-112.5°), mesiodistal (MD) (Lower Left Molar/Upper Right Molar [LL/UR]: 112.5°-157.5°; Upper Left Molar/Lower Right Molar [UL/LR]: 22.5°-67.5°); distomesial (DM) (Lower Left Molar/Upper Right Molar [LL/UR]: 22.5°-67.5°; Upper Left Molar/Lower Right Molar [UL/LR]: 112.5°-157.5°) (Pérez-Pérez et al., 1994). The last two depend on the side of the tooth and if it is a mandibular or maxillary tooth. Two indexes were calculated: the number of horizontal striations/total number of striations (NH/TN), and the number of vertical striations/total number of striations (NV/TN) (Lalueza et al.,

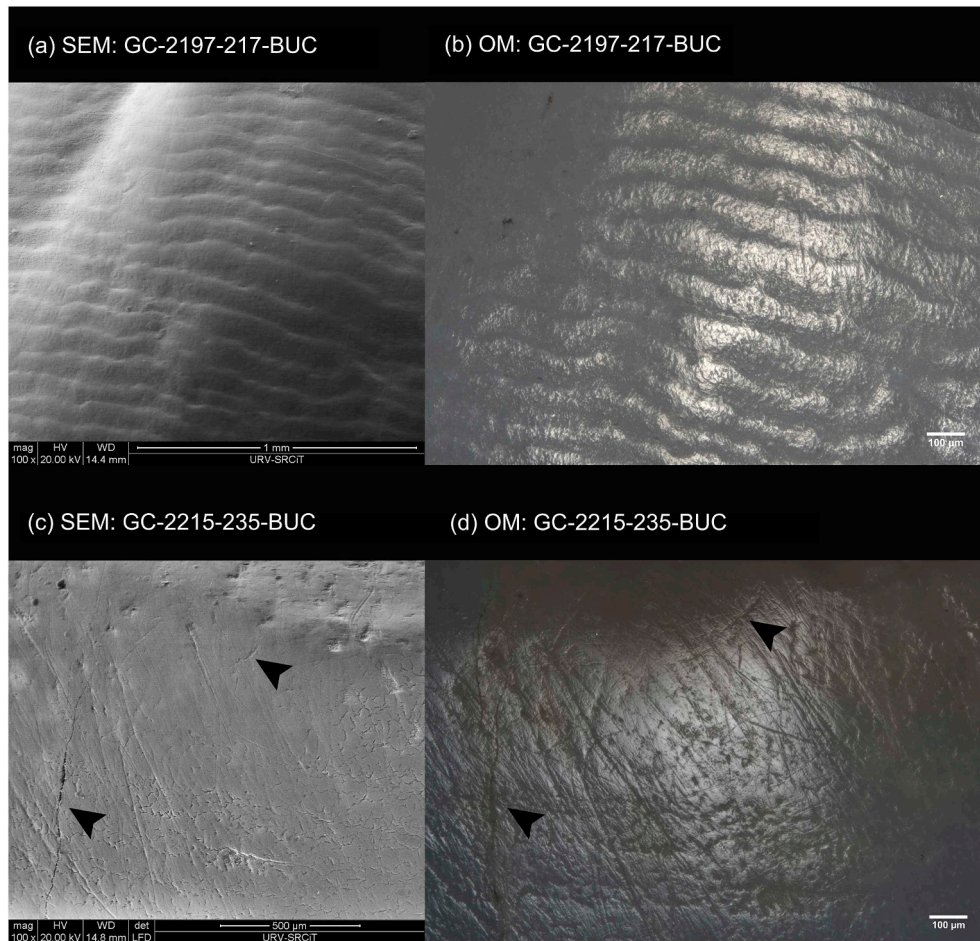


Fig. 2. Images not suitable for dental microwear studies. Images (a) and (b) shows the perikymata with the different microscopes for GC-217 individual. Images (c) and (d) shows the eroded surface damage for GC-235 with both microscopes (Black arrows point at enamel crack). SEM magnifications were 100x in the multiple screen mode (horizontal field of view: 1490 μm), OM magnifications were 100x (horizontal field of view: 1467 μm) with 10x lens.

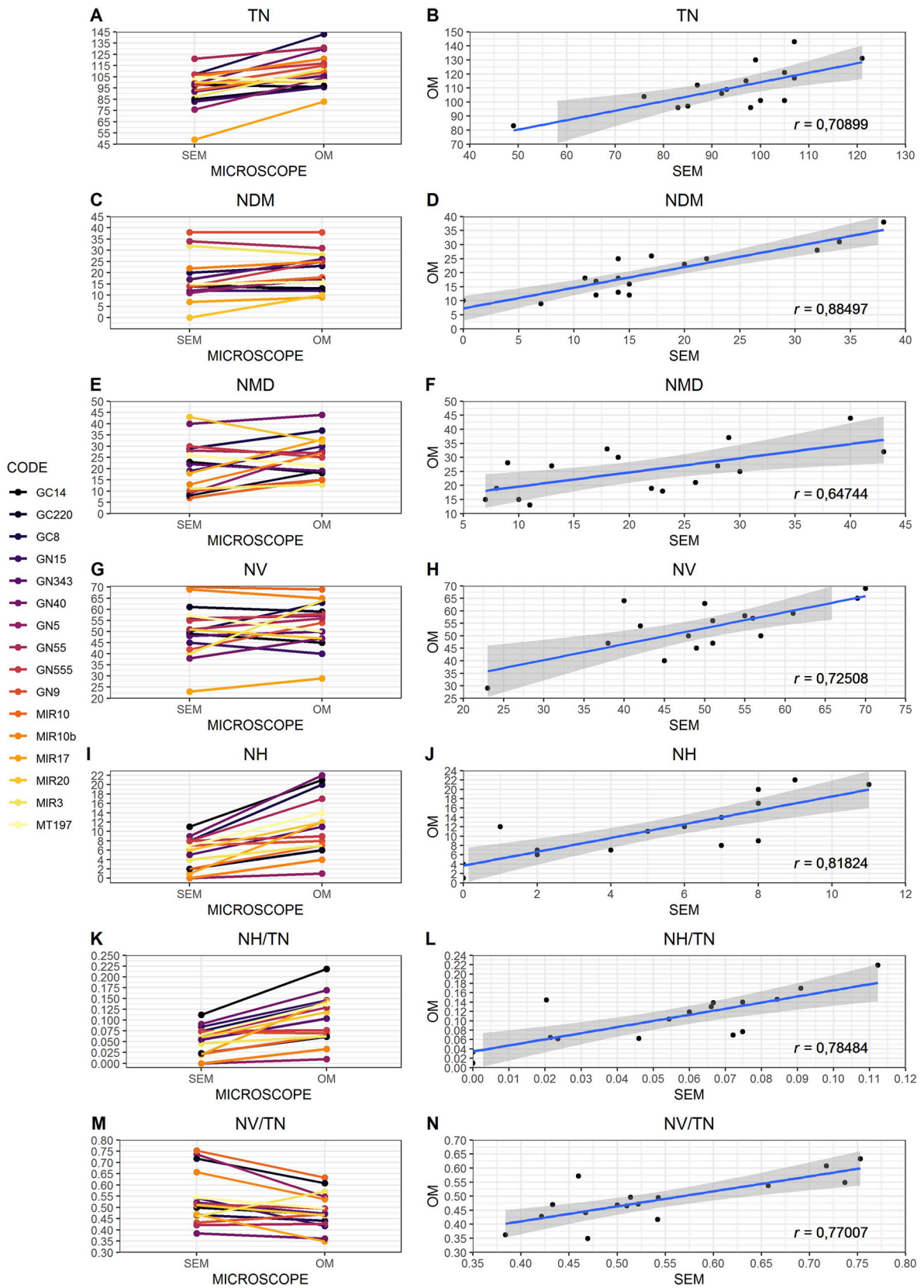


Fig. 3. Different variables recorded (TN, number of striations; NDM, number of distomesial striations; NMD, Number of mesiodistal striations; NH, number of horizontal; NV, number of verticals; NH/TN, horizontal index and NV/TN, vertical index) by individual with each microscopes (SEM and OM) and their respective Coefficient of correlation (Pearson's r).

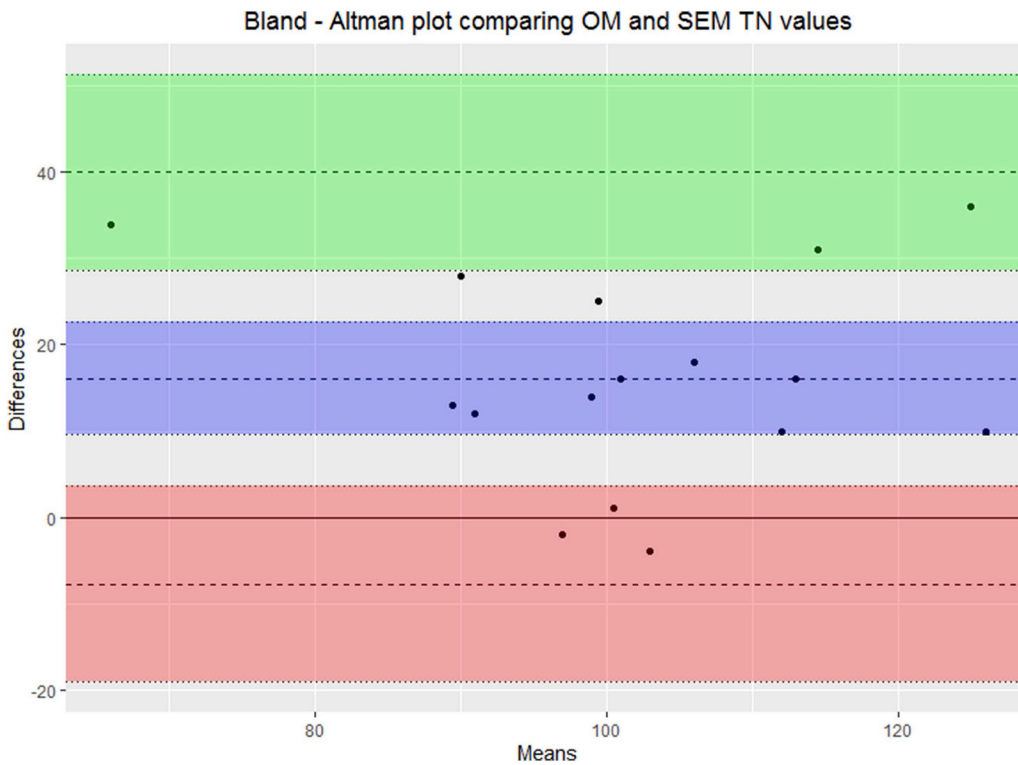


Fig. 4. Bland – Altman plot comparing OM and SEM TN values. Data points represent the comparison of the difference between the OM and the SEM TN (Y axis) and the mean value of the OM and the SEM TN for each tooth (X axis). The value 0 on differences (straight line) represents perfect agreement, the central dashed line represents the bias, and the upper and lower dashed lines represent the limits of agreement. The blue region represent the confidence interval of the bias, the green region the confidence interval of the upper limit of agreement, and the red region the confidence interval of the lower limit of agreement. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

1996). Fig. 1 shows the comparison of the teeth with the different microscopes and their posterior count.

3.5. Data analysis

From the 18 samples selected for this study, two of them show *ante-* and *post-mortem* damage that impedes the quantification of microwear, but this damage was still documented for reference (Fig. 2). The other 16 samples were used for the quantification of microwear and the comparison of the performance of each microscope. The small sample size ($n = 16$) requires the use of non-parametric tests (U Mann-Whitney) for the inter-microscope results comparison of all variables.

The statistical comparison of the central tendencies of the variables, we also evaluated the differences between microscopes by calculating the error (difference between the value recorded with OM and SEM on each tooth), the average error (the median of the errors for each microscope), the percentage of average increase (what percentage of the mean value of a variable on the SEM does the average error represent), the absolute error (considering each error as a positive value), the mean absolute error (mean of the absolute errors for each microscope), and the percentage of mean absolute error (%MAE: what percentage of the mean value of a variable on the SEM does the mean absolute error represents, that is, the magnitude of the absolute deviation between counts in relative terms).

We used Pearson's correlation coefficient (r) to evaluate the correlation between the data recorded with the OM and the data collected with the SEM. While correlation is informative of the consistency of the relation between two variables, it does not mean agreement, and it does not mean that both methods are interchangeable. In order to evaluate the agreement between SEM and OM feature quantification we have applied the Bland – Altman analysis (Bland and Altman, 1986, 1999). This method consists on the graphical representation of the difference between the two measurements (Y axis) and their mean (X axis). Observations are plotted together with the mean difference (or bias), that reflects the mean deviation from the perfect agreement between methods (a value of 0). The limits of agreement are defined as ± 1.96 standard deviations from the bias, establishing the range within which

95% of the differences should lie. In order to evaluate if both methods are in sufficient agreement to be interchangeable, it has to be previously established what the maximum deviation that is acceptable for the topic we are dealing with is.

All the statistical procedure was conducted on R (R Core Team, 2020), using the packages *blandr* (Datta, 2017) and *ggplot2* (Wickham, 2016).

4. Results

The detailed list of the buccal microwear results examined with both microscopes is shown in Table 2 and all the data are in the Supplementary material S1 (Table S1 to Table S9).

In most of the cases, OM records greater TN in each tooth compared to SEM (Fig. 3; Supplementary material, Tables 1 and 2). We observed a 17.50% increase in the mean number of striations counted with the OM compared with SEM (a mean of 94.00 for the SEM against 110.12 for the OM) (Table 2). The mean error, or bias, is 16.12 (mean increase in the count) and the mean absolute error is 16.87 (mean difference in the count in absolute terms). The percentage of mean absolute error (% MAE) indicates a mean deviation of 17.95% between the striations recorded on the SEM and OM micrographs. This increase in the TN recorded with the OM compared to the SEM is statistically significant (U Mann-Whitney p -value = 0.014). The strong positive correlation between the TN recorded on both microscopes ($r = 0.709$) indicates the consistency of the OM, since this tendency for an increase in the count is documented across the sample and is correlated – meaning that the tendency to count few striations with the OM also means few striations are counted with SEM for the same sample, and vice versa, is consistent.

The application of the Bland – Altman analysis defines, from a bias of 16.12 striations (mean error for both methods for TN) and a standard deviation of bias of 12.19, an upper limit of agreement of 40.01 and a lower limit of agreement of -7.76 . This range of agreement contains the value 0 of perfect agreement, which is a good sign. The graphic representation (Fig. 4) shows that all the observations lie within those limits of agreement (upper and lower dashed lines). Half of the cases lie within the 95% confidence interval of the bias (9.63–22.62; blue region

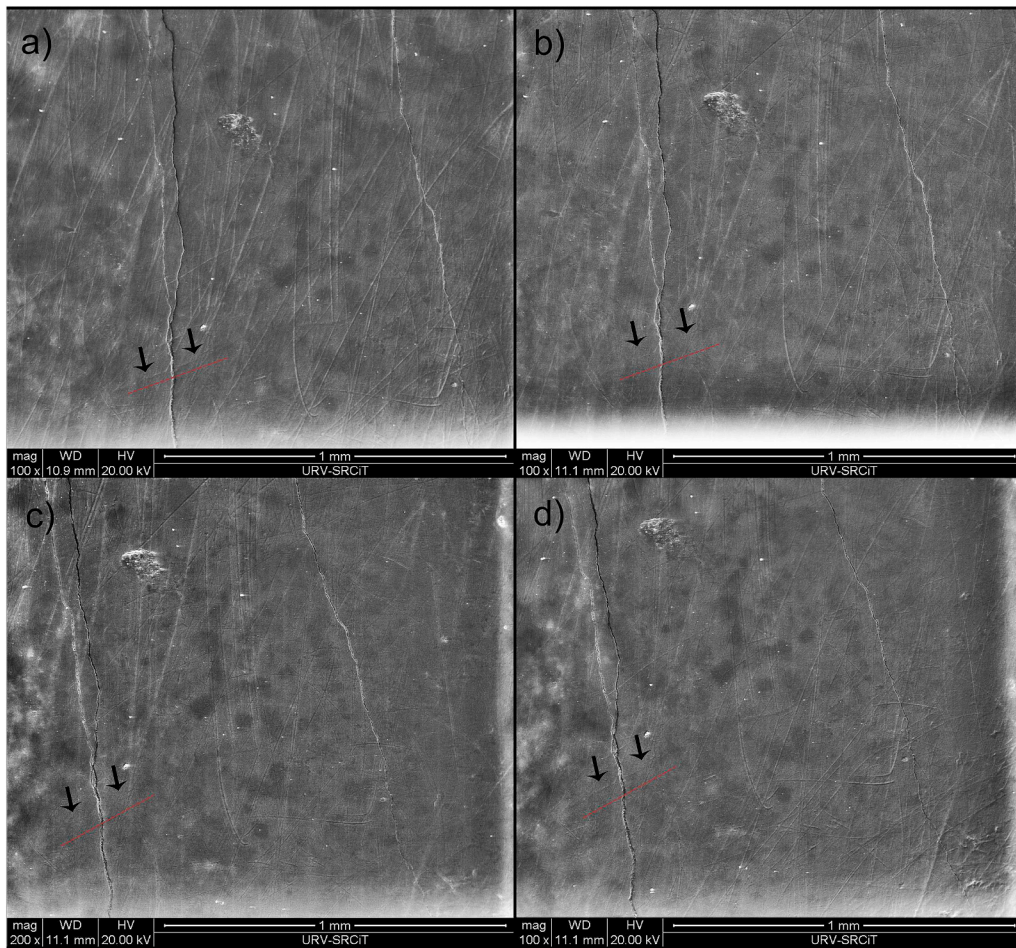


Fig. 5. Different images taken with the SEM at the same point with different tooth orientations using “computational rotation”. SEM parameters held constant for each image: Contrast (55); Enhance (60.1); Brightness (47.4); Spot (4.5). a) 0° of rotation; b) 90° of rotation; c) 180° of rotation; d) 270° of rotation. Red lines and arrows indicate blurry striation depending on the orientation.

around the central dashed line), pointing to the consistency of the increment in the total number of striations recorded through the OM regarding the SEM. There are three cases with close to perfect agreement between methods (straight line of 0 differences). Regarding the five cases with larger differences, it is important to note that they are spread along the X axis, which means that larger differences are not influenced by the magnitude of the variable.

The disto-mesial (DM), mesio-distal (MD), vertical (V) striations, and the vertical index (NV/TN) variables present increases in OM compared to SEM between 5.96% and 19.94%. Only the vertical index registers a slight reduction of 0.05% in OM compared to SEM. All these variables present relatively low %MAE, no statistically significant differences for the medians between the two microscopes, and a strong positive correlations (Table 2).

The low number of horizontal striations (H) and the low value for the horizontal index (NH/TN) are particularly interesting since the average increase and mean absolute error are effectively doubled for OM compared to SEM (Table 2). The marked increase is statistically significant between microscopes for the medians of each variable, although a strong positive correlation again between microscopes notes the consistency of the OM. The NH/TN index, influenced by the increase in horizontal striations recorded with OM, shows a 94.40% average increase but still related to overall very low values (Table 2).

5. Discussion

The earliest buccal dental microwear research was done with OM

(Dahlberg and Kinzey, 1962), but it was subsequently replaced by, and largely continues to be performed with, SEM microscopes (Gordon, 1988; Pérez-Pérez et al., 1994; Teaford and Lytle, 1996; Romero et al., 2004; García-González et al., 2018; Hernández et al., 2020). However, recent technological improvements – especially those driven by advances in imaging software – are highlighted by numerous methodological advances in OM use for traceology (Plisson and Zotkina, 2015; Ashkenazi and Cvikel, 2020). Given these technological and methodological improvements in OM, in addition to its widespread availability, we explored whether OM could be resurrected as a data acquisition strategy for buccal microwear analysis.

The higher mean total number of striations (TN) observed with the OM could be due to the image characteristics of the OM, which has a better qualitative resolution and a three-dimensional appearance facilitated by improvements with the “extended focus”. Since the equivalence of the magnifications between microscopes is based on a previous calibration where the size of the field of view dimensions for each acquisition system is known (Borel et al., 2014), the field of view of both microscopes are equivalent. Therefore, the difference in striation count is not due to a difference in field of view between microscopes and reflects a real difference in the ability of a single user to detect more striations on average using OM compared to SEM.

Horizontal striations stand out given their significant increase using OM compared to SEM (117.65%). One reason may relate to the position of the enamel surface relative to the angle of the electron detector during image acquisition using a SEM. To demonstrate this phenomenon, we took four micrographs of the same tooth surface but rotating

Table 3
 Comparative table between the low and high vacuum Scanning Electron Microscope (SEM) and the Optical Microscope (OM). *Image resolution in this study.

Features	SEM	OM
Total processing time (e.g., Image acquisition)	Slow (e.g., Image acquisition; Vacuum pumping)	Fast (e.g., Faster image acquisition; No Vacuum chamber)
Cost	Expensive to acquire and constant maintenance	Less expensive of purchase and less maintenance
Accessibility	Less	More
Eye fatigue	High eye fatigue	Reduces eye fatigue
Image Resolution*	(1024 px x 884 px)	(3072 px x 2048 px)
Comparative databases	More databases	No databases yet
Nature of the image	More depth of field, images flatter in appearance	Three-dimensional appearance, more definition
Original and High-resolution cast	Suitable for both materials	Suitable for both materials

the sample with respect to the detector using the “computational rotation” function of the SEM (Fig. 5). This exercise shows how some striations become blurry and a bit difficult to detect when the electron detector position is changed.

Another possible explanation could lie on the fact that in the SEM the nature of the image (electrons instead of light) produces images flatter in appearance (Borel et al., 2014; Ollé et al., 2016), regardless of the depth of the field. Meanwhile the OM, thanks to the extended focus overcomes the depth of field limitations of a singles image along the Z axis by taking several micrographs at different depth intervals in the same area. These micrographs are then combined with extended focus to create a completely focused image (Borel et al., 2014). The result is a more 3D-like image in OM, which enhances the topographic perception of striations. While extended focus is also possible with SEM (e.g., Vergès and Morales, 2014; Willman et al., 2019, 2020), it is not a standard procedure in buccal microwear analysis, and to our knowledge there are no analyses of the effect SEM extended focus has on the accuracy of microwear measurements.

Nevertheless, these marked deviations in the horizontal counts between OM and SEM need to be put into context. Although there is a marked average increase, the number of horizontal striations counted

with both microscopes is low, and therefore the mean error is also a low numbers in terms of number of striations. From a mean of 5.31 horizontal striations recorded on the SEM sample, for the OM there were recorded a mean of 11.56 horizontal striations, but this is still by far the least recorded type of striation on both samples.

Furthermore, the number of striations recorded with both techniques present a strong positive correlation in all cases, as well as the NV/TN and NH/TN indexes (Table 2; Fig. 6), providing evidence for the consistency of the OM for recording a pattern of microwear that is correlated with that recorded using the SEM. The graphical representation of the NH/TN index versus the NV/TN index, widely used in dental microwear analyses focused on dietary interpretations (Pérez-Pérez et al., 1994; Lalueza et al., 1996; García-González et al., 2015; Hernando et al., 2020), provides another source of evidence for the consistency of the OM, since the variation on the distributions of each tooth, as well as the exploratory samples used in this study (Fig. 6), are rather limited.

However, consistency does not necessarily mean agreement (Bland and Altman, 1986, 1999). The range of limits of agreement defined by Bland and Altman method is very wide, indicating a rather large dispersion of the differences. The high %MAE indicates a mean deviation of

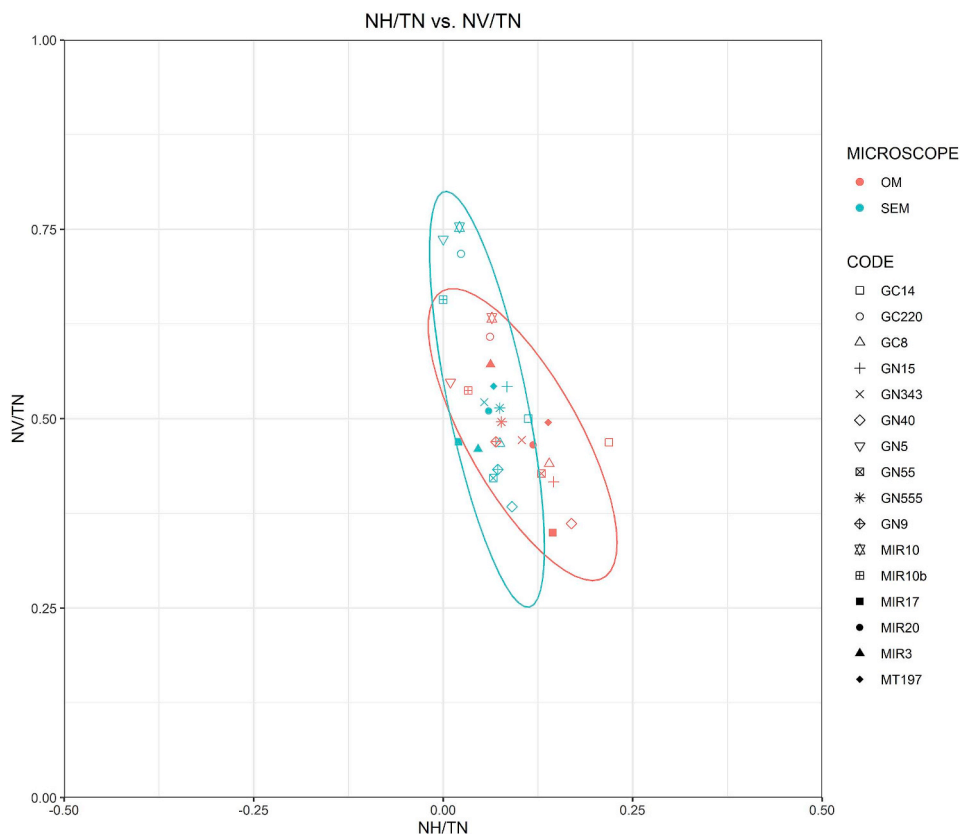


Fig. 6. Plot of NV/TN index versus NH/TN index for all individuals. The 95% concentration ellipse for the two microscopes (SEM and OM).

17.95% on the TN from both microscopes, which is probably too high for what would be acceptable in dental microwear analysis, if we interpret it in terms of the intraobserver error rates for SEM buccal microwear analysis described elsewhere (Grine et al., 2002; Galbany et al., 2005). This, together with the statistically significant differences on the medians of TN between both microscopes, seem to indicate that the differences in striation counts between microscopes would be too high to consider both methods in agreement. Therefore, it is not possible to assume that the variables concerning absolute striation counts (e.g., TN) are equivalent between methods (contrary to the indices). This conclusion suggests that the use of data from SEM-based buccal microwear analysis cannot be used as a comparative reference for the interpretation of the same variables collected with OM for dietary inferences except in a very general sense. However, the sample analyzed here is limited, and larger samples could help to define more clearly the magnitude of agreement or disagreement between SEM and OM methods.

Not only were dietary striations observed with both microscopes, so were other forms of taphonomic surface damage (e.g., erosion) and perikymata (see also (King et al., 1999; Pérez-Pérez et al., 2017):), showing more complementarity between the both microscopes (Fig. 2). No differences are observed in dietary features between original teeth and casts, showing that OM can be used with both materials (See images in the supplementary <http://doi.org/10.5281/zenodo.3664243> and Table 1).

Regarding the comparison of microscopes (Table 3), the OM methodology that we propose is faster in terms of sample preparation and image acquisition, especially when compared to the use of SEM at high vacuum. Several time-consuming sample preparation processes are avoided, like the sputter-coating of the samples (which also demands dedicated equipment and laboratory space devoted to it), and the vacuum pumping of the chamber. However, probably the most significant advantage of the OM over SEM is the accessibility of the former. An SEM is a large piece of equipment that is not only expensive to acquire but demands more constant and expensive maintenance. In contrast, OM microscopes require much less physical space, are generally much lower in initial cost to purchase, require less maintenance, and require little in terms of associated equipment aside from a computer and a camera. In addition, both originals teeth and high-resolution casts are suitable for analysis with OM without additional preparation or modification of equipment parameters (e.g., vacuum state of SEM).

Lastly, from the point of view of the person analyzing the micrographs, the nature of the images obtained through the OM, as the three-dimensional appearance, the contrast, the brightness, makes it much easier to detect the striations which greatly reduces eye fatigue associated with this technique (See images in the supplementary material <http://doi.org/10.5281/zenodo.3664243>).

6. Conclusion

This study proposes an OM technique to analyze buccal dental microwear patterns that is complementary to traditional SEM analysis. The results reported here demonstrate that, thanks to the recent developments in equipment and software, and the establishment of analytical protocols from traceology, the problems that initially led to the replacement of OM for dental microwear studies are no longer the obstacle they once were. Moreover, OM presents several major advantages over SEM. The most promising advantages are the broad accessibility of OM in research environments, a reduction in the time taken to obtain and analyze images, and the three-dimensional appearance of the image resulting in a reduction of observer eye fatigue.

These advantages are not trivial and we believe that they will encourage other researchers to explore the use of OM for dental microwear studies. For now we are cautious about the agreement and interchangeability of both methods, and thus consider that the existing references for SEM microwear pattern probably would not be suitable as comparative samples (especially regarding TN; for the indexes we

have shown that the difference is minimal in interpretative terms). However, this is an exploratory study, and further research is needed to strengthen this technique. In particular, the OM approach lacks the large comparative datasets that are used as a references to support dietary interpretations for buccal microwear analysis with SEM.

The biggest difference between the approaches concerns the greater number of horizontal striations counted with OM than SEM. Although there is a consistent less counting of horizontal striations with both microscopes. It would be particularly interesting to analyze samples previously analyzed with SEM that have abundant horizontal striations and high NH/TN index. If the OM method is truly better at detecting striations of all orientations, then it may be able to reveal a finer resolution in dietary variation than traditional SEM. Indeed, the literature is replete with comparative data and micrographs of well-to poorly-preserved buccal surfaces using the mature SEM-based buccal microwear approach (Romero and Juan, 2007, 2012; Romero et al., 2013), and further development of this line of methodological research will require the construction of an open access reference databases and graphical documentation of surfaces using the OM-based approach to facilitate replicability and dietary reconstruction.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

The authors are especially grateful to José Ramón Rabuñal for providing advice and expertise in the statistical procedures as well as his advice in the revision of the manuscript. We thank the Scientific and Technical Resource Service of Rovira i Virgili University in Tarragona providing access to the ESEM. This research is framed in the AGAUR (Refs. 2017SGR1040 and 2017 SGR 836), the MICINN/FEDER (Ref. PGC2018-093925-B-C32) and the URV (Ref. 2019PFR-URV-91) projects. The Galls Carboners, Mas Trader Cave and Cova de la Guineu excavations are funded by the 2014/100574 and the CLT009/18/00024 projects of the Culture Department of the Generalitat de Catalunya. R.H was funded by a predoctoral URV-Martí-Franquès Research Grant (2019PMF-PIPF-59), J.L.-F.M. was funded by FPI MINECO/FSE (BES-2015-074931), J.C.W was funded by a Marie Skłodowska-Curie Actions (H2020-MSCA-IF-2016 No. 749188 and H2020-MSCA-IF-2018 No. 839822). We are grateful to the editor and the two anonymous reviewers for their helpful suggestions.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.022>.

References

- Ashkenazi, D., Cvikel, D., 2020. A journey into the microstructure: using a multifocal 3D digital light microscope to study archaeological artefacts retrieved from shipwrecks. *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.* 16, e00129. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00129>.
- Belmaker, M., 2018. Dental microwear of small mammals as a high resolution paleohabitat proxy: opportunities and challenges. *J. Archaeol. Sci.: Report* 18, 824–838. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.02.034>.
- Bland, J.M., Altman, D.G., 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 327, 307–310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8).
- Bland, J.M., Altman, D.G., 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat. Methods Med. Res.* 8, 135–160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>.
- Borel, A., Ollé, A., Vergés, J.M., Sala, R., 2014. Scanning electron and optical light microscopy: two complementary approaches for the understanding and interpretation of usewear and residues on stone tools. *J. Archaeol. Sci.* 48, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.11.011>.

1016/j.jas.2013.06.031.

Brothwell, D., 1969. The study of archaeological materials by means of the scanning electron microscope. In: Brothwell, D., Higgs, E. (Eds.), *Science in Archaeology*. London, pp. 564–566.

Calandra, I., Pedergnana, A., Gneisinger, W., Marreiros, J., 2019. Why should traceology learn from dental microwear, and vice-versa? *J. Archaeol. Sci.* 110, 105012. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105012>.

Cebrià, A., Fullola, J.M., Oms, X., Pedro, M., 2017. Coves sepulcral (III mil·lenni aC) al baix Foix. Un patrimoni oblidat i malmès. In: *IV Trobada d'Estudiosos del Foix* 105–115.

Dahlberg, A.A., Kinzey, W., 1962. Etude microscopique de l'abrasion et de l'attrition sur la surface des dents. *Bull. Group Int. Rech. Sci. Stomatol. Odontol.* 5, 242–251.

Datta, D., 2017. blandr: a Bland-Altman Method Comparison Package for R. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.824514#>.

Fernández-Marchena, J.L., García-Argudo, G., Pedergnana, A., Valverde, I., 2018. Líneas, Manchas y Cía. Pautas Metodológicas para una Adecuada Interpretación Funcional. In: Agudo Pérez, L., Duarte, C., García Escárzaga, A., Geiling, J.M., Higuero Pliego, A., Nuñez de la Fuente, S., Rodríguez Santos, F.J., Suárez Revilla, R. (Eds.), *Actas de Las IX Jornadas de Jóvenes en Investigación Arqueológica*. Instituto Internacional de Estudios Prehistóricos de Cantabria, Santander, pp. 241–250.

Galbany, J., Martínez, L.M., Pérez-Pérez, A., 2004. Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: methodological obstacles. *Anthropologie* 42, 5–12.

Galbany, J., Martínez, L.M., López-Amor, H.M., Espurz, V., Hiraldo, O., Romero, A., de Juan, J., Pérez-Pérez, A., 2005. Error rates in buccal-dental microwear quantification using scanning electron microscopy. *Scanning* 27, 23–29. <https://doi.org/10.1002/sca.4950270105>.

Galbany, J., Estebanaranz, F., Martínez, L.M., Romero, A., Juan, J. De, Turbón, D., Pérez-Pérez, A., 2006. Comparative analysis of dental enamel polyvinylsiloxane impression and polyurethane casting methods for SEM research. *Microsc. Res. Tech.* 69, 246–252. <https://doi.org/10.1002/jemt.20296>.

García-González, R., Carretero, J.M., Richards, M.P., Rodríguez, L., Quam, R., García-González, R., Miguel Carretero, J., Richards, M.P., Rodríguez, L., Quam, R., 2015. Dietary inferences through dental microwear and isotope analyses of the lower magdalenian individual from El mirón cave (Cantabria, Spain). *J. Archaeol. Sci.* 60, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.03.020>.

García-González, R., Sánchez-Puente, Z., Arsuaga, J.L., Carretero, J.M., 2018. Dietary inferences from dental microwear patterns in chalcolithic populations from the Iberian Peninsula: the case of El portalón de Cueva mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) and El alto de la Huesera (Álava, Spain). *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 3811–3823. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0711-x>.

Goldstein, J., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Romig, A.D., Lyman, C.E., Fiori, C., Lifshin, E., 1992. Image formation and interpretation. In: *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists*. Plenum Press, Springer Nature, New York, pp. 149–271. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0491-3>.

González-Urquijo, J., Ibáñez Estévez, J.J., 1994. Metodología de análisis funcional de instrumentos tallados en sílex. *Cuadernos de arqueología* 14, 302 Universidad de Deusto.

Gordon, K.D., 1988. A review of methodology and quantification in dental microwear analysis. *Scanning Microsc.* 2, 1139–1147.

Grine, F.E., Ungar, P.S., Teaford, M.F., 2002. Error rates in dental microwear quantification using scanning electron microscopy. *Scanning* 24, 144–153. <https://doi.org/10.1002/sca.4950240307>.

Hernando, R., Willman, J.C., Vergès, J.M., Vaquero, M., Alonso, S., Oms, X., Cebrià, A., Morales, J.I., Lozano, M., 2020. Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: a case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 12, 30. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00997-z>.

Iphorski, M., Bozzano, P., 2013. Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales. *Ciencia e Investigación* 63, 43–53.

Keeley, L.H., 1980. *Experimental Determination of Stone Tool Uses: a Microwear Analysis*. University of Chicago press.

King, T., Andrews, P., Boz, B., 1999. Effect of taphonomic processes on dental microwear. *Am. J. Phys. Anthropol.* 108, 359–373. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199903\)108:3<359::AID-AJPA10>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199903)108:3<359::AID-AJPA10>3.0.CO;2-9).

Krueger, K.L., 2016. Dentition, behavior, and diet determination. In: Irish, J.D., Scott, G.R. (Eds.), *A Companion to Dental Anthropology*. John Wiley & Sons, pp. 396–411.

Lalueza, C., Pérez-Pérez, A., Turbón, D., 1996. Dietary inferences through buccal microwear analysis of Middle and Upper Pleistocene human fossils. *Am. J. Phys. Anthropol.* 100, 367–387. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199607\)100:3<367::AID-AJPA5>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199607)100:3<367::AID-AJPA5>3.0.CO;2-R).

Martín-Viveros, J.I., Ollé, A., 2020. Use-wear and residue mapping on experimental chert tools. A multi-scalar approach combining Digital 3D, Optical, and Scanning Electron Microscopy. *J. Archaeol. Sci.: Report* 30, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102236>.

Mihlbachler, M.C., Beatty, B.L., 2012. Magnification and resolution in dental microwear analysis using light microscopy. *Palaeontol. Electron.* 15, 14.

Ollé, A., Pedergnana, A., Fernández-Marchena, J.L., Martín, S., Borel, A., Aranda, V., 2016. Microwear features on vein quartz, rock crystal and quartzite: a study combining Optical Light and Scanning Electron Microscopy. *Quat. Int.* 424, 154–170. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.005>.

Olsen, S.L., 1988. Applications of scanning electron microscopy in archaeology. In: Hawkes, P.W. (Ed.), *Advances in Electronics and Electron Physics*. Academic Press, pp. 357–380.

Oms, F.X., Cebrià, A., Mestres, J., Morales, J.I., Pedro, M., Vergès, J.M., 2016. Campaniforme i metal·lúrgia en un espai sepulcral del III mil·lenni cal. BC: la Cova de la Guineu (Font-rubí, Alt Penedès). *Jornades d'Arqueologia del Penedès* 109–116.

Pérez-Pérez, A., Lozano, M., Romero, A., Martínez, L.M., Galbany, J., Pinilla, B., Estebanaranz-Sánchez, F., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Arsuaga, J.L., 2017. The diet of the first Europeans from Atapuerca. *Sci. Rep.* 7, 43319. <https://doi.org/10.1038/srep43319>.

Pérez-Pérez, A., Lalueza, C., Turbón, D., 1994. Intraindividual and intragroup variability of buccal tooth striation pattern. *Am. J. Phys. Anthropol.* 94, 175–187. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330940203>.

Plisson, H., Zotkina, L.V., 2015. From 2D to 3D at macro-and microscopic scale in rock art studies. *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.* 2, 102–119. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.06.002>.

Puech, P.-F., 1979. The diet of early man: evidence from abrasion of teeth and tools. *Curr. Anthropol.* 20, 590–592. <https://doi.org/10.1086/202335>.

R Core Team, 2020. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rivals, F., 2015. L'analyse de la micro-et méso-usure dentaire méthodes et applications en archéozoologie. In: Balasse, M., Brugal, J., Dauphin, Y., Geigl, E., Oberlin, C., Reiche, I. (Eds.), *Messages d'os. Archéométrie Du Squelette Animal et Humain, Éditions Des Archives Contemporaines*. Collection Sciences Archéologiques, Paris, pp. 241–254.

Romero, A., Juan, J. De, 2007. Intra- and interpopulation human buccal tooth surface microwear analysis: inferences about diet and formation processes. *Anthropologie* 45, 61–70.

Romero, A., Juan, J. De, 2012. SEM, teeth, and palaeoanthropology: the secret of ancient human diets. In: Schatten, H. (Ed.), *Scanning Electron Microscopy for the Life Sciences*. Cambridge University Press, pp. 236–256.

Romero, A., Martínez-Ruiz, N., Juan, J. De, 2004. Non-occlusal dental microwear in a Bronze-Age human sample from east Spain. *Anthropologie* 42, 65–70.

Romero, A., Galbany, J., Juan, J. De, Pérez-Pérez, A., 2012. Brief communication: short- and long-term in vivo human buccal-dental microwear turnover. *Am. J. Phys. Anthropol.* 148, 467–472. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22054>.

Romero, A., Ramírez-Rozzi, F.V., Juan, J. De, Pérez-Pérez, A., 2013. Diet-related buccal dental microwear patterns in central African pygmy foragers and Bantu-speaking farmer and pastoralist populations. *PLoS One* 8, e84804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084804>.

Schmidt, C.W., Beach, J.J., McKinley, J.I., Eng, J.T., 2015. Distinguishing dietary indicators of pastoralists and agriculturists via dental microwear texture analysis. *Surf. Topogr. Metrol. Prop.* 4, 14008. <https://doi.org/10.1088/2051-672x/4/1/014008>.

Schmidt, C.W., Remy, A., Van Sessen, R., Willman, J.C., Krueger, K., Scott, R., Mahoney, P., Beach, J., McKinley, J., D'Anastasio, R., et al., 2019. Dental microwear texture analysis of Homo sapiens sapiens: foragers, farmers, and pastoralists. *Am. J. Phys. Anthropol.* 169, 207–226. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23815>.

Scott, R.S., Ungar, P.S., Bergstrom, T.S., Brown, C.A., Childs, B.E., Teaford, M.F., Walker, A., 2006. Dental microwear texture analysis: technical considerations. *J. Hum. Evol.* 51, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2006.04.006>.

Semprebon, G.M., Godfrey, L.R., Solounias, N., Sutherland, M.R., Jungers, W.L., 2004. Can low-magnification stereomicroscopy reveal diet? *J. Hum. Evol.* 47, 115–144. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2004.06.004>.

Solounias, N., Semprebon, G., 2002. Advances in the reconstruction of ungulate ecomorphology with application to early fossil equids. *Am. Mus. Novit.* 1–49. [https://doi.org/10.1206/0003-0082\(2002\)366<0001:AIFROU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1206/0003-0082(2002)366<0001:AIFROU>2.0.CO;2).

Teaford, M.F., 1988. A review of dental microwear and diet in modern mammals. *Scanning Microsc.* 2, 1149–1166.

Teaford, M.F., Lytle, J.D., 1996. Brief communication: diet induced changes in rates of human tooth microwear: a case study involving zea munda maize. *Am. J. Phys. Anthropol.* 100, 143–147. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199605\)100:1<143::AID-AJPA13>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199605)100:1<143::AID-AJPA13>3.0.CO;2-0).

Ungar, P.S., 2018. Dental microwear. In: Wenda, T., Cartmill, M., Dufour, D.L., Larsen, C.S., O'Rourke, D.H., Rosenberg, K., Strier, K.B. (Eds.), *The International Encyclopedia of Biological Anthropology*. John Wiley & Sons, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1002/9781118584538.ieba0127>.

Ungar, P.S., Brown, C.A., Bergstrom, T.S., Walker, A., 2003. Quantification of dental microwear by tandem scanning confocal microscopy and scale-sensitive fractal analyses. *Scanning* 25, 185–193. <https://doi.org/10.1002/sca.4950250405>.

Ungar, P.S., Grine, F.E., Teaford, M.F., 2008. Dental microwear and diet of the Plio-Pleistocene hominin *Paranthropus boisei*. *PLoS One* 3, e2044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002044>.

Vergès, J.M., Morales, J.I., 2014. The gigapixel image concept for graphic SEM documentation. Applications in archeological use-wear studies. *Micron* 65, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2014.04.009>.

Vergès, J.M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J.I., Martín, P., Carrancho, Á., Expósito, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., 2016. El mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): a whole perspective. *Quat. Int.* 414, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.044>.

Vergès, J.M., Munoz, L., Pedro, M., Bargalló, A., Fontanals, M., Morales, J.I., Ollé, A., Alcover, J.A., Allué, E., Blain, H.A., 2017. La cova dels Galls Carboners (Mont-rà, Alt camp). *Bulletin de la Reial Societat Arqueologica de Tarragona* 38–39, 17–43.

Wickham, H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York.

Willman, J.C., Ginter, B., Hernando, R., Lozano, M., Sobczyk, K., Stefański, D., Szczepanek, A., Wertz, K., Wojtal, P., Zając, M., 2019. Paleobiology and taphonomy of a middle paleolithic neandertal tooth from cienna cave, southern Poland. *J. Paleolithic Archaeol.* 2, 359–377. <https://doi.org/10.1007/s41982-019-00029-1>.

Willman, J.C., Lozano, M., Hernando, R., Vergès, J.M., 2020. Gigapixel-like imaging strategies for dental anthropology: applications for scientific communication and training in digital image analysis. *Quat. Int.* In this issue.

6.1.2. Combinación del análisis 3D de la microtextura dental en las superficies bucales y oclusales en un mismo individuo para afinar las reconstrucciones paleodietética

Este estudio analiza y compara la microtextura dental en las superficies oclusal y bucal de un mismo diente, con el fin de determinar si la combinación de ambas puede proporcionar datos complementarios para las reconstrucciones dietéticas. El conjunto estudiado proviene de la Cova de la Guineu Font-Rubí (Barcelona, España), una inhumación colectiva del Neolítico Final-Calcolítico, formada por 69 individuos representados por el segundo molar inferior izquierdo. Sin embargo, sólo 27 individuos poseían las superficies dentales bien conservadas. El análisis 3D de la microtextura dental se realizó en ambas superficies con un microscopio confocal de luz blanca Sensofar® S Neox. Se utilizó el software Toothfrax® para cuantificar automáticamente la complejidad y la anisotropía de la superficie. El análisis de remuestreo *bootstrap* muestra diferencias significativas entre las superficies para ambas variables. Además, no se observa una correlación entre las superficies para complejidad o anisotropía. Las superficies oclusales de los individuos de Cova de la Guineu muestran valores elevados de complejidad y bajos de anisotropía.

La combinación de las microtexturas oclusales y bucales proporcionó importantes inferencias sobre la muestra analizada. En primer lugar, la complejidad oclusal y los valores de anisotropía indican un régimen dietético abrasivo, similar a los obtenidos en los grupos coetáneos de Bois Madame, Maurenne y Sclaigneaux, del Neolítico Final de Bélgica. En segundo lugar, respecto a la comparación de superficies proponemos que los valores de anisotropía más elevados encontrados en las superficies bucales, comparados con los oclusales, se atribuyen a los mecanismos específicos de formación de microdesgaste de cada superficie.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

TECHNICAL NOTE

What about the buccal surfaces? Dental microwear texture analysis of buccal and occlusal surfaces refines paleodietary reconstructions

Raquel Hernando^{1,2} | John C Willman³ | Antoine Souron⁴ |
Artur Cebrià⁵ | F. Xavier Oms⁵ | Juan I. Morales⁵ | Marina Lozano^{2,1}

¹Departament d'Història i Història de l'Art, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain

²Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), Tarragona, Spain

³Laboratory of Prehistory, CIAS - Research Centre for Anthropology and Health, Department of Life Sciences, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁴UMR CNRS 5199, PACEA - Laboratoire de la Préhistoire à l'Actuel: Culture, Environnement et Anthropologie, University of Bordeaux, Bordeaux, France

⁵SERP, Departament d'Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain

Correspondence

Raquel Hernando, Departament d'Història i Història de l'Art, Universitat Rovira i Virgili, Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain.
Email: r.hernando90@gmail.com

Funding information

Agencia de Gestión de Ayudas Universitarias y de Investigación, Grant/Award Numbers: 2017SGR0011, 2017SGR1040; Generalitat de Catalunya's Department of culture projects, Grant/Award Numbers: 2014/100482, CLT009/18/00024; H2020 Marie Skłodowska-Curie Actions, Grant/Award Number: H2020-MSCA-IF-2016 749188; LabEx LaScArBx, Grant/Award Number: ANR-10-LABX-52; Maria de Maeztu program for Units of Excellence, Grant/Award Number: CEX2019-000945-M; Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness, Grant/Award Number: HAR2017-86509-P; Universitat Rovira i Virgili: 2019PFR-URV-91 Martí-Franqués Research Grant: URV 2019PMF-PIPF-59

Abstract

Objectives: This study analyzes and compares dental microwear textures on occlusal and buccal surfaces from the same tooth to determine if using these surfaces in tandem can provide complementary data for dietary reconstructions.

Materials and methods: Cova de la Guineu is a Late Neolithic-Chalcolithic burial cave located in Font-Rubí (Barcelona, Spain). The study sample consisted of 69 individuals represented by the lower left second molar. However, only 27 individuals had well-preserved surfaces. Dental Microwear Texture Analysis was performed on both surfaces using a Sensofar[®] S Neox white-light confocal profilometer following standard procedures. Toothfrax[®] software was used to quantify surface complexity and anisotropy.

Results: The bootstrap resampling analysis shows significant differences in complexity and anisotropy between surfaces. There is no correlation between surfaces for complexity or anisotropy. The occlusal surfaces exhibit high complexities and low anisotropies, which are similar to values observed in Late Neolithic farming groups from Belgium.

Discussion: The combination of occlusal and buccal microwear signatures provided important inferences regarding the studied sample. First, occlusal complexity and anisotropy values indicate an abrasive dietary regime. Second, we propose that the higher anisotropy values found on buccal surfaces, compared to those on the occlusal ones, are attributed to the specific mechanisms of microwear formation for each surface. Finally, combining both surfaces may increase the number of samples suitable for analysis. Further studies, with greater intergroup sampling, will help to understand how buccal microwear reflects or complements DMTA signatures on the occlusal surfaces.

KEYWORDS

buccal, Cova de la Guineu, DMTA, late Neolithic-chalcolithic, occlusal

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2022 The Authors. *American Journal of Biological Anthropology* published by Wiley Periodicals LLC.

1 | INTRODUCTION

The quantification of dental microwear—the microscopic wear features found on enamel surfaces—is an effective and non-destructive method for dietary reconstruction. These wear features are produced, and undergo turnover, during mastication when the compression and movement of the bolus causes abrasion (tooth-food-tooth) and attrition (tooth-to-tooth). (Maier & Schneck, 1982; Gordon, 1988; Puech, 1979; Teaford & Lytle, 1996; Krueger et al., 2008; Tausch, 2015; Schmidt et al., 2019). Experimental studies have provided greater understanding of the formation and turnover of dental microwear, but many issues remain unresolved. For instance, some authors suggested that the material properties of the food are responsible for dental microwear, and particles softer than the enamel can cause enamel removal (e.g., phytoliths; Rodríguez-Rojas et al., 2020; Xia et al., 2015). In contrast, nanoscale experimental studies have challenged this argument, suggesting that metallic proxies are not appropriate for understanding microwear formation from a mechanical perspective (van Casteren et al., 2018). Further arguments have posited that food material properties (e.g., toughness and hardness) are less important than their mechanical properties (e.g., shape) and abrasive particle (e.g., phytoliths, dust, grit) content for the formation of microwear (Lucas et al., 2013; van Casteren et al., 2020). However, controlled chewing experiments that replicate

dental microwear formation using Artificial Resynthesis Technology (ART-5) show that grit-free meat can cause some degree of occlusal microwear, whereas grit-laden meat generates faster microwear turnover (Krueger et al., 2021). These studies illustrate that dental microwear is a highly complex process with many factors to consider (Teaford et al., 2020). For this reason, further studies are required to better understand this process and how it is expressed on the different types of dental surfaces.

Dental microwear is generally analyzed on either the buccal or occlusal surfaces, and both surfaces are rarely examined in the same study (García-González et al., 2015; Hernando et al., 2021; Hernando, Willman, et al., 2020). This may be explained by a difference in imaging technology and associated difficulties of data comparison. For instance, occlusal microwear analyses shifted towards quantification through Dental Microwear Texture Analysis (DMTA) using confocal microscopy (e.g., El-Zaatari, 2010; Mahoney et al., 2016; Schmidt et al., 2015; Schmidt et al., 2019; Ungar et al., 2003), whereas the majority of buccal microwear analyses continue to rely on quantification from images obtained with scanning electron and optical microscopy—SEM and OM, respectively (e.g., Lalueza et al., 1996; Pérez-Pérez et al., 1994; Romero et al., 2012; Romero et al., 2013; Hernando, Fernández-Marchena et al., 2020). Recent studies used SEM and OM to demonstrate how the combination of buccal and occlusal microwear can provide

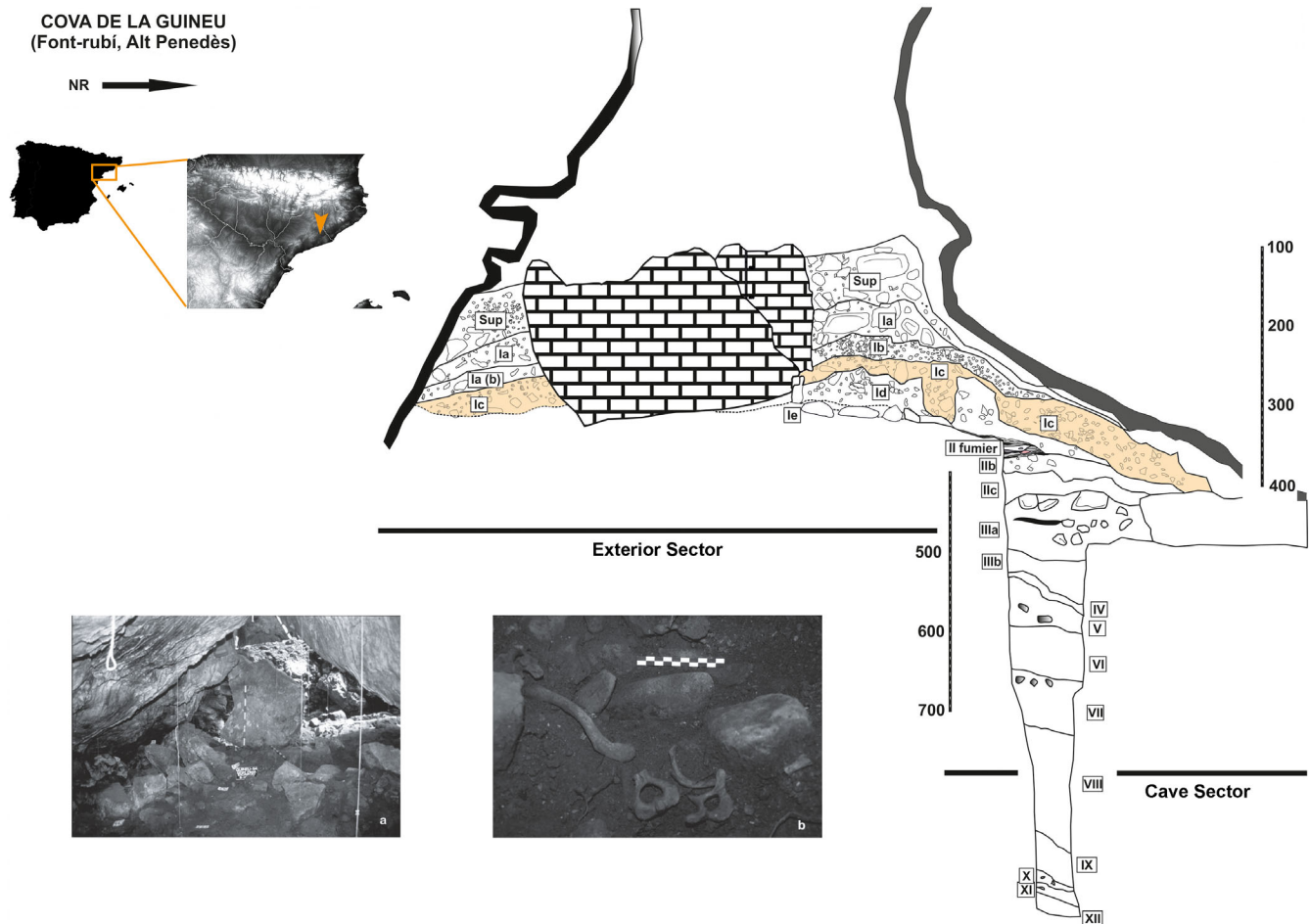


FIGURE 1 Location of Cova de la Guineu, and the main section. Picture (a) Para-dolmenic structure; (b) some in situ human remains associated with the funerary phase

complementary data for reconstructing dietary behaviors given the differential rates of microwear accumulation and turnover between the two surfaces (García-González et al., 2015; Hernando Ackermans et al., 2021; Hernando, Willman et al., 2020). Nonetheless, DMTA has rarely been explored on buccal surfaces (but see: Aliaga-Martínez et al., 2017), and no study has yet used DMTA on both the occlusal and buccal surfaces of the same tooth.

This study is the first to examine both occlusal and buccal molar microwear textures using the same individual within a single sample. Using occlusal texture analysis, we provide a paleodietary assessment of the Cova de la Guineu sample. We also present a critical examination of DMTA for buccal surfaces, and how their use may refine dietary reconstructions when combined with occlusal microwear studies. Likewise, we suggest that studies integrating data from both surfaces could help understand the interaction of abrasion and attrition contained in microwear signatures.

2 | MATERIAL

The dental remains used in this study are from Cova de la Guineu, a sepulchral cave located in Font-Rubí, Barcelona, northeastern Iberian

Peninsula at 738 m above sea level (m.a.s.l), dated to the Late Neolithic-Chalcolithic (4820–4454 cal. BP; 5040–4865 cal. BP) (Oms et al., 2016). The funerary phase (level Ic interior) is a collective burial chamber with a para-dolmenic structure (Figure 1). Most of the human remains were found in disarticulation due to the sequential process of internments in prehistory as well as some historic disturbances of the cave through clandestine activities (Oms et al., 2016).

Left lower second molars (LLM2) are the most abundant adult teeth from Cova de la Guineu, accounting for a minimum number of 69 individuals (Supplementary Table S1). These 69 LLM2s were chosen for buccal and occlusal DMTA. Most of the teeth were isolated but there were also some mandibles and hemimandible fragments among the remains (see Supplementary Figure S1).

3 | METHODOLOGY

3.1 | Dental microwear texture analysis

The teeth were cleaned with a soft brush and acetone to remove adherent grit, dust, or adhesive residues (Galbany et al., 2004). Polyvinylsiloxane (Coltène President Plus Jet light body) was used for

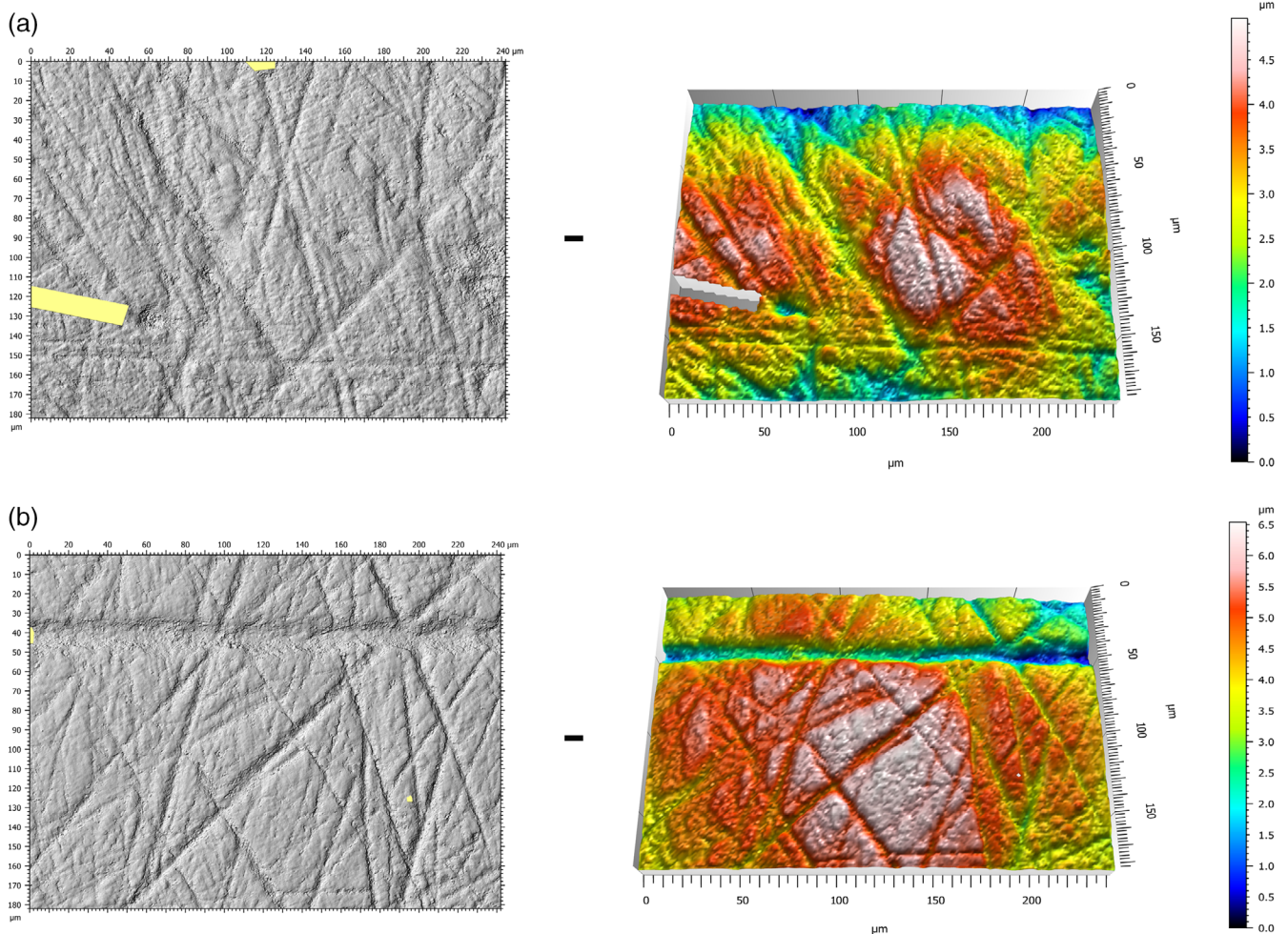


FIGURE 2 3D views and photosimulations from DMTA on both occlusal (a) and buccal (b) surfaces from an individual of Cova de la Guineu (GN-1564)

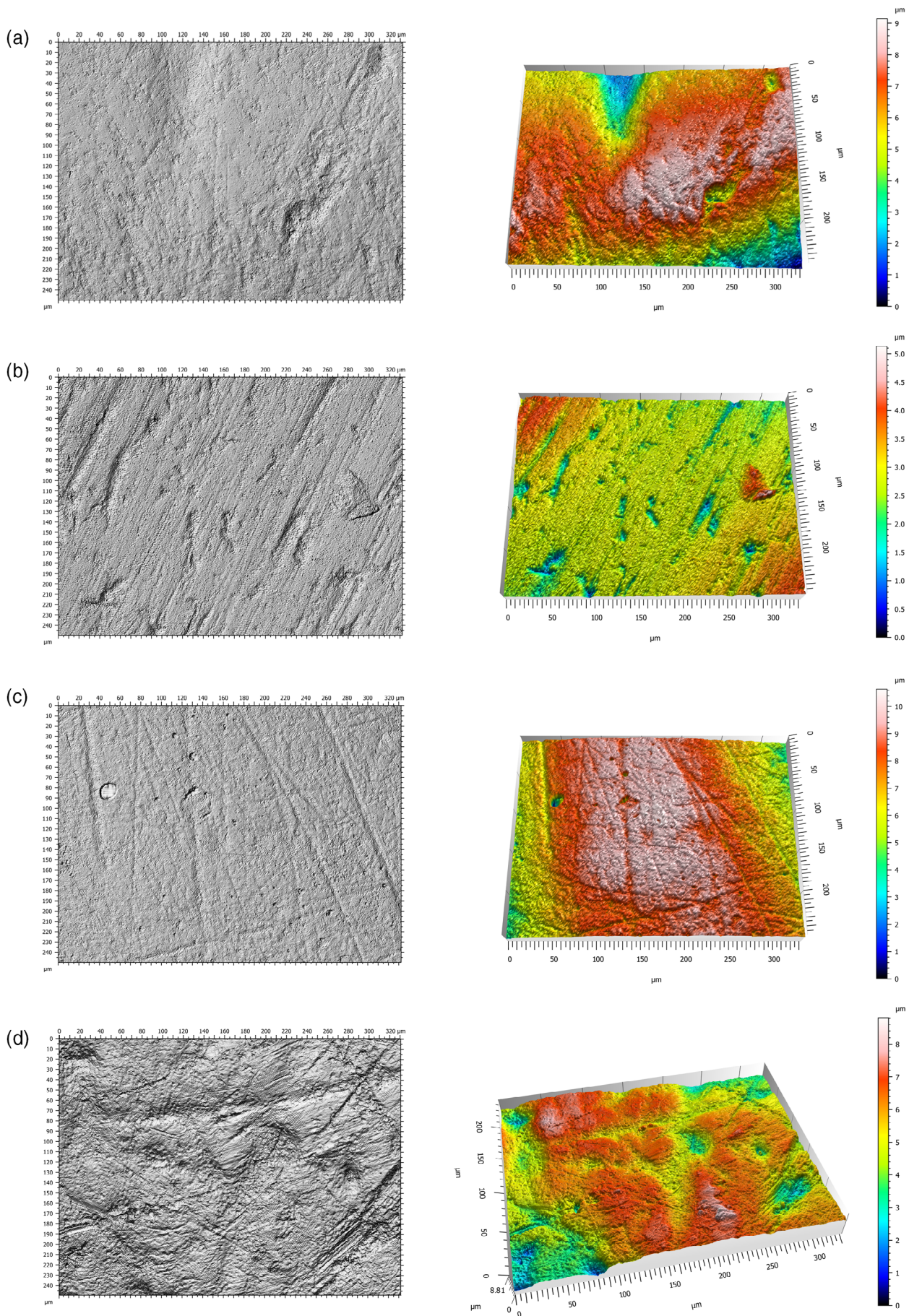


FIGURE 3 Legend on next page.

TABLE 1 Shapiro–Wilk test of distribution for the bootstrap analyses

Surface	Variable	Shapiro–Wilk test bootstrap	Bootstrap p value
Occlusal	<i>Asfc</i>	0.967	>0.000*
	<i>epLsar</i>	0.972	>0.000*
Buccal	<i>Asfc</i>	0.948	>0.000*
	<i>epLsar</i>	0.969	>0.000*

Note: *indicates that the sample is not normally distributed.

molding of the occlusal and buccal surfaces of each tooth. A first impression was made to remove any particles that remained on the surface, and the second impression was analyzed (Mahoney et al., 2016). Positive (epoxy) casts were not created since surface detail can be lower in casts compared to direct analysis of the impression material (Mihlbachler et al., 2019). Thus, analyses were conducted directly from silicone impressions (see also: Bas et al., 2020; Mahoney et al., 2016; Ramdarshan et al., 2017). Molds of the buccal and occlusal surfaces were observed and measured with a Sensofar® S Neox microscope driven by the SensoSCAN® software 6.2 at PACEA (University of Bordeaux, France).

Occlusal surface DMTA was collected on facet 9 for each LLM2 (Scott et al., 2006). SEM analyses of buccal microwear focus on the middle third of the buccal surface (Galbany et al., 2004), so the same area was chosen for buccal DMTA (Aliaga-Martínez et al., 2017) (Figure 2). The molds of both surfaces were positioned as flat as possible under the microscope in standardized orientation for each tooth and surface. Initial observations were done at 5× magnification to find the area of interest on facet 9 or the buccal middle third (Schmidt et al., 2019). The surface data were measured at 100×, corresponding to an area of 332.3×249.9 μm integrated in four fields of view. The study area was cropped to 242×182 μm to allow broader comparisons with published data for the occlusal surface (e.g., Schmidt et al., 2015, 2019; Williams et al., 2020) and maintain equivalence between occlusal and buccal surfaces for this study. The resulting acquisitions were treated with MountainsMap® surface imaging and metrology software (Digital Surf). Only surfaces requiring modification to 10% or less of their total surface area were retained for statistical analyses (Schmidt et al., 2019). Surfaces with excessive surface artifacts from the molding process or post-depositional damage were excluded (Figure 3).

Toothfrax® software (Ungar et al., 2003) was used to calculate complexity (*Asfc*) and anisotropy (*epLsar*). We focus on these two, scale-sensitive fractal analysis parameters to describe the microwear surfaces, since these variables are frequently considered most useful when discerning differences in diet among various groups (Schmidt et al., 2019; Scott, 2005; Scott et al., 2006).

Complexity, or Area-scale fractal complexity (*Asfc*), describes surface roughness. For example, enamel surfaces dominated by pits of various sizes and striations overlying each other demonstrate high levels of complexity. This is generally attributed to abrasive diets that include the mastication of hard particles (El-Zaatari, 2010) or erosion from dietary acids (Hara et al., 2016; Ranjitkar et al., 2017; Krueger et al., 2021). In contrast, lower complexity values indicate simpler surfaces, generally thought to be from softer, more processed, or less grit-laden diets (Scott et al., 2005). The range of values from human populations tend to be between 1.0 and 2.0 (Mahoney et al., 2016; Schmidt et al., 2015, 2019).

Anisotropy, or length-scale anisotropy of relief (*epLsar*), documents the alignment of features across the surface and is related to repetitive jaw movements during chewing. High values of anisotropy are often attributed to chewing tough and/or fibrous foods (El-Zaatari, 2010; Schmidt et al., 2019). In humans, anisotropy values tend to range between 0.0005 and 0.0090 (El-Zaatari, 2010; Schmidt et al., 2019).

3.2 | Statistical analysis

All statistical analyses were conducted in R (R Core Team, 2020). A Shapiro–Wilk test for the occlusal and buccal variables indicates a deviation from a normal distribution (Table 1). Ordinary Least Squares (OLS) regressions with 95% confidence intervals are presented along with graphic visualizations of data (ggplot2; Wickham, 2016). Spearman correlations were used to explore the relationship among the different variables and surfaces. Finally, a bootstrap resampling method was applied to compare variables among surfaces. Resampling with replacement was conducted 500 times on the original data. Given the difficulties of obtaining large microwear texture datasets from bio-archaeological contexts—due not only to limitations of absolute sample size, but also the winnowing of the final sample size through the exclusion of individuals with taphonomic surface alterations—the bootstrap method allows probability distributions to be calculated through the resampling of the original data without any assumptions regarding original data distribution. We can draw some statistical conclusions through an improved estimation of sampling distributions that may not be apparent in the data prior to resampling.

Different confocal profilometers can produce different results when examining the same sample (Arman et al., 2016). However, there are no available data for permanent human molars using the confocal profilometer from this study. Furthermore, there is a general lack of open access databases for any human DMTA data. Thus, we used available data (mean and 95% confidence intervals) derived from publications using other confocal profilometers (Karriger et al., 2016; Schmidt et al., 2015; Schmidt et al., 2019; Schmidt et al., 2020;

FIGURE 3 Examples of poor quality DMTA scans that obscured dental microwear features. (a) Occlusal surface (GN91-REM-3303): Poor quality mold; (b) occlusal surface (GN95-REM-9): Taphonomic features; (c) buccal surface (GN89-REM-3611): Mold affected by bubbles; (d) buccal surface (GN89-REM-3612): Perikymata

TABLE 2 Information about the comparative groups. N = number of individuals

Population	N	Site	Chronology	Subsistence	Ref
Foragers	168	Worldwide	–	Global sample of peoples relying primarily on non-domesticated foods	Schmidt et al., 2019
Farmers	385	Worldwide	–	Global sample of peoples relying on food production	Schmidt et al., 2019
Pastoralist	49	Mongolia	Late Bronze/Iron Age	Herders, Softest diets	Schmidt et al., 2015
Archaic Amerindians	34	Indiana	3500–5500 years BP	Wild and domesticated resource consumption	Schmidt et al., 2020
Early Bronze Age England	21	England	Early Bronze Age	Food production	Schmidt et al., 2015
Bois Madame	12	Belgium	Late Neolithic	Hard food or modest food processing	Williams et al., 2020
Maurenne	18	Belgium	Middle-Late Neolithic	Hard food or modest food processing	Williams et al., 2020
Sclaigneaux	15	Belgium	Late Neolithic	Hard food or modest food processing	Williams et al., 2020

Variable	Occlusal surface		Buccal surface	
	Asfc	epLsar	Asfc	epLsar
Total number	27	27	27	27
Mean	1.47	0.0015	1.12	0.0027
Median	1.20	0.0011	0.92	0.0019
Interquartile range	0.67–2.13	0.0007–0.0020	0.21–2.13	0.0014–0.0038
Standard error	0.19	0.0002	0.21	0.0003
Standard deviation	1.00	0.0011	1.11	0.0019

TABLE 3 Summary descriptive statistics for occlusal and buccal texture microwear data from Cova de la Guineu

Williams et al., 2020). Table 2 is a general comparative framework for interpreting the diet of the individuals from Cova de la Guineu. Since this is the first study providing buccal surface DMTA data in a bio-archaeological context, no comparative data are available for interpreting our buccal surface DMTA.

4 | RESULTS

Of the 69 LLM2 observed, dental microwear textures were well-preserved on 33 occlusal surfaces and 39 buccal surfaces, and 27 individuals had well-preserved microwear textures on both surfaces (e.g., Figure 2). The unavoidable winnowing of our sample due to various taphonomic factors is typical, as noted elsewhere (Correia, et al., 2021; Hernando, Willman, et al., 2020; Krueger, 2016; Martin et al., 2018; Teaford, 2007). The detailed list of occlusal and buccal microwear data by individual can be found in the Supplementary Information (Table S1).

4.1 | Comparison between surfaces

Descriptive statistics for occlusal and buccal texture microwear are presented in Table 3. Mean complexity is higher for the occlusal

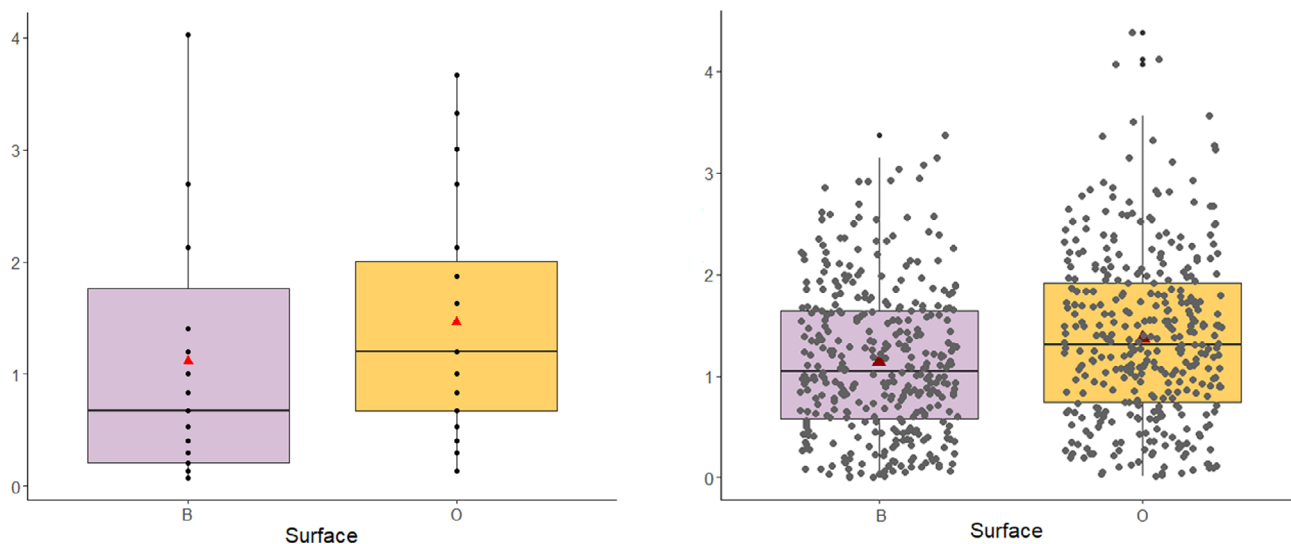
surface than for the buccal (Figure 4, Table 3), but mean anisotropy is higher for the buccal surface than the occlusal (Figure 4, Table 3). The application of the bootstrap resampling method shows statistically significant differences between buccal and occlusal complexity as well as buccal and occlusal anisotropy (Figure 4, Table 4).

The Ordinary Least Squares regression indicates that there is no correlation at the level of the individual between the surfaces for either of the texture variables (Figure 5). Occlusal surface was set as the independent variable and buccal surface the dependent one. Likewise, there is no correlation between the texture variables for either surface (Figure 6).

4.2 | Comparison between groups

When comparing mean values and confidence intervals with other Holocene groups and macro-subsistence categories (Figure 7), Cova de la Guineu exhibits a higher mean occlusal complexity value with non-overlapping 95% CI compared with the Xiongnu pastoralists (Mongolia). Cova de la Guineu has a slightly higher mean complexity than both the forager and farmer macro-subsistence groups, but the Cova de la Guineu confidence interval completely overlaps with both farmer and forager macrogroups (Figure 7). This is to be expected

(a) Complexity



(b) Anisotropy

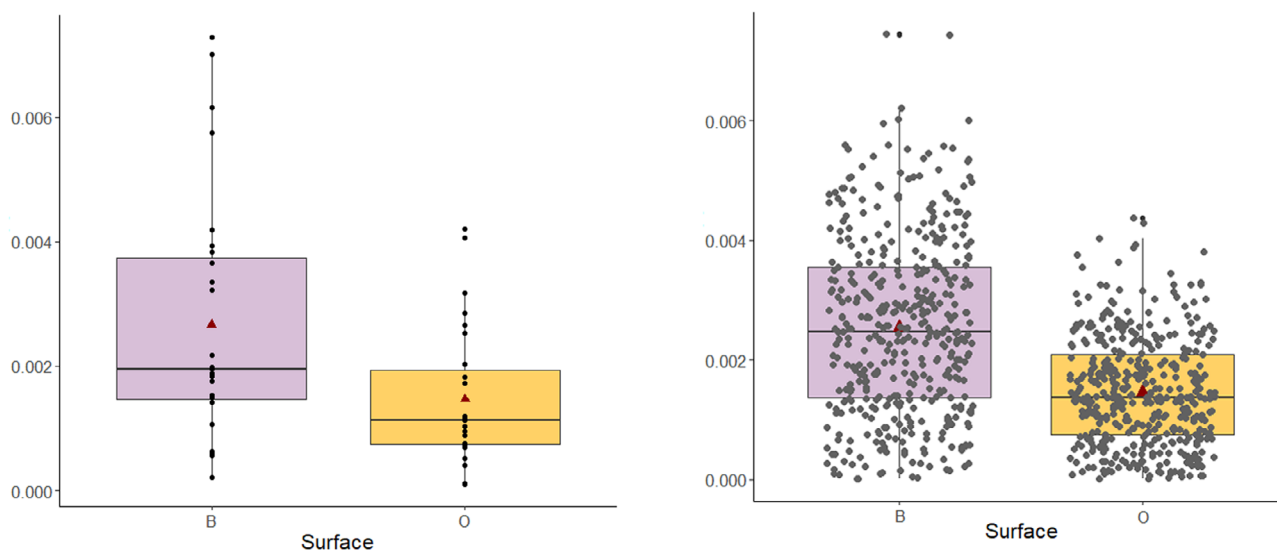


FIGURE 4 Boxplots of buccal (B) and occlusal (O) surfaces for the variables complexity (*Asfc*) and anisotropy (*epLsar*) from dental microwear texture analysis with their associated bootstrapping analysis (resampling population, $n = 500$). Red triangles show the means, the horizontal lines represent the medians, each dot is an individual

TABLE 4 Bootstrap analyses for test differences between occlusal and buccal surfaces by microwear variable

Variable	Wilcoxon-Mann-Whitney test value (W)	p value
Bootstrap <i>Asfc</i>	3128	>0.000*
Bootstrap <i>epLsar</i>	1926	>0.000*

Note: *indicates that there are significant differences between surfaces ($p < 0.05$).

given the much larger sample sizes in the macro-subsistence groups compared to that of Cova de la Guineu and the other Holocene comparative groups (Table 2), and the fact that the macro-subsistence groups are based on global averages that encompass a

wide range of chronologies, ecogeographic variation, and culturally specific dietary strategies (Schmidt et al., 2019). Mean occlusal complexity is similar between Cova de la Guineu and the Middle Neolithic populations from Maurenne and Sclaigheaux in Belgium (Table 5).

Cova de la Guineu has the lowest mean occlusal anisotropy values in comparison to others comparative samples but has overlapping 95% CI with each of the Belgian Neolithic samples (Figure 7). While the differences between the macro-subsistence groups and Cova de la Guineu are to be expected (see reasoning above), the much lower occlusal anisotropy compared to the pastoralists and chronological later food producers from Bronze Age England are notable (see below).

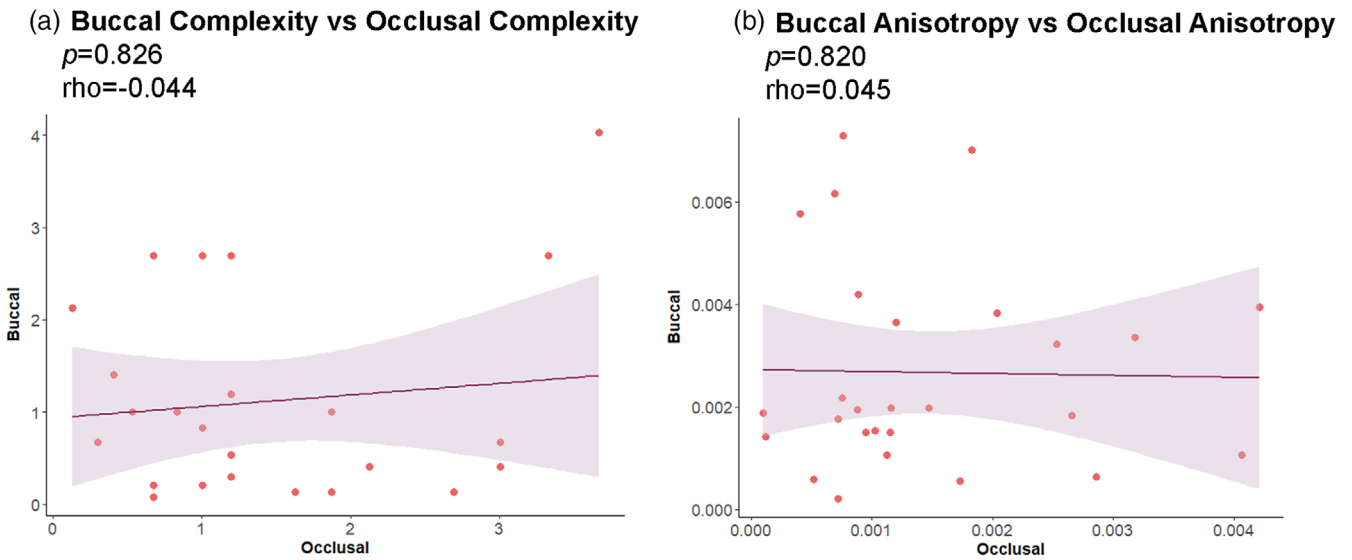


FIGURE 5 Correlations between buccal and occlusal surfaces for complexity (a) and anisotropy (b). An ordinary Least Square linear regression line is shown for each plot with shaded 95% confidence interval. Spearman correlation (ρ) and p-value are shown for each bivariate plot

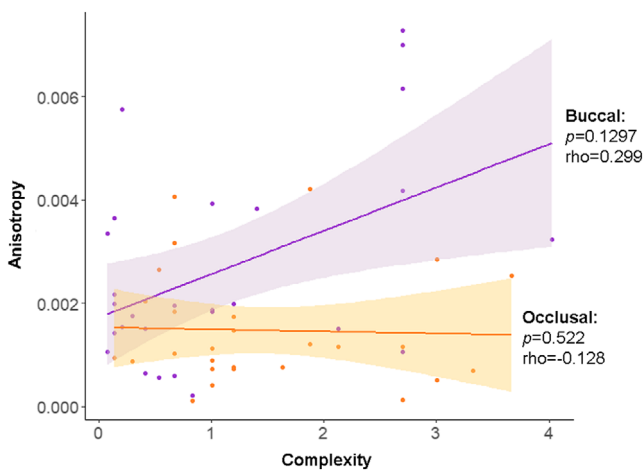


FIGURE 6 Bivariate plot by individual comparing DMTA variables (*Asfc* and *epLsar*) by surfaces (purple: Buccal; orange: Occlusal). The shaded regions represent the 95% confidence interval. Spearman correlation (ρ) and p-value are shown for each surface

5 | DISCUSSION AND CONCLUSION

5.1 | Buccal and occlusal DMTA

Previous occlusal DMTA studies on human populations show that diets high in hard food items and/or large abrasive particles contribute to higher complexities, and softer foods with fewer exogenous hard particle inclusions contribute to lower complexities (e.g., El-Zaatar, 2010; Mahoney et al., 2016; Schmidt et al., 2015, 2019, 2020). Similarly, Aliaga-Martínez and colleagues (2017) found that non-human primates consuming hard and brittle diets have high-buccal complexity and low-buccal anisotropy while the opposite is found in non-human primates eating tough (folivorous) diets.

However, since this is the first DMTA study that analyzes the relationship between buccal and occlusal signatures on the same tooth, our interpretations are challenged without a reference framework. For that reason, our complete database was published in an open repository for comparative purposes in the future.

5.1.1 | Complexity

Aliaga-Martínez and colleagues (2017) noted that buccal complexities in non-human primates were much lower on average than values obtained for the occlusal surfaces (e.g., Scott et al., 2012), which could be largely attributed to an absence of pitting in buccal surfaces (Aliaga-Martínez et al., 2017). The bootstrap method showed statistically significant differences between buccal and occlusal complexity as well as anisotropy, which could support the assertion of Aliaga-Martínez and colleagues (2017) that a lack of pitting tends to produce lower complexity values on buccal surfaces. While the utility of buccal complexity remains poorly understood for dietary reconstructions in humans based on our results from one sample, it may be a useful variable for understanding human dietary variation when large, open access, comparative databases are available.

5.1.2 | Anisotropy

The significant difference between buccal and occlusal anisotropy values from Cova de la Guineu could be explained by different micro-wear formation mechanisms on each surface. High-anisotropy values on the buccal surface could be due to a lack of tooth-to-tooth interaction during chewing in contrast to the occlusal surface. This means

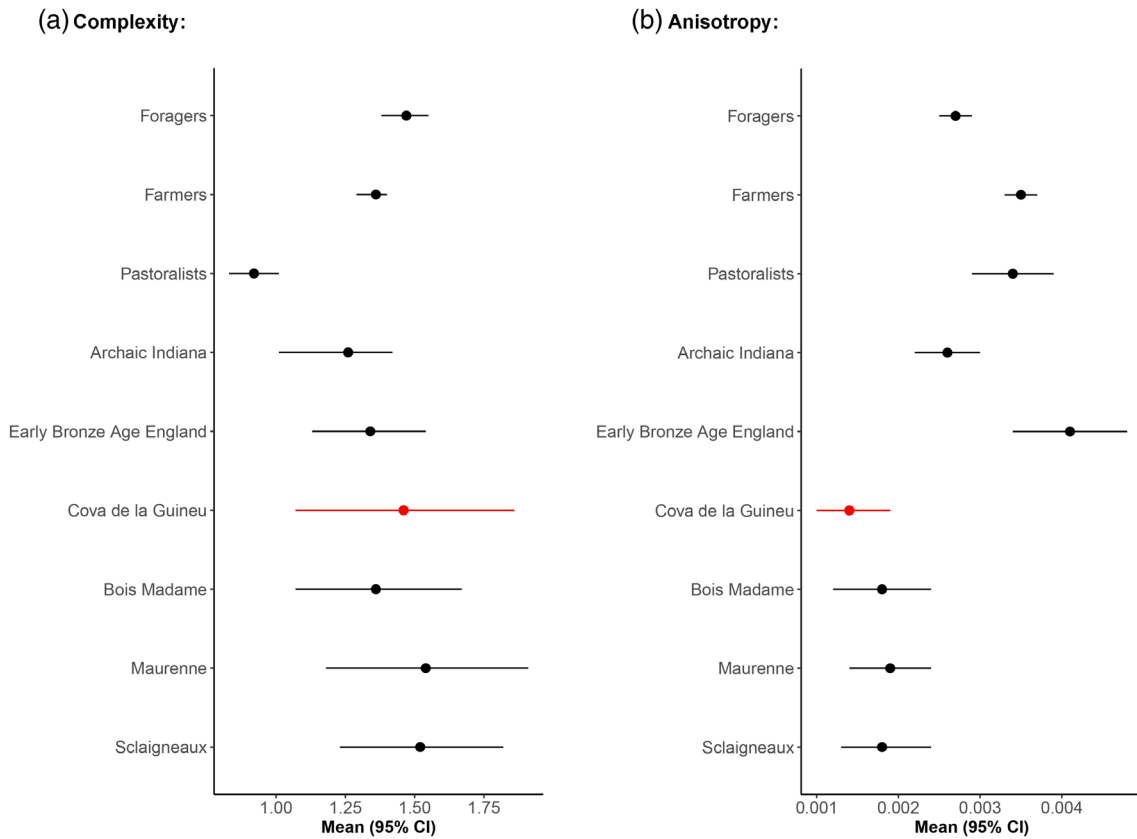


FIGURE 7 Graphic comparison of means and 95% confidence intervals of complexity (a) and anisotropy (b) on occlusal surfaces for Cova de la Guineu and the comparative samples (see Table 2 for descriptions)

TABLE 5 Descriptive statistic for the comparative samples

Population	Asfc				epLsar			
	Mean	N	SD	95% CI	Mean	N	SD	95% CI
Foragers	1.47	168	0.58	1.38–1.55	0.0027	181	0.0013	0.0025–0.0029
Farmers	1.36	385	0.57	1.29–1.40	0.0035	392	0.0018	0.0033–0.0037
Pastoralists	0.92	49	0.31	0.83–1.01	0.0034	49	0.0017	0.0029–0.0039
Archaic Indiana	1.26	34	0.47	1.01–1.42	0.0026	34	0.0011	0.0022–0.0030
Early Bronze Age England	1.34	21	0.44	1.13–1.54	0.0041	21	0.0016	0.0034–0.0048
Bois Madame	1.36	12	0.41	1.07–2.42	0.0018	12	0.0009	0.0012–0.0024
Maurenne	1.54	18	0.74	1.18–1.91	0.0019	18	0.0010	0.0014–0.0024
Sclaigneaux	1.52	15	0.53	1.23–1.82	0.0018	15	0.0011	0.0013–0.0024
Cova de la Guineu	1.46	27	1.00	1.07–1.86	0.0014	27	0.0019	0.0010–0.0019

Abbreviations: N, number of individuals analyzed; SD, Standard deviation; 95% CI, confidence interval of mean at 95%.

that abrasive particles, that would create pits on the occlusal surface, behave differently on the buccal surface where they are dragged and pushed across this surface (Lucas et al., 2013). Under this rationale, higher anisotropies on the buccal surfaces relative to the occlusal surfaces could be congruent with the lack of buccal pitting (Hua et al., 2015). Clearly, greater intergroup sampling is needed, to determine the degree to which buccal microwear reflects or complements DMTA signatures on the occlusal surface.

5.1.3 | Intra-facet variation

Note that the measured and analyzed surfaces within the occlusal facet 9 and buccal lower third are small and only account for a small fraction of the whole surface. Such random sampling of dental surfaces that likely display some degree of intra-surface variation could also influence the assessment of correlations among microwear variables on occlusal and buccal surfaces. Although intra-surface variation

is not usually quantified in dental microwear studies, strong intra-facet variation was detected on facet 9 of deciduous teeth of *Homo sapiens* juveniles from both archeological and extant populations (Bas et al., 2020). Intra-facet variation is also well documented in non-human primates (Krueger et al., 2008) and non-primate mammals (e.g., Ramdarshan et al., 2017; Schulz et al., 2010). The same sampling bias may apply to buccal surfaces: in traditional SEM methodology, the image acquired at 100 \times magnification covers a broad patch of enamel (0.56 mm²), whereas we used the same area as occlusal DMTA (242 x 182 μ m) in this study. Future investigations of correlations among microwear variables measured on occlusal and buccal surfaces should consider the potential effect of intra-surface variation by measuring several loci per surface (e.g., Ackermans et al., 2021).

5.1.4 | Inter-surface variation

As discussed previously, one of the downsides of 2D and 3D dental microwear analyses, regardless of the type of surface considered, is the large number of samples that must be discarded due to different taphonomic issues, poor molds, and other factors (Correia et al., 2021; Hernando, Willman, et al., 2020; Krueger, 2016; Teaford, 2007). In vivo wear is more pronounced on the occlusal surfaces, making facet 9 more likely to be unusable in analyses. Another complicating factor of buccal surface DMTA is the presence of perikymata (Figure 3D), which affect the quantification of complexity and anisotropy and cannot be removed with the MountainsMap software since they are distributed in the entire studied area. In line with Krueger et al. (2021) concerning occlusal surfaces, we suggest that more experimental studies on the characterization of buccal surface DMTA will improve our understanding of buccal microwear formation, turnover, and interpretation of DMTA variables for dietary reconstruction. Likewise, the combination of paired surface data would be an advantage for refining the diet reconstruction interpretation when both surfaces are available for same tooth. Furthermore, it will also allow the inclusion of more samples since the buccal surface is less affected by in vivo wear (Pérez-Pérez, 2004; Aliaga-Martínez et al., 2017), and teeth with high-occlusal wear could be included in the study by analyzing the buccal surface.

5.2 | Dietary reconstruction of Cova de la Guineu

As would be expected, the mean occlusal complexity and 95% confidence intervals from Cova de la Guineu were similar to the other food producing groups examined, with the exception of the pastoralist groups. This indicates that Cova de la Guineu diets were significantly harder and/or abrasive than the soft diets of the pastoralist group from Xiongnu (Karriger et al., 2016; Schmidt et al., 2015; Williams et al., 2020), but comparable to the Neolithic groups from Belgium. The relatively high complexity is generally attributed to hard dietary

items (Xia et al., 2015) and/or relatively high loads of exogenous grit and abrasives in the diet (Lucas et al., 2013; van Casteren et al., 2020). The addition of anisotropy provides greater dietary discrimination, given that Cova de la Guineu and the Neolithic groups cluster around the lower range of anisotropy compared to the rest of the samples. Low anisotropy is generally attributed to eating hard foods, since hard foods require more forceful, uniform jaw movements to break down compared to the homogeneous jaw movements needed to masticate tough and fibrous foods (Schmidt et al., 2019).

Schmidt et al. (2019) hypothesized that differences in complexity and anisotropy between Early (Neolithic and the Early Bronze Age) and Late (Late Bronze Age to medieval period) food producers would correspond to a technological shift in food processing. While they only found significant differences in terms of complexity between earlier and later food producers, this analysis showed that some of those differences may be perceptible on finer chronological scales from the Neolithic to the Early Bronze Age. For instance, anisotropy for Cova de la Guineu and the Belgian Neolithic groups are clearly differentiated from the Early Bronze Age England sample, which indicates that the latter had softer and more processed diets, containing less large abrasive particles or hard foods.

Previous dietary reconstruction based on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses for Cova de la Guineu suggested a mixed diet with the inclusion of C_3 terrestrial resources and animal intake (Villalba-Mouco et al., 2018). Here, high-occlusal complexities suggest high abrasiveness that may be related to the consumption of abundant hard particles such as cereals that contain phytoliths or grit from processing (Gügel et al., 2001; Schmidt et al., 2019; Xia et al., 2015). Similarly, hard and abrasive diets, interpreted as modestly processed, were observed in the contemporaneous Belgian populations (Williams et al., 2020). However, Cova de la Guineu functioned only as a burial cave (Oms et al., 2016), so there are no associated millstones to infer if this abrasive diet is due to coarse processing methods, by the disaggregation of the rock during milling, or hard physical properties of the food consumed, like cereals.

At this point, the buccal surface can provide information corroborating the occlusal results. We cannot rule out the role of food material properties on the formation of the microwear signal (see discussion), but propose that small, hard foods like some cereals could contribute to the occlusal surface pitting. However, the food mechanical properties (e.g., shape) in conjunction with exogenous abrasives (e.g., grit) are also likely contributors to occlusal pitting. Likewise, the same hard food and/or abrasive particles in the bolus would contribute to the high anisotropy on the buccal surface through mastication and compression of the bolus by the tongue and cheek. These movement of the bolus would drag and push hard and/or abrasive particles across the buccal surface and create striations.

Thus, we propose a diet high in exogenous abrasives and/or hard food for the Cova de Guineu individuals based on the combination of occlusal and buccal microwear. This dietary signal is compatible with

the mixed diet suggested by isotopic analyses (Villalba-Mouco et al., 2018) and similar to contemporaneous Belgian populations.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank PACEA laboratory for the access to the confocal microscope and to Alain Queffelec for his help. We want to thank Mikel Arlegi for the bootstrapping statistical advice. R.H is funded by predoctoral URV Martí-Franquès Research Grant (URV 2019PMF-PIPF-59). The Institut Català de Paleoeologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA) has received financial support from the Spanish Ministry of Science and Innovation through the “Maria de Maeztu” program for Units of Excellence (CEX2019-000945-M). This project was partially funded by AGAUR (Ref. 2017SGR1040), URV (Ref. 2019PFR-URV-91), the Marie Skłodowska-Curie Actions (H2020-MSCA-IF-2016 No. 749188), and LabEx LaScArBx, a research program of the Agence Nationale de la Recherche (ANR-10-LABX-52). Cova de la Guineu research has been funded by the research project from the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness HAR2017-86509-P, by the AGAUR's 2017SGR0011 and the Generalitat de Catalunya's Department of culture projects 2014/100482 - CLT009/18/00024. The authors thank the editors and anonymous reviewers for their helpful and constructive comments.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

OPEN RESEARCH BADGES



This article has been awarded Open Data Badge for making publicly available the digitally-shareable data necessary to reproduce the reported results. Data is available at [Open Science Framework](#)

DATA AVAILABILITY STATEMENT

All data generated in this study is available in the “Supplementary Information files” and in an Open Access Repository (10.5281/zenodo.5213857).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Raquel Hernando: Conceptualization (lead); data curation (lead); formal analysis (lead); funding acquisition (equal); investigation (lead); methodology (lead); visualization (lead); writing – original draft (lead).

John C. Willman: Conceptualization (equal); formal analysis (supporting); funding acquisition (lead); supervision (equal); writing – review and editing (supporting).

Antoine Souron: Methodology (supporting); software (supporting); writing – review and editing (supporting).

Artur Cebrià: Funding acquisition (lead); project administration (lead); writing – review and editing (supporting).

F. Xavier Oms: Funding acquisition (lead); project administration (lead); writing – review and editing (supporting).

Juan I. Morales: Funding acquisition (lead); project administration (lead); writing – review and editing (supporting).

Marina Lozano: Formal analysis (supporting); supervision (lead); writing – review and editing (supporting).

ORCID

Raquel Hernando <https://orcid.org/0000-0002-4873-0657>

John C Willman <https://orcid.org/0000-0001-7143-4533>

Antoine Souron <https://orcid.org/0000-0001-7384-4974>

Artur Cebrià <https://orcid.org/0000-0002-5674-4135>

F. Xavier Oms <https://orcid.org/0000-0002-1642-548X>

Juan I. Morales <https://orcid.org/0000-0002-8253-414X>

Marina Lozano <https://orcid.org/0000-0002-6304-7848>

REFERENCES

- Ackermans, N. L., Winkler, D. E., Schulz-Kornas, E., Kaiser, T., Martin, L. F., Hatt, J. M., & Clauss, M. (2021). Dental wear proxy correlation in a long-term feeding experiment on sheep (*Ovis aries*). *Journal of the Royal Society Interface*, 18, 20210139.
- Aliaga-Martínez, A., Romero, A., Galbany, J., Hernández-Aguilar, R. A., & Pérez-Pérez, A. (2017). Buccal dental microwear texture and catarrhine diets. *American Journal of Physical Anthropology*, 163(3), 462–473.
- Arman, S. D., Ungar, P. S., Brown, C. A., DeSantis, L. R. G., Schmidt, C., & Prideaux, G. J. (2016). Minimizing inter-microscope variability in dental microwear texture analysis. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 4(2), 024007. <http://dx.doi.org/10.1088/2051-672x/4/2/024007>
- Bas, M., Le Luyer, M., Kanz, F., Rebay-Salisbury, K., Queffelec, A., Souron, A., ... Bayle, P. (2020). Methodological implications of intra- and inter-facet microwear texture variation for human childhood paleo-dietary reconstruction: Insights from the deciduous molars of extant and medieval children from France. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 31, 102284.
- Correia, M. A., Foley, R., & Mirazón Lahr, M. (2021). Applying dental microwear texture analysis to the living: Challenges and prospects. *American Journal of Physical Anthropology*, 174(3), 542–554. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24133>
- El-Zaatari, S. (2010). Occlusal microwear texture analysis and the diets of historical/prehistoric hunter-gatherers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 20(1), 67–87. <https://doi.org/10.1002/oa.1027>
- Galbany, J., Martínez, L. M., & Pérez-Pérez, A. (2004). Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: Methodological obstacles. *L'Anthropologie*, 42(1), 5–12.
- García-González, R., Carretero, J. M., Richards, M. P., Rodríguez, L., Quam, R., García Gonzalez, R., ... Quam, R. (2015). Dietary inferences through dental microwear and isotope analyses of the lower Magdalenian individual from El Mirón cave (Cantabria, Spain). *Journal of Archaeological Science*, 60, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.03.020>
- Gordon, K. D. (1988). A review of methodology and quantification in dental microwear analysis. *Scanning Microscopy*, 2(2), 1139–1147.
- Gügel, I. L., Grupe, G., & Kunzelmann, K. H. (2001). Simulation of dental microwear: characteristic traces by opal phytoliths give clues to ancient human dietary behavior. *American Journal of Physical Anthropology*, 114(2), 124–138.
- Hara, A. T., Livengood, S. V., Lippert, F., Eckert, G. J., & Ungar, P. S. (2016). Dental surface texture characterization based on erosive tooth wear processes. *Journal of Dental Research*, 95(5), 537–542. <https://doi.org/10.1177/0022034516629941>
- Hernando, R., Fernández-Marchena, J. L., Willman, J. C., Ollé, A., Vergès, J. M., & Lozano, M. (2020). Exploring the utility of optical microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear. *Quaternary International*, 569-570, 5–14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.022>
- Hernando, R., Gamarra, B., McCall, A., Cheronet, O., Fernandes, D., Sirak, K., ... Hajdu, T. (2021). Integrating buccal and occlusal dental microwear with isotope analyses for a complete paleodietary reconstruction of Holocene populations from Hungary. *Scientific Reports*, 11(1), 1–21.

- Hernando, R., Willman, J. C., Vergès, J. M., Vaquero, M., Alonso, S., Oms, X., ... Lozano, M. (2020). Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: A case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(1), 30. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00997-z>
- Hua, L. C., Brandt, E. T., Meulenet, J. F., Zhou, Z. R., & Ungar, P. S. (2015). An in vitro study of dental microwear formation using the BITE Master II chewing machine. *American Journal of Physical Anthropology*, 158(4), 769–775.
- Karriger, W. M., Schmidt, C. W., & Smith, F. H. (2016). Dental microwear texture analysis of Croatian Neandertal molars. *PaleoAnthropology*, 2016, 172–184.
- Krueger, K. L. (2016). Dentition, behavior, and diet determination. In J. D. Irish & G. R. Scott (Eds.), *A companion to dental anthropology* (pp. 396–411). John Wiley & Sons.
- Krueger, K. L., Chwa, E., Peterson, A. S., Willman, J. C., Fok, A., van Heel, B., ... DeLong, R. (2021). Artificial Resynthesis technology for the experimental formation of dental microwear textures. *American Journal of Physical Anthropology*, 176(4), 703–712. [10.1002/ajpa.24395](https://doi.org/10.1002/ajpa.24395)
- Krueger, K. L., Scott, J. R., Kay, R. F., & Ungar, P. S. (2008). Dental microwear textures of “Phase I” and “Phase II” facets. *American Journal of Physical Anthropology*, 137(4), 485–490.
- Lalueza, C., Pérez-Perez, A., & Turbón, D. (1996). Dietary inferences through buccal microwear analysis of middle and upper Pleistocene human fossils. *American Journal of Physical Anthropology*, 100(3), 367–387.
- Lucas, P., Omar, R., Al-Fadhalah, K., Almusallam, A., Henry, A., Michael, S., ... Atkins, A. (2013). Mechanisms and causes of wear in tooth enamel: Implications for hominin diets. *Journal of the Royal Society Interface*, 10(80), 20120923. <https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0923>
- Mahoney, P., Schmidt, C. W., Deter, C., Remy, A., Slavin, P., Johns, S. E., ... Nystrom, P. (2016). Deciduous enamel 3D microwear texture analysis as an indicator of childhood diet in medieval Canterbury, England. *Journal of Archaeological Science*, 66, 128–136.
- Maier, W., & Schneck, G. (1982). Functional morphology of hominoid dentitions. *Journal of Human Evolution*, 11(8), 693–696.
- Martin, F., Plastiras, C. A., Merceron, G., Souron, A., & Boissierie, J. R. (2018). Dietary niches of terrestrial cercopithecines from the Plio-Pleistocene Shungura formation, Ethiopia: Evidence from dental microwear texture analysis. *Scientific Reports*, 8(1), 1–13.
- Mihlbachler, M. C., Foy, M., & Beatty, B. L. (2019). Surface replication, Fidelity and data loss in traditional dental microwear and dental microwear texture analysis. *Scientific Reports*, 9(1), 1595. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37682-5>
- Oms, F. X., Cebrià, A., Mestres, J., Morales, J. I., Pedro, M., & Vergès, J. M. (2016). Campaniforme i metal·lúrgia en un espai sepulcral del III mil·lenni cal. BC: la Cova de la Guineu (Font-rubí, Alt Penedès). *Jornades d'Arqueologia Del Penedès*, 203, 109–116.
- Pérez-Pérez, A., Espurz, V., de Castro, J. M. B., de Lumley, M. A., & Turbón, D. (2004). Non-occlusal dental microwear variability in a sample of middle and late Pleistocene human populations from Europe and the near east. *Journal of Human Evolution*, 44(4), 497–513.
- Pérez-Pérez, A., Lalueza, C., & Turbón, D. (1994). Intraindividual and intra-group variability of buccal tooth striation pattern. *American Journal of Physical Anthropology*, 94(2), 175–187. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330940203>
- Puech, P.-F. (1979). The diet of early man: Evidence from abrasion of teeth and tools. *Current Anthropology*, 20(3), 590–592. <https://doi.org/10.1086/202335>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing <https://www.r-project.org/>
- Ramdarshan, A., Blondel, C., Gautier, D., Surault, J., & Merceron, G. (2017). Overcoming sampling issues in dental tribology: Insights from an experimentation on sheep. *Palaeontologia Electronica*, 20(3), 1–19.
- Ranjitkar, S., Turan, A., Mann, C., Gully, G., Marsman, M., Edwards, S., Kaidonis, J., Hall, C., Lekkas, D., & Wetselaar, P. (2017). Surface-sensitive microwear texture analysis of attrition and erosion. *Journal of Dental Research*, 96(3), 300–307. [10.1177/2F0022034516680585](https://doi.org/10.1177/2F0022034516680585)
- Rodríguez-Rojas, F., Borrero-Lopez, O., Constantino, P. J., Henry, A. G., & Lawn, B. R. (2020). Phytoliths can cause tooth wear. *Journal of the Royal Society Interface*, 17(172), 20200613.
- Romero, A., Galbany, J., Juan, D., Pe, A., De Juan, J., & Pérez-Pérez, A. (2012). Short- and long-term in vivo human buccal-dental microwear turnover. *American Journal of Physical Anthropology*, 148, 467–472. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22054>
- Romero, A., Ramírez-Rozzi, F. V., De Juan, J., & Pérez-Pérez, A. (2013). Diet-related buccal dental microwear patterns in central African pygmy foragers and bantu-speaking farmer and pastoralist populations. *PLoS One*, 8(12), e84804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084804>
- Schmidt, C. W., Beach, J. J., McKinley, J. I., & Eng, J. T. (2015). Distinguishing dietary indicators of pastoralists and agriculturists via dental microwear texture analysis. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 4(1), 14008. <https://doi.org/10.1088/2051-672x/4/1/014008>
- Schmidt, C. W., El Zaatari, S., & Van Sessen, R. (2020). Dental microwear texture analysis in bioarchaeology. In C. W. Schmidt & J. T. Watson (Eds.), *Dental Wear in evolutionary and biocultural contexts* (pp. 143–168). Elsevier.
- Schmidt, C. W., Remy, A., Van Sessen, R., Willman, J., Krueger, K., Scott, R., ... D'Anastasio, R. (2019). Dental microwear texture analysis of *Homo sapiens sapiens*: Foragers, farmers, and pastoralists. *American Journal of Physical Anthropology*, 169, 207–226. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23815>
- Schulz, E., Calandra, I., & Kaiser, T. M. (2010). Applying tribology to teeth of hoofed mammals. *Scanning*, 32(4), 162–182.
- Scott, R. S. (2005). Dental microwear texture analysis reflects diets of living primates and fossil hominins. *Nature*, 436, 693–695.
- Scott, R. S., Teaford, M. F., & Ungar, P. S. (2012). Dental microwear texture and anthropoid diets. *American Journal of Physical Anthropology*, 147(4), 551–579. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22007>
- Scott, R. S., Ungar, P. S., Bergstrom, T. S., Brown, C. A., Childs, B. E., Teaford, M. F., & Walker, A. (2006). Dental microwear texture analysis: Technical considerations. *Journal of Human Evolution*, 51(4), 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2006.04.006>
- Scott, R. S., Ungar, P. S., Bergstrom, T. S., Brown, C. A., Grine, F. E., Teaford, M. F., & Walker, A. (2005). Dental microwear texture analysis shows within-species diet variability in fossil hominins. *Nature*, 436(7051), 693–695.
- Tausch, J., Kullmer, O., & Bromage, T. G. (2015). A new method for determining the 3D spatial orientation of molar microwear. *Scanning*, 37(6), 446–457.
- Teaford, M. F. (2007). Dental microwear and paleoanthropology: Cautions and possibilities. In S. E. Bailey & J. J. Hublin (Eds.), *Dental perspectives on human evolution: State of the art research in dental paleoanthropology* (pp. 345–368). Springer.
- Teaford, M. F., & Lytle, J. D. (1996). Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: A case study involving stone-ground maize. *American Journal of Physical Anthropology*, 100(1), 143–147.
- Teaford, M. F., Ungar, P. S., Taylor, A. B., Ross, C. F., & Vinyard, C. J. (2020). The dental microwear of hard-object feeding in laboratory *Sapajus apella* and its implications for dental microwear formation. *American Journal of Physical Anthropology*, 171(3), 439–455.
- Ungar, P. S., Brown, C. A., Bergstrom, T. S., & Walker, A. (2003). Quantification of dental microwear by tandem scanning confocal microscopy and scale-sensitive fractal analyses. *Scanning: The Journal of Scanning Microscopies*, 25(4), 185–193. <https://doi.org/10.1002/sca.4950250405>
- van Casteren, A., Lucas, P. W., Strait, D. S., Michael, S., Bierwisch, N., Schwarzer, N., Al-Fadhalah, K. J., Almusallam, A. S., Thai, L. A., &

- Saji, S. (2018). Evidence that metallic proxies are unsuitable for assessing the mechanics of microwear formation and a new theory of the meaning of microwear. *Royal Society Open Science*, 5(5), 171699.
- van Casteren, A., Strait, D., Swain, M., Michael, S., Thai, L., Philip, S., ... Lucas, P. (2020). Hard plant tissues do not contribute meaningfully to dental microwear: Evolutionary implications. *Scientific Reports*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57403-w>
- Villalba-Mouco, V., Sarasketa-Gartzia, I., Utrilla, P., Oms, F. X., Mazo, C., Mendiola, S., ... Salazar-García, D. C. (2018). Stable isotope ratio analysis of bone collagen as indicator of different dietary habits and environmental conditions in northeastern Iberia during the 4th and 3rd millennium cal BC. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(8), 3931–3947. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0657-z>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Williams, F. L., Schmidt, C. W., & Droke, J. L. (2020). The diet of late Neolithic farmers of the Belgian Meuse basin inferred using dental microwear texture analysis. *Anthropologica et Praehistorica*, 129(2018), 73–86.
- Xia, J., Zheng, J., Huang, D., Tian, Z. R., Chen, L., Zhou, Z., ... Qian, L. (2015). New model to explain tooth wear with implications for microwear formation and diet reconstruction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10669–10672.

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information may be found in the online version of the article at the publisher's website.

How to cite this article: Hernando, R., Willman, J. C., Souron, A., Cebrià, A., Oms, F. X., Morales, J. I., & Lozano, M. (2022). What about the buccal surfaces? Dental microwear texture analysis of buccal and occlusal surfaces refines paleodietary reconstructions. *American Journal of Biological Anthropology*, 178(2), 347–359. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24509>

6.2. Resultados de los grupos arqueológicos

En esta sección se van a presentar los resultados obtenidos a través del análisis del microdesgaste dental de los grupos analizados en la presente Tesis Doctoral. En este bloque se abordan dos líneas de estudio, la primera se centra en el estudio de la dieta de los individuos infantiles con microscopía electrónica de barrido. Mientras que la segunda parte se ha basado en el estudio de la dieta de los individuos adultos mediante microscopía óptica. Sobre la primera temática se presentan dos artículos científicos publicados en las revistas indexadas *Munibe Antropologia-Arkeologia* y *Archaeological and Anthropological Sciences*. Por otro lado, la segunda temática se presenta en forma de trabajo todavía inédito, pendiente de publicación.

Artículo 3: Hernando, R., Lozano Ruiz, M., Ceperuelo, D., Alonso Alegre, S., & Vaquero Rodríguez, M. (2019). Los niños de La Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo): análisis morfológico, patológico y del microdesgaste dental. *Munibe Antropologia-Arkeologia*.

Artículo 4: Hernando, R., Willman, J. C., Vergès, J. M., Vaquero, M., Alonso, S., Oms, X., ... & Lozano, M. (2020). Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: A case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(1), 1-13. DOI: 10.1007/s12520-019-00997-z. DOI: 10.21630/maa.2019.70.17.

Artículo 5: Hernando, R., Moreno-Ibáñez, M.A., Alluè, E., Cebrià, A., Daura, J., Díez-Canseco, C., Edo, M., Fullola, J.M., Morales, J.I., Oms, X., Ramírez, I., Sanz, M., Subirá, E., Tornero, C., Vergès, J.M., Lozano, M. Reconstrucción diacrónica del patrón dietético y economías de subsistencia de diferentes grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica (*Inédito*).

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

6.2.1. Los niños de La Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo): Análisis morfológico, patológico y del microdesgaste dental

Este artículo presenta un análisis holístico de los restos dentales pertenecientes a tres individuos infantiles del yacimiento de la Edad del Bronce de la Cueva de Valdavara (Becerreá, Lugo), mediante diferentes aproximaciones metodológicas, como es el microdesgaste dental, el estudio anatómico externo e interno, y el análisis de patologías. El objetivo de este estudio es obtener una visión más completa de los factores bioculturales (por ejemplo, salud oral, dieta, procesamiento del alimento) que afectaron a la vida de estos individuos. Los resultados muestran una buena salud oral en los tres individuos, siendo destacable la presencia de agenesia de los premolares inferiores en el individuo III identificada mediante el análisis con tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Finalmente, los patrones del microdesgaste dental en la superficie bucal revelan una alta abrasividad de los alimentos consumidos, posiblemente por un escaso procesamiento previo de los mismos.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

MUNIBE Antropologia-Arkeologia	nº 70	Online First	DONOSTIA	2019	ISSN 1132-2217 • eISSN 2172-4555
--------------------------------	-------	--------------	----------	------	----------------------------------

Recibido: 2019-07-09
Aceptado: 2019-12-06

Los niños de La Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo): Análisis morfológico, patológico y del microdesgaste dental

The children from Valdavara Cave (Becerreá, Lugo): A morphological, pathological and dental microwear analyses

PALABRAS CLAVES: Subadultos, Edad del Bronce, patologías, CBCT, dieta y agenesia.

GAKO-HITZAK: Aziphelduak, Brontze Aroa, patologiak, CBCT.

KEY WORDS: Subadults, Bronze Age, pathologies, CBCT, diet, agenesis.

R. HERNANDO^(1,2*), M. LOZANO^(1,2), D. CEPERUELO⁽³⁾, S. ALONSO^(1,2) y M. VAQUERO^(1,2)

RESUMEN

Este artículo presenta un análisis holístico de los restos dentales pertenecientes a tres individuos infantiles del yacimiento de la Edad del Bronce de la Cueva de Valdavara (Becerreá, Lugo), mediante diferentes aproximaciones metodológicas, como es el microdesgaste dental, el estudio anatómico externo e interno, y el análisis de patologías. El objetivo de este estudio es obtener una visión más completa de los factores bioculturales (salud oral, dieta, procesamiento del alimento...) que afectaron a la vida de estos individuos. Los resultados muestran una buena salud oral en los tres individuos, siendo destacable la presencia de agenesia dental en el individuo III identificada mediante el análisis con tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Finalmente, los patrones del microdesgaste dental en la superficie bucal revelan una alta abrasividad de los alimentos consumidos, posiblemente por un escaso procesamiento previo de los mismos.

LABURPENA

Artikulu honek Valdavara leizeko (Becerreá, Lugo) Brontze Aroko aztarnategiko hiru haurren hortz hondakinen azterketa holistikoa dakar. Hurbilketa metodologiko bat baino gehiago erabili ditugu azterketa egiteko; hala nola hortzen mikrohigadura, kanpoko eta barneko azterketa anatomikoa eta patologien analisia. Azterlan honen helburua banako haien bizitzetara eragin zuten faktore biokulturalen (ahoko osasuna, dieta, elikagaien prozesatzea...) ikuspegi osoagoa eskuratzea da. Emaitzek erakusten dute hiru banakoek ahoko osasuna ona zutela eta aipagarria da III. banakoan hortzetako agenesia azaldu izana. Sorta konikoko ordenagailu bidezko tomografiaren (CBCT) bidez identifikatu zen agenesia hori. Azkenik, ahoko hortzen mikrohigaduraren patroiek erakusten du kontsumitzen zituzten elikagaiak oso urratzaileak zirela, agian, aurrez gutxi prozesatzen zituztelako.

ABSTRACT

This article presents a holistic analysis of the dental remains belonging to three children from the Bronze Age site of Valdavara Cave (Becerreá, Lugo), through different methodological approaches, such as dental microwear, external and internal anatomical study, and the analysis of pathologies. The aim of this study is to obtain a comprehensive perspective of the biocultural factors (oral health, diet, food processing...) that affected the life of these individuals. The results show a good oral health in the three individuals, being remarkable the presence of dental agenesis on the individual III, identified by the analysis with cone beam computed tomography (CBCT). Finally, dental microwear patterns on the buccal surface reveal a high abrasiveness of the diet, possibly due to a scarce processing of the food.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio en profundidad de individuos infantiles procedentes de contextos arqueológicos es un tema cada vez más recurrente en bioarqueología, debido a que los niños no son sólo un indicador excelente de la salud de una población, sino que pueden aportar infor-

mación valiosa sobre diferentes aspectos bioculturales (Halcrow y Tayles, 2008; Cintas-Peña et al. 2018; King et al. 2018). Sin embargo han sido sistemáticamente olvidados o no incluidos en muchos trabajos arqueológicos y antropológicos. Una de las causas principales es la fragilidad de sus restos, lo cual hace que tengan una

⁽¹⁾ Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain.

⁽²⁾ IPHES. Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social. Zona Educacional 4, Edifici W3, Campus Sescelades 43007. Tarragona, Spain.

⁽³⁾ Department of Restorative Dentistry and Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya, C/Josep Trueta s/n, Sant Cugat del Vallès, 08195 Barcelona, Spain.

*Corresponding author (r.hernando90@gmail.com)

menor conservación, además de una representación desigual de los mismos en los yacimientos ya sea por cuestiones culturales o sociales. Todo esto se resume en una infrarrepresentación en los registros arqueológicos (Gibaja et al. 2010), lo que implica que no siempre sea posible realizar análisis en profundidad de los mismos. No obstante, desde hace algún tiempo, los estudios de los individuos infantiles procedentes de contextos arqueológicos están en auge gracias a la integración de las perspectivas biológica y social (Halcrow y Tayles, 2008; Cunha et al. 2015; Cintas-Peña et al. 2018).

En este contexto de creciente interés por el análisis de individuos infantiles es donde enmarcamos nuestro trabajo centrado en el yacimiento de la Cueva de Valdavara (Becerreá, Lugo). En este sistema kárstico se han diferenciado tres localizaciones, Valdavara 1, Valdavara 2 y Valdavara 1-2 (Figura 1). Valdavara 1 es la cavidad principal y contiene una secuencia con niveles de la Prehistoria Reciente y del Paleolítico Superior. Valdavara 2 es otra pequeña cavidad situada 6 m por debajo de Valdavara 1. Finalmente, se dio la denominación de Valdavara 1-2 a la vertiente intermedia entre ambas cavidades. En Valdavara 2 se ha recuperado un conjunto de restos humanos infantiles, destacando la buena conservación de los mismos, especialmente de su dentición. Por ello, vamos a centrarnos en el análisis de los restos dentales, maxilares y mandibulares de los individuos infantiles recuperados en el nivel 3 de Valdavara 2.

Los restos dentales ofrecen una gran cantidad de información sobre la vida de los individuos ya que se pueden abordar no solo aspectos anatómicos y biológicos como son su desarrollo, crecimiento, y salud en general, sino también aspectos culturales sobre su dieta y estilo de vida a través de análisis más específicos como es el microdesgaste dental (El Zaatari, 2010; Mahoney et al. 2016; Pérez-Pérez et al. 2003; Romero et al. 2013; Schmidt et al. 2015; Schmidt et al. 2019). Además, el hecho de que se conserven mucho mejor que otros elementos esqueléticos ha propiciado el desarrollo de numerosas metodologías para su análisis dando como resultado infinidad de estudios. En este trabajo vamos a aplicar algunas de estas metodologías para caracterizar diversos aspectos de los individuos infantiles de este yacimiento. De este modo, además de la descripción de las características anatómicas de los restos, se procederá a un análisis de los conductos radiculares dentales mediante análisis de imágenes de CBCT y el establecimiento de patrones de microdesgaste dental para determinar la dieta de estos individuos.

Precisamente, la reconstrucción de las dietas de poblaciones del pasado es uno de los temas más tratados en antropología dental a través de diferentes aproximaciones, como, por ejemplo, el estudio de patologías, el macrodesgaste dental, los análisis isotópicos o el microdesgaste dental (Ventresca-Miller et al. 2017; Mays et al. 2017; Scott y Halcrow, 2017). Este último es

una herramienta muy útil para caracterizar y diferenciar la dieta de las poblaciones del pasado (Romero et al. 2013; Schmidt et al. 2015; Schmidt et al. 2019), la cual nos permite identificar las propiedades físicas de los alimentos, como son la dureza y la abrasividad, y con ello inferir como fueron procesados los alimentos antes de ser consumidos (Grine, 1986; Lalueza et al. 1996; Pérez-Pérez et al. 2003).

El objetivo de este estudio es, por tanto, inferir las condiciones de vida de estos individuos infantiles, así como otros factores socioculturales a través de diferentes aproximaciones metodológicas (microdesgaste dental, estudio anatómico externo e interno, y análisis de patologías).

1.1 La Cueva de Valdavara

El yacimiento de Valdavara está ubicado en el Concello de Becerreá (Lugo), a una altitud de unos 600 m s.n.m, y se compone de tres localizaciones (Valdavara 1, Valdavara 2 y Valdavara 1-2), que forman parte del sistema kárstico que rodea al municipio de Becerreá (Figura 1). Es una zona de rocas arenosas y pizarrosas, con un predominio de las formaciones calcáreas. Los restos humanos objeto de estudio en este trabajo proceden del nivel 3 de Valdavara 2, el cual se caracteriza por una ausencia de elementos de cultura material y un conjunto faunístico relativamente abundante formado por restos de gran bóvido, ciervo común, caprino, carnívoros y lepóridos (Vaquero et al. 2009).

El conjunto de restos humanos tiene una cronología del Bronce Medio, como indican dos dataciones ^{14}C AMS de 3250 ± 40 años BP (3.600-3360 años cal. BP) y 3270 ± 40 años BP (3.600-3.400 años cal. BP), realizadas sobre huesos humanos (Vaquero et al. 2009). El escaso número de restos, su disposición, así como la naturaleza de los mismos ha llevado a concluir que, en ese momento del Bronce Medio, Valdavara 2 podría haber sido un lugar de enterramiento secundario debido a que los elementos recuperados son huesos de mayor tamaño fácilmente reconocibles estando los elementos de tamaño medio y pequeño como los huesos de manos y pies, ausentes (Vaquero et al. 2009). Cabe mencionar que entre el III y el II milenio AC hay una gran variabilidad de tipologías funerarias, no obstante, debido a la escasez de yacimientos de carácter funerario en esta área geográfica y de cronología similar no podemos determinar si el enterramiento infantil en cavidades fue la norma general en esa área (Vaquero et al. 2009). De hecho, el referente más cercano tanto geográfica como cronológicamente (4500 ± 35 BP) se encuentra en el enterramiento de Pala da Vella (Rubiá, Ourense), en el que se han encontrado escasos restos humanos, pero no de individuos infantiles (Fernández y Villar, 2003).

Los restos humanos encontrados pertenecen a tres individuos infantiles y no hay constancia de restos humanos correspondientes a individuos adultos. No se ha podido determinar si la ausencia de individuos adultos



Fig. 1. Fotografía de la Cueva de Valdavara mostrando las tres localizaciones, Valdavara 1, Valdavara 2 y Valdavara 1-2. / Photograph of Valdavara Cave showing the three sites, Valdavara 1, Valdavara 2 y Valdavara 1-2.

está relacionada con el hecho de ser un enterramiento secundario, en el que individuos infantiles y adultos habrían sido tratados de manera distinta.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los restos humanos analizados en este artículo se corresponden con los restos dentales, maxilares y mandibulares recuperados en el nivel 3 de este yacimiento. La totalidad del conjunto recuperado asciende a 55 restos humanos, formado tanto por restos dentales, como craneales y postcraneales.

Las cuestiones relativas al estudio anatómico han tenido en cuenta tanto el elemento anatómico como la determinación de la edad de muerte mediante la valoración de desarrollo dental (formación de corona y raíz), secuencia de erupción y desgaste oclusal.

La identificación anatómica de los restos dentales se ha realizado siguiendo los estándares anatómicos y de terminología establecidos internacionalmente (Carlsen, 1987; Hillson, 1996). Dado que una gran parte de los dientes conservados están en formación, para poder establecer la edad de muerte de los individuos se ha determinado el estado de desarrollo tanto de la

corona como de la raíz dental. Además, en el caso de los dientes *in situ* en mandíbula y maxilar, se ha determinado la secuencia de erupción dental para estimar con mayor precisión la edad de muerte de los individuos (Schour y Massler, 1941; Moorrees et al. 1963; Molnar, 1971; Smith, 1984; Hillson, 1996; Alqahtani et al., 2010).

En concreto, para analizar la anatomía interna de los dientes y el estado de desarrollo de los mismos hemos utilizado imágenes de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) obtenidas con un equipo Planmeca Promax 3D. Este método permite identificar los dientes que no han iniciado el proceso de emergencia y erupción dental, y, por tanto, no son visibles a simple vista. La principal ventaja de esta metodología es el poder realizar exploraciones tridimensionales del esqueleto maxilofacial con una dosis de radiación inferior a otras, como la tomografía computarizada (TC), y con mayor precisión a otros métodos tradicionales como la radiografía. El tiempo de exposición del CBCT se encuentra entre 10 y 40 segundos dependiendo del tipo de escáner y de los parámetros seleccionados principalmente. El tratamiento de las imágenes y los datos registrados se ha llevado a cabo con el software Plan-

meca Romexis® que las reconstruye y permite visualizarlas en su visión coronal, sagital y axial. Cada proyección de la imagen compone una matriz de píxeles, concretamente 512 x 512 píxeles. El conjunto de datos obtenidos del CBCT lo forman unas 580 matrices individuales aproximadamente, que posteriormente son reducidos en datos tridimensionales de 100 millones de vóxeles. La composición de la nueva imagen se realiza en pocos minutos (Scarfe y Farman, 2008).

El microdesgaste dental en la superficie bucal, fue analizado a través de un microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA) FEI Quanta 600, que se encuentra en el Servicio de Recursos Científicos y Técnicos de la Universidad Rovira i Virgili (Tarragona), en condiciones de bajo vacío, observando la superficie bucal directamente sobre los originales a 100x, centrándonos en la superficie medial del diente (Galbany et al. 2004). Los parámetros del MEBA se fijaron según la metodología: 20 kV de voltaje y un "spot size" de 4.5 (Galbany et al. 2004). Sólo las imágenes que muestran claramente características de microdesgaste *antemortem* fueron escogidas para los análisis (Pérez – Pérez et al. 2003). Las imágenes seleccionadas fueron tratadas y cortadas con un área de 0.56 mm² (Galbany et al. 2004).

Empleando el software libre ImageJ (Schneider, 2012), se hace un recuento del número total de estrías (NT) y de la longitud de las mismas (XT) en micrómetros. Además, se registró la orientación de las estrías en cuatro categorías, de 0° a 180° en intervalos de 45°: verticales (V), horizontales (H), mesiodistales (MD) y distomesiales (DM), (Pérez–Pérez et al. 1994).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción morfológica y asignación a individuos:

En el nivel 3 se han recuperado 12 restos dentales, entre dientes aislados y fragmentos mandibulares y maxilares. Análisis previos (Vaquero et al. 2009) concluyeron la presencia de dos individuos en este conjunto, no obstante, el análisis anatómico de la totalidad de los restos al finalizar la excavación del nivel arqueológico unidos con análisis genéticos de las muestras (González-Fortes et al. 2019) han permitido determinar la presencia de tres individuos.

A continuación, se describen los restos, designándolos como Individuo I, Individuo II e Individuo III.

Individuo I:

El individuo 1, además de los restos dentales, que describiremos pormenorizadamente a continuación, conserva un temporal izquierdo, un fragmento de escápula, 1 fragmento de húmero y 1 de peroné (Vaquero et al. 2009).

- Val2-08-Niv3-S17-R3, este resto se corresponde con un primer incisivo superior derecho perteneciente a la dentición decidua. La corona dental está total-

mente formada, pero su estado de mineralización, así como el grado de desarrollo de la raíz, con solamente el tercio cervical formado, indican que este diente es un germen dental en formación y no erupcionado en el momento de la muerte del individuo.

- Val2-08-Niv3-S17-R2, este diente es el antímero del anterior, un primer incisivo superior izquierdo perteneciente a la dentición decidua. Muestra la corona dental totalmente formada y la raíz en un estado de desarrollo ligeramente más avanzado que su antímero. Debido a la mineralización de la corona dental, podemos indicar que estaría empezando a emerger en la cavidad bucal.
- Val2-08-Niv3-S17-R1, es un primer incisivo inferior izquierdo deciduo con la corona totalmente formada y la raíz prácticamente a la mitad de su desarrollo. Es probable que estuviera iniciando su emergencia.
- Val2-08-Niv3-S17-lavado-a, este diente es un segundo incisivo superior derecho deciduo con la corona totalmente formada. Parte de la raíz está rota postdeposicionalmente, pero la zona conservada indica que aún no había alcanzado la mitad de su desarrollo. Este diente aún no habría irrumpido en la cavidad oral.
- Val2-08-Niv3-S17-lavado-b, es un segundo incisivo inferior izquierdo deciduo con la corona totalmente formada y la raíz en estado prácticamente de la mitad de su desarrollo. Es muy probable que estuviera en fase de emergencia.
- Val2-09-Niv3-S17-130, este resto representa un germen dental de un segundo molar inferior izquierdo deciduo. Su estado de formación es inicial ya que solamente está formada la mitad de la corona, habiéndose desarrollado las cinco cúspides y la morfología de la superficie oclusal características de los segundos molares deciduos.
- Val2-08-Niv3-S17-R4, este diente está representado por la corona totalmente formada de un primer molar superior izquierdo de la dentición decidua. La raíz está iniciando su formación.
- Val2-09-Niv3-S17-129, este resto es un fragmento mandibular derecho con los alvéolos de los molares expuestos por mala conservación del hueso alveolar lingual. Perteneció a un individuo infantil con la dentición decidua en formación ya que en uno de los alvéolos conserva el germen de la corona dental de un segundo molar inferior derecho con la corona en tres cuartos de su formación, estando totalmente desarrolladas las cinco cúspides y la morfología oclusal de este tipo de dientes. Todavía no hay indicios de desarrollo de la raíz.

Individuo II:

El segundo individuo fue identificado a partir del neurocráneo y tiene asociados otros huesos del postcráneo como un fragmento de escápula, 1 fragmen-

to de húmero, 3 fragmentos de peroné y 1 fragmento de tibia, además de dientes aislados y fragmentos de maxilar con dientes deciduos erupcionados (Vaquero et al. 2009).

- Val2-08-Niv3-S17-145, es un fragmento de maxilar derecho bien conservado con dientes deciduos erupcionados y permanentes en formación. Los dientes deciduos, un canino y el primer molar decido, están totalmente erupcionados y formados, incluidos la raíz.

Es destacable el elevado desgaste oclusal que presentan ambos dientes deciduos con gran exposición de dentina. El canino ha perdido más de la mitad de la altura de la corona y en la superficie oclusal solamente conserva un fino reborde de esmalte. En el caso del primer molar, el desgaste oclusal es acusado habiendo perdido las cúspides y aflorando la dentina en la práctica totalidad de esta superficie. En un estadio próximo a la erupción dental se encuentra el primer molar permanente con la corona totalmente formada y desarrollada la mitad de su raíz.

Finalmente, los premolares, tanto Pm3 como Pm4, están *in situ* en el interior del maxilar con la corona en formación. En el primer premolar se distingue un con-

ducto para cada raíz, el vestibular y el lingual (Figura 2). En el segundo premolar no es valorable la conformación de los conductos radiculares ya que no se ha completado la formación de la corona, ni tan solo un tercio de la raíz. En el momento de la muerte del individuo aún estaba presente el diente que lo precede, segundo molar decido, y hasta que no avance la formación del segundo premolar el temporal no se exfoliará, y por este motivo no se ha iniciado aún la rizólisis en las raíces del molar decido. El primer molar superior se describen dos conductos radiculares en la raíz mesio-vestibular que se unen en el tercio medio, llegando a ser conducto único en apical. En la raíz disto-vestibular y palatina sólo se identifica un conducto por raíz. El segundo molar definitivo insinúa a nivel coronal (en cámara pulpar) un conducto radicular por cada raíz, mesio-vestibular, disto-vestibular y palatina, pero no podemos describirla con exactitud ya que no está completada la conformación de las raíces.

- Val2-09-Niv3-S17-168, es un fragmento de cuerpo maxilar izquierdo (zona del clivus nasoalveolar) que remonta con el resto anterior, indicando que pertenecen al mismo individuo. No conserva ningún diente erupcionado *in situ*, pero sí dientes permanentes en el interior de los alvéolos. El primer y segundo

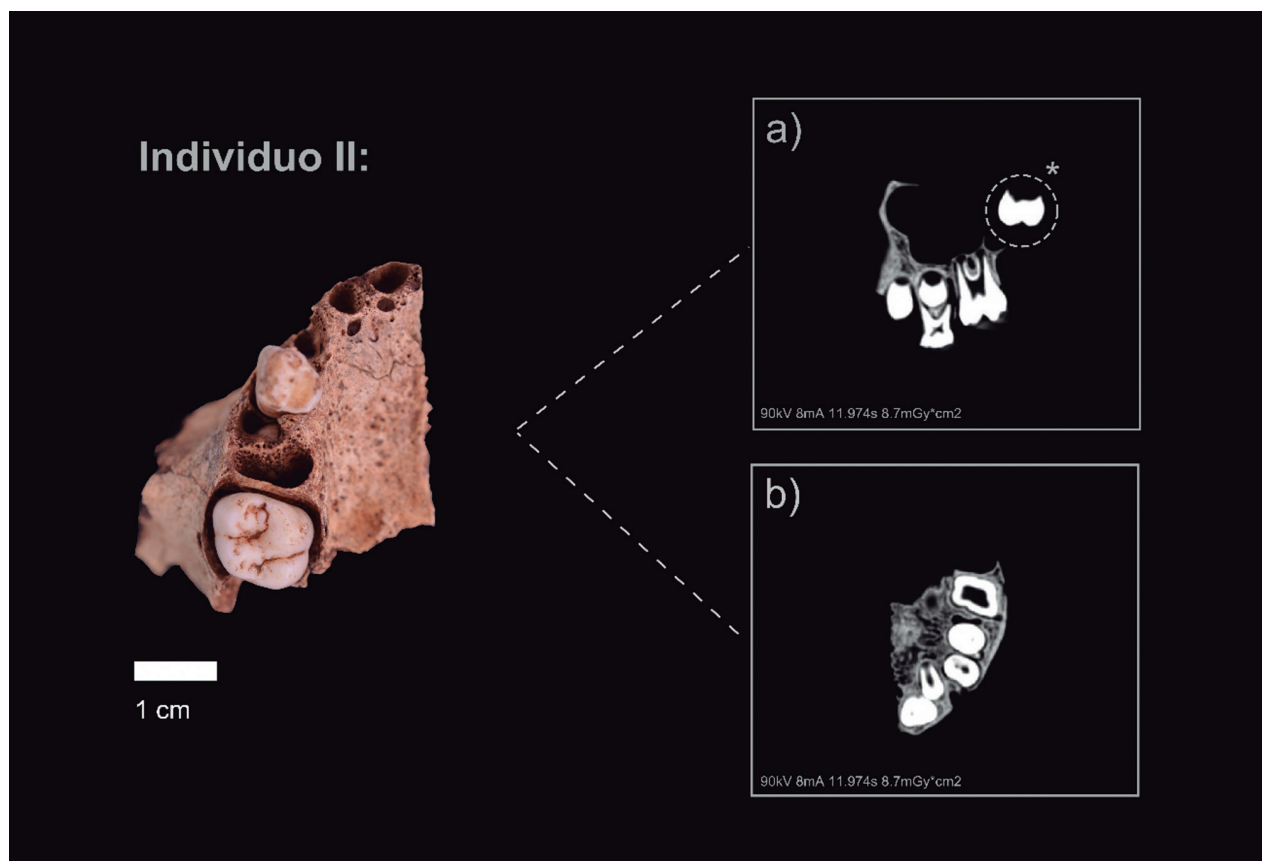


Fig. 2. Cara oclusal del fragmento maxilar derecho perteneciente al individuo II. a) CBCT en posición lateral (antero-posterior). * Es el germen aislado del segundo molar permanente. b) CBCT en posición oclusal del fragmento maxilar. / Occlusal view of the right maxilla from individual II. a) Lateral position on CBCT in anterior-posterior. * Isolated germen from the second permanent molar.

incisivo están en fase de formación con la corona totalmente formada, mientras que el canino aún no ha completado su conformación coronal. Sin embargo, ninguno de los tres ha superado la cresta alveolar haciendo acto de presencia en la cavidad oral.

- Val2-09-Niv3-S17-145b, este diente es un germen de un segundo molar superior derecho de la dentición permanente. La corona, con tres cúspides principales, está totalmente formada, y la raíz ha iniciado su desarrollo. Sin embargo, no es valorable el estudio de los conductos radiculares al estar la raíz en una fase inicial de su desarrollo.

Individuo III:

Este individuo solamente tiene asignado un fragmento de mandíbula con diversos dientes *in situ*.

- Val2-09-Niv3-S17-146: es el fragmento de mandíbula bien conservada a excepción de las ramas mandibulares perdidas post mortem. El cuerpo mandibular está prácticamente completo en el lado izquierdo llegando a la altura del inicio de la rama mandibular pero no se ha conservado el surco extra-molar. En cambio, en el lado derecho la rotura es anterior a la altura del alveolo del segundo molar. El cuerpo mandibular está completo, aunque hay pérdida postmortem de parte del hueso alveolar en

bucal dejando entrever los gérmenes de los dientes anteriores. En la mandíbula, se conservan tanto dientes deciduos erupcionados como dientes permanentes en formación en el interior de los alvéolos. Debido a que los huesos alveolares están rotos pueden apreciarse a simple vista los dientes en formación. Los segundos incisivos y caninos eran dientes funcionales e *in situ* en el momento de la muerte del individuo. Sin embargo, se han perdido postdeposicionalmente. Los dientes deciduos que se conservan son los primeros molares tanto izquierdo como derecho y el segundo molar derecho. Si analizamos las imágenes obtenidas por CBCT podemos determinar que los incisivos centrales permanentes, tanto el derecho como el izquierdo, se encuentran en período de erupción, puesto que se puede visualizar sus bordes incisales cerca de la cresta alveolar. El incisivo lateral izquierdo muestra dos tercios de la raíz formada y se encuentra en un período de emergencia más adelantado que el incisivo lateral derecho cuya raíz sólo se ha formado un tercio (visible en Figura 3). Los caninos, primeros premolares y segundos molares aún se encuentran en la cripta sin haber iniciado el período de erupción. Los primeros molares están a punto de emerger. En cuanto a los conductos radiculares de incisivos, caninos y primeros premolares se identifica un conducto

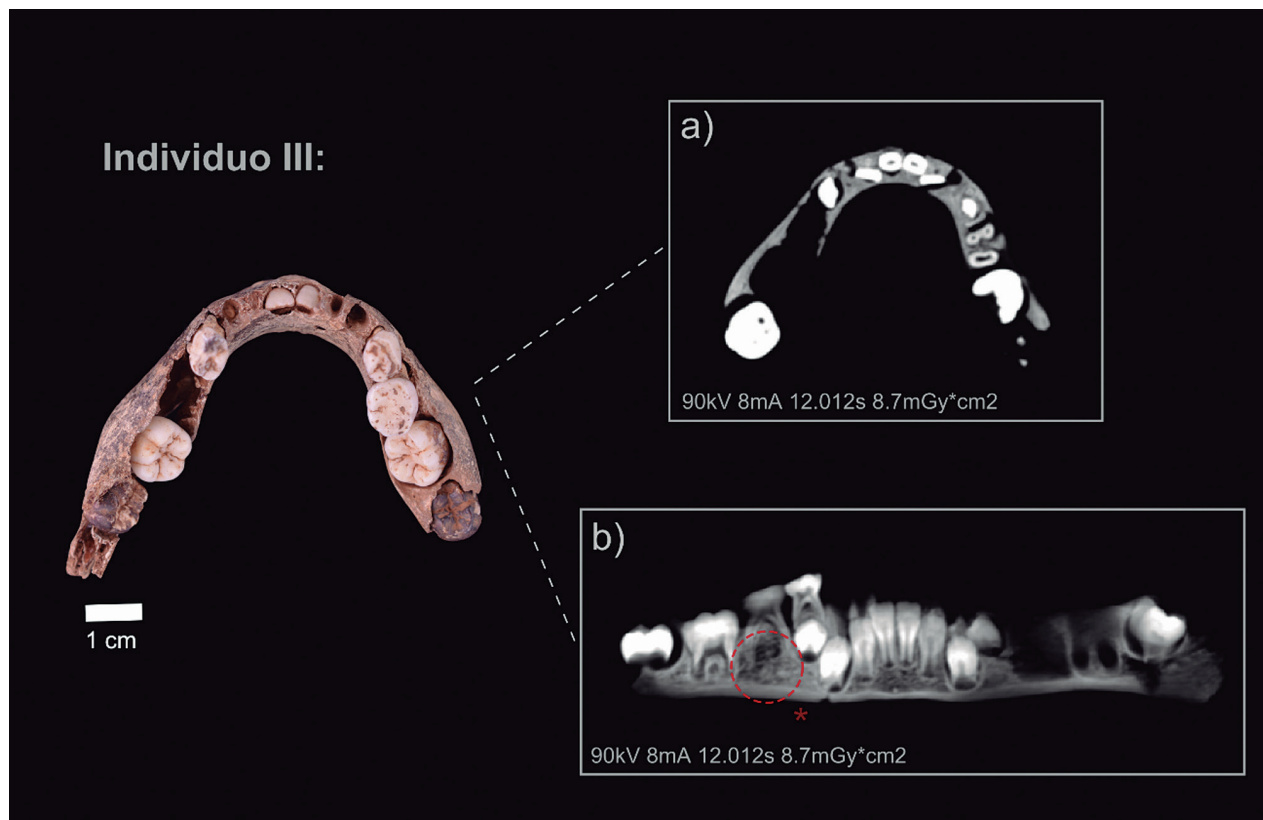


Fig. 3. Cara oclusal de la mandíbula perteneciente al individuo III. a) CBCT de la mandíbula en posición oclusal. b) CBCT de la mandíbula, ortopantomografía. El círculo indica el lugar de la agenesia. / Occlusal view of the mandible from individual III. A) Occlusal position on CBCT of the mandible. B) CBCT of the mandible, orthopantomography. The circle indicates the location of the agenesis.

único centralizado. El primer molar temporal en su raíz mesial posee dos conductos (uno vestibular y otro lingual) mientras que la raíz distal muestra un solo conducto (Figura 3). Los primeros molares definitivos describen dos conductos radiculares tanto en la raíz mesial como en la distal, uno vestibular y otro lingual. No es valorable la conformación interna radicular del segundo molar inferior derecho al no tener iniciada la formación de la raíz.

Los molares deciduos, tanto los primeros molares como el segundo molar, presentan desgaste del esmalte dental en la superficie oclusal y presencia de exposición de dentina más acusada en las cúspides bucales, además de indicios de reabsorción radicular.

3.2. Patologías

Los restos dentales de estos tres individuos se han analizado en busca de patologías no habiéndose encontrado ninguna evidencia de patología bucodental como caries o hipoplasia de esmalte. Sin embargo, en el individuo III se ha determinado la ausencia o agenesia de los segundos premolares de forma bilateral, que es clara en el lado derecho y se insinúa su ausencia en el lado izquierdo. En este tercer cuadrante o lado izquierdo se ha exfoliado el primer molar deciduo, pero podemos calcular la distancia de distal del primer premolar a mesial del primer molar y al obtener la misma distancia que en el lado izquierdo, podemos confirmar agenesia bilateral con exactitud.

3.3. Microdesgaste dental

Los resultados obtenidos del microdesgaste dental se muestran en la Tabla I. No ha sido posible realizar un análisis estadístico debido a que la muestra es de tan solo dos individuos.

Sin embargo, dado el número tan alto de estrías se decidió compararlos con otros grupos del mismo rango de edad (0-6 años) y cronologías similares de la Península Ibérica. Los yacimientos seleccionados fueron: Cova de la Guineu, Font-Rubí, Barcelona; El Portalón, Sierra de Atapuerca, Burgos; El Alto de la Huesera, Laguardia, Álava; Galls Carboners, Mont-Ral, Tarragona; y La Olmeda, Palencia (García-Gonzalez et al. 2018; Pérez-Pérez et al. 1994), (Figura 4, Tabla II).

4. DISCUSIÓN

El nivel 3 de Valdavara 2 ha proporcionado restos dentales, mandibulares y maxilares correspondientes a un número mínimo de tres individuos. El Individuo I tendría una edad de muerte estimada en base a la secuencia de desarrollo y erupción dentales, de entre seis y nueve meses. Esta edad de muerte estimada se ve corroborada por el análisis de otros elementos esqueléticos y craneales asociados al mismo individuo como son el estado de desarrollo del hueso timpánico, donde el tubérculo posterior no está fusionado al anterior (Vaquero et al. 2009). Por otra parte, para el Individuo II, teniendo en cuenta el estado de desarrollo dental y el grado de desgaste oclusal de los dientes deciduos, se estima una edad de muerte cercana a los cinco-seis años, mientras que para el Individuo III, en base a los mismos criterios, se ha establecido una edad de muerte de entre 4-5 años.

Relativo a las patologías, el estado de salud oral de estos individuos es bueno ya que no se han identificado patologías dentales relacionadas ni con la alimentación ni con la falta de higiene dental como caries o cálculo ni marcadores de estrés metabólico como hipoplasias. No obstante, es destacable la agenesia bilateral de los segundos premolares inferiores identificada en el individuo III. Agenesia dental es el término que se refiere a la ausencia congénita del desarrollo de una o más piezas dentales y puede afectar tanto a la dentición primaria (con menor frecuencia) como a la permanente (Hillson, 1996; Pemberton et al. 2005; Zegan et al. 2012). Se diferencian básicamente tres tipos de agenesias: la agenesia múltiple u oligodoncia, la agenesia total o anodoncia y la agenesia aislada o hipodoncia, que

VARIABLES	TOTAL
TN	136.5 (13.43)
XT	125.8 (2.36)
NV/TN	0.37 (0.13)
NH/TN	0.10 (0.11)

Tabla 1: Estadística descriptiva de la superficie bucal de los individuos de Valdavara. Los valores se componen de media de las variables y su desviación estándar entre paréntesis. Variables: TN (número de estrías); XT (longitud de las estrías); NV/TN (número de estrías verticales dividido por el total de estrías) y NH/TN (número de estrías horizontales dividido por el total de estrías).

YACIMIENTO	LOCALIZACIÓN	CRONOLOGÍA	RANGO DE EDAD	NT
COVA DE LA GUINEU	Font-rubí, Barcelona	Neolítico Final	2-4 años	48.8
GALLS CARBONERS	Mont-Ral, Tarragona	Edad del Bronce	3-4 años	73.7
LA OLMEDA	Palencia	Medieval	2-5 años	56.6
EL PORTALÓN	Sierra de Atapuerca, Burgos	Calcolítico	5-7 años	107
EL ALTO DE LA HUESERA	Laguardia, Álava	Calcolítico Final	5-6 años	108
VALDAVARA	Becerreá, Lugo	Edad del Bronce	4-6 años	136.5

Tabla 2: Localización de los yacimientos con su cronología correspondiente. Rango de edad de los individuos infantiles y el número de estrías totales en la superficie bucal (NT).

es la más frecuente, siendo el caso que nos ocupa. En poblaciones actuales, la prevalencia de esta condición en la dentición permanente es de entre 2,3 a 11,3%, siendo los individuos femeninos los más afectados (Zegan et al. 2012). Si nos centramos exclusivamente en la falta de segundos premolares, la incidencia es de un 3,1% (Polder et al. 2004). En dentición permanente los segundos premolares suelen representar el 40-50% de los casos de agenesia, excluyendo de estos datos los terceros molares que son los más frecuentemente afectados por esta condición. Los caninos y los primeros molares son los dientes filogenéticamente más estables y, por lo tanto, son los menos afectados por la hipodoncia (García-Barbero, 2005). La ausencia unilateral de segundos premolares suele ser más frecuente respecto a la bilateral, ya que se da en un 54,5% de los casos (Polder et al. 2004). Los incisivos también se encuentran entre los dientes que presentan una mayor agenesia. En todas las categorías dentales, los dientes superiores son los más afectados. Los dientes distales (segundos premolares, segundos incisivos y terceros molares) son los más propensos a esta ausencia congénita debido a que en su formación están más influenciados por factores medioambientales y, también suelen ser los que presentan una mayor variabilidad en su morfología (Zegan et al. 2012).

La etiología de la agenesia dental es compleja ya que la formación dental tiene un origen multigénico y, por tanto, es complicado establecer una única causa (Polder et al. 2004). No obstante, entre las causas más comúnmente propuestas se encuentran la obstrucción o disrupción de la lámina dental, anomalías en el epitelio dental, fallo del desarrollo en la mesénquima y, en general, espacio limitado en la mandíbula o maxilar (Zegan et al. 2012). Obedece sobre todo a factores genéticos y puede responder a distintos patrones de herencia, más frecuente de tipo autosómica dominante, o bien poligénica. Como causas generales, por tanto, la agenesia dental está relacionada con un fuerte componente hereditario ya que diversos miembros de una misma familia pueden presentar agenesias y también puede estar acompañada de algunos síndromes como diferentes tipos de displasia o síndrome de Down. Entre causas más locales, las fracturas o traumatismos en mandíbula y maxilar, así como extracciones tempranas de dientes primarios, e incluso, enfermedades graves y malnutrición se han relacionado con la falta de desarrollo dental. Además, en la literatura médica se destaca la presencia de otros síntomas orales asociados a la agenesia dental como micro o macrodontia, retraso en el desarrollo general de la dentición, retención de dientes primarios, hipocalcificación, dentinogénesis imperfecta, e incluso malformaciones óseas mandibulares y maxilares (Zegan et al. 2012).

En el individuo infantil de Valdavara no hemos detectado ninguna otra anomalía oral, ni evidencias de traumatismos o de estrés nutricional. Por tanto, no podemos establecer una causa concreta para esta hipo-

dontia más allá de relacionarlo con la tendencia evolutiva de mandíbulas y maxilares de tamaño cada vez más reducido que dificulta la correcta formación, erupción y alineación dental. En general, la ausencia de uno o más dientes, puede conllevar problemas de malposicionamiento dental y de oclusión que afecten a la vida del individuo. En este caso, no podemos establecer este particular ya que el individuo afectado murió antes de la edad de erupción gingival de estos dientes.

En la literatura antropológica hemos encontrado diversos casos de hipodontia, siendo los más antiguos la agénesis de los segundos premolares mandibulares del individuo infantil (ca. 9 años) Qafzeh 15 datado en 92.000 años B.P., así como la ausencia de un incisivo mandibular en el individuo infantil neandertal de Devil's Tower de Gibraltar y en el individuo juvenil, también neandertal, de Malarnaud (Tillier et al. 1998; Trinkaus, 2018). Posteriormente, y como referente más cercano a nuestro caso de estudio, encontramos la agénesis bilateral de incisivos de un individuo adulto de la Edad del Bronce del yacimiento siberiano de Ust'-Ida I (Lieverse et al. 2014).

Dejando a un lado las cuestiones relacionadas con la agenesia dental, el análisis del patrón de microdesgaste dental nos ha permitido conocer algunos aspectos de la dieta de estos individuos. Es importante destacar que los datos pertenecen a dos individuos (Individuo II y III) y deben tratarse exclusivamente a nivel individual, sin poder extrapolarlos a nivel de población ya que carecemos de información de la población adulta. Para inferir la dieta a partir de la faceta bucal de los dos individuos de Valdavara analizados hay que tener en cuenta una serie de variables. Una de ellas es el número total de estrías (NT) que indica la abrasividad de la comida (Teaford y Lytle, 1996). Alimentos abrasivos como cereales (por su contenido de fitolitos) o la inclusión de partículas extrínsecas debido al procesamiento previo de la comida provocan un mayor número de estrías (NT), (Ryan, 1979; Gordon, 1988; Pérez-Pérez et al. 1994). Si tenemos en cuenta esta variable en los individuos de Valdavara en comparación con otras poblaciones infantiles similares, llama la atención el número mayor de estrías en los individuos de Valdavara en comparación con otros grupos del mismo rango de edad y cronología similar (Tabla II; Figura 4).

Estas diferencias significativas respecto al resto son interesantes ya que estos dos individuos tienen una edad cercana al período de introducción y consolidación tanto de comidas complementarias como papillas o semilíquidos (Sellen y Smay, 2001; Halcrow y Tayles, 2008; Meehan et al. 2013; Mays, 2016; Mays et al. 2017; Ventresca-Miller et al. 2017; Scott y Halcrow, 2017), como de alimentos más propios de la dieta adulta.

El escaso procesamiento de estos alimentos puede afectar de modo significativo al microdesgaste, es decir, el molido previo de los cereales puede dejar una serie de partículas minerales mezcladas en el alimen-

LOS NIÑOS DE LA COVA DE VALDAVARA (BECERREÁ, LUGO): ANÁLISIS MORFOLÓGICO, PATOLÓGICO Y DEL MICRODESGASTE DENTAL

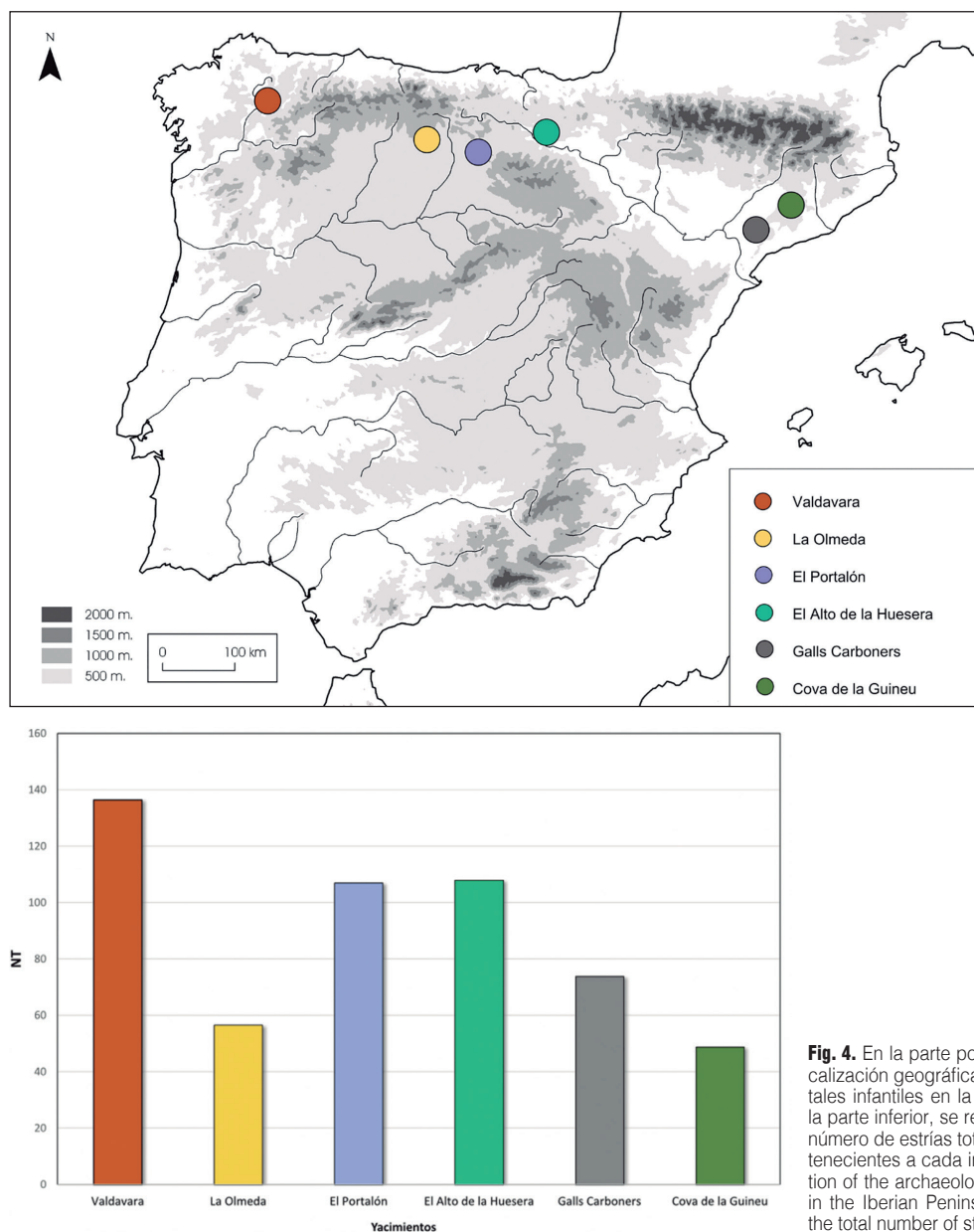


Fig. 4. En la parte posterior de la figura se muestra la localización geográfica de los yacimientos con restos dentales infantiles en la Península Ibérica. Mientras que en la parte inferior, se representa en un gráfico de barras el número de estrías totales (NT) en la superficie bucal pertenecientes a cada individuo. / On top, geographic location of the archaeological sites with child dental remains in the Iberian Peninsula. On the bottom, bar chart with the total number of striations (TN) on the buccal surface.

to e incrementar su abrasividad (Teaford et al. 1996; Gügel et al. 2001; Mahoney et al. 2016; Mays, 2016; Ventresca-Miller et al. 2017; Scott y Halcrow, 2017). La inclusión de estas partículas extrínsecas a través del molido con un molino de piedra causa una mayor microestriación en el esmalte, ya que la dureza de estas partículas es mayor que la del esmalte (Pérez-Pérez et al. 1994; Gügel et al. 2001; Polo-Cerda et al. 2007; Romero y De Juan, 2007; Galbany et al. 2008; Jarosová, 2008; Schmidt et al. 2015 Soltysiak, 2011). Aunque no se han encontrado evidencias de molinos en Valdavara (Vaquero et al. 2009), sabemos que las poblaciones del Bronce final del Noroeste ibérico poseían molinos cuya función está relacionada con el machado del ce-

real para la obtención de la harina (Teira y Rodríguez, 2014). Por todo ello, el escaso procesamiento previo de los alimentos es una de las hipótesis que explicaría el alto nivel de abrasividad en la dieta de estos dos individuos de Valdavara.

Sin embargo y sin ser excluyente, este elevado número de estrías (NT), también puede ser debido a una dieta similar a la adulta, aunque la ausencia de individuos adultos en Valdavara 2 impide una comparación entre ambos grupos de edad. Esta dieta se basaría en la inclusión de alimentos más duros o que requieren más tiempo de masticación y en consecuencia, producen un patrón de microdesgaste caracterizado por un mayor número de estrías. Llegados a este punto hay

que tener presente otra variable, la longitud de las estrías (XT), la cual depende no sólo de la dureza de los alimentos sino también de la presión ejercida por los músculos al masticar (Pérez-Pérez et al. 1994). Ambas variables tienen valores similares a los de una población adulta del yacimiento de Aspe, Alicante, con la misma cronología que Valdavara (TN=135.00; XT=126.83 µm), (Romero et al. 2004). No obstante, no es infrecuente hallar ejemplos de individuos infantiles de edades similares a los analizados aquí, donde se documenta un elevado grado de macrodesgaste dental, que debemos indicar que también se ha documentado en los Individuos II y III de Valdavara. Este elevado macrodesgaste dental se asocia a una dieta dura y abrasiva, como es el caso de un individuo de unos cinco años de edad de muerte del yacimiento calcolítico de La Cima (Sevilla) (Alcázar Godoy et al. 1992). Igualmente, estudios etnográficos de poblaciones preindustriales, corroboran la inclusión de comidas sólidas a una edad temprana (Sellen y Smay, 2001). Además, un estudio isotópico sobre niños del Alto de la Huesera (Neolítico Final, Rioja Alavesa), con el mismo rango de edad que los individuos de Valdavara, afirma que tienen valores isotópicos similares a adultos, sugiriendo que estos niños tendrían una dieta similar a la que consumieron los adultos (Fernández-Crespo et al. 2018).

Los resultados aportados por los diferentes estudios realizados indican que estos tres niños no sufrieron enfermedades asociadas a estrés metabólico durante su vida ya que no han quedado reflejadas en el patrón de crecimiento dental. Asimismo, tampoco podemos establecer una causa de la muerte ya que no hay evidencias en sus huesos y dientes que permitan establecer hipótesis al respecto. No obstante, la edad de muerte de los tres individuos recuperados en Valdavara está situada entre los 0 y los seis años de edad, situándolos en los grupos de edad correspondientes con lactantes y primera infancia siendo los individuos más frágiles de las poblaciones humanas.

5. CONCLUSIONES

A través de las diferentes técnicas usadas en este estudio podemos inferir factores bioculturales, como la dieta, salud oral, o el procesamiento de la comida entre otros, que afectan a estos individuos infantiles de Valdavara aportando una visión más completa sobre su estilo de vida.

A nivel biológico, los escáneres CBCT y el análisis de las patologías, nos muestran un nuevo caso de agenesia dental en el individuo III. Aunque no se puede concluir una causa concreta a esta patología, como estrés nutricional o traumatismo, es un dato relevante que añade un caso más de esta anomalía oral al registro fósil.

Dentro de la dieta mixta que caracterizaría a las poblaciones de la Edad del Bronce, el análisis del microdesgaste dental de los individuos de Valdavara, nos

permite inferir una dieta más abrasiva para estos niños siendo más similar a una dieta "adulta", que se caracteriza por un escaso procesamiento previo de la comida en comparación con otras poblaciones de edades similares.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los revisores anónimos que ayudaron a mejorar este artículo. Las excavaciones fueron financiadas por el Concello de Becerreá. R.H tiene una beca predoctoral Martí i Franquès (2019PMF-PIPF-59). Proyectos: MICINN-FEDER PGC2018-093925-B-C32; AGAUR (Ref. 2018SGR1040); HAR2016-76760-C3-1-P.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcázar Godoy, J., Martín Espinosa, A., Ruiz Moreno, M.T., 1992. Enterramientos calcolíticos en zonas de hábitat. Revista de Arqueología año XII 137, 18-27.
- AlQahtani, S. J., Hector, M.P., Liversidge, H.M., 2010. Brief communication: the London atlas of human tooth development and eruption. *American Journal of Physical Anthropology* 142(3), 481-490.
- Carlsen, O., 1987. Dental morphology. Munksgaard.
- Cintas Peña, M., García Sanjuán, L., Díaz-Zorita Bonilla, M., Herrero Corral, A.M., Robles Carrasco, S., 2018. The non-adult population at the Copper Age settlement of Valencina de la Concepción (Seville, Spain): a demographic, contextual and sociological approach. *Trabajos de Prehistoria*, 75(1), 85-108.
- Cunha, C., Silva, A.M., Pereira, D., Tomé, T., Paredes, J., Cabilia, C. 2015. Children of the grave: contribution of non-adult individuals in some human osteological series from collective burials in the Late Prehistory of the Iberian Peninsula. In: *Death as Archaeology of Transition: Thoughts and Materials. Papers from the II International Conference of Transition Archaeology: Death Archaeology (Evora, Portugal 2013)*, 177-188. British Archaeological Reports, International Series.
- El-Zaatar, S., 2010. Occlusal microwear texture analysis and the diets of historical/prehistoric hunter-gatherers. *International Journal of Osteoarchaeology* 20, 67-87. <https://doi.org/10.1002/oa.1027>
- Fernández-Crespo, T., Czermak, A., Lee-Thorp, J.A., Schulting, R.J., 2018. Infant and childhood diet at the passage tomb of Alto de la Huesera (north-central Iberia) from bone collagen and sequential dentine isotope composition. *International Journal of Osteoarchaeology* 28, 542-551.
- Fernández Rodríguez, C., Villar Quinteiro, R., 2003. Prospección y excavación de cuevas en la cuenca del Sil (Rubiá, Ourense): La Pala da Vella. *Brigantium* 14, 13-22.
- Galbany, J., Martínez, L.M., Pérez-Pérez, A., 2004. Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: methodological obstacles. *Anthropologie* 42(1), 5-12.
- Galbany, J., Garriga, N., Majoral-Salichs, M., Coll Monteagudo, R., Fluxà, J., 2008. Microdesgaste y patología dental en la población de la Edad de Bronce de "Mar i Muntanya" (Alella, Barcelona). *Revista Española de Antropología Física*.
- García Barbero, J., 2005. Patología y terapéutica dental. Síntesis, Madrid.

LOS NIÑOS DE LA COVA DE VALDAVARA (BECERREÁ, LUGO): ANÁLISIS MORFOLÓGICO, PATOLÓGICO Y DEL MICRODESGASTE DENTAL

- García-González, R., Sánchez-Puente, Z., Arsuaga, J.L., Carretero, J.M., 2018. Dietary inferences from dental microwear patterns in Chalcolithic populations from the Iberian Peninsula: the case of El Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) and El Alto de la Huesera (Álava, Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences* 1–13.
- Gibaja, J.F., Majó, T., Chambon, P., Ruiz Ventura, J., Subirá, M. 2010. Prácticas funerarias durante el Neolítico. Los enterramientos infantiles en el noreste de la Península Ibérica. *Complutum* 21(2), 47-68.
- González-Fortes G., Tassi F., Trucchi E., Henneberger K., Paijmans J.L.A., Díez-del-Molino D., Schroeder H., Susca R., Barroso-Ruiz C., Bermudez F. J., Barroso-Medina C., Bettencourt A.M.S., Sampaio H.A., Grandal-d'Anglade A., Salas A., de Lombera, H.M., Fabregas, R., Vaquero, M., Alonso, S., Lozano, M., Rodríguez-Alvarez, X.P., Fernández-Rodríguez, C., Manica, A., Hofreiter, M., Barbujani, G., 2019. A western route of prehistoric human migration from Africa into the Iberian Peninsula. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 286, 20182288. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2288>.
- Gordon, K.D., 1988. A review of methodology and quantification in dental microwear analysis. *Scanning microscopy* 2, 1139-1147.
- Grine, F.E., 1986. Dental evidence for dietary differences in *Australopithecus* and *Paranthropus*: a quantitative analysis of permanent molar microwear. *Journal of Human Evolution* 15, 783-822.
- Gügel, I.L., Grupe, G., Kunzelmann, K., 2001. Simulation of dental microwear: characteristic traces by opal phytoliths give clues to ancient human dietary behavior. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists* 114, 124-138.
- Halcrow, S.E., Tayles, N., 2008. The Bioarchaeological Investigation of Childhood and Social Age : Problems and Prospects. *Journal of Archaeological Method and Theory* 15(2), 190-215. <https://doi.org/10.1007/s10816-008-9052-x>.
- Hillson, S., 1996. *Dental anthropology*. Cambridge University Press.
- Jarosová, I., 2008. Dietary inferences using buccal microwear analysis on the LBK population from Vedrovice, Czech Republic. *Anthropologie* 46(2), 175-184.
- King, C.L., Snoddy, A.M., Millard, A.R., Gröcke, D.R., Standen, V.G., Arriaza, B.T., Halcrow, S.E., 2018. A multifaceted approach towards interpreting early life experience and infant feeding practices in the ancient Atacama Desert, Northern Chile. *International Journal of Osteoarchaeology* 28, 599-612.
- Lalueza, C., Perez-Perez, A., Turbon, D., 1996. Dietary Inferences Through Buccal Microwear Analysis of Middle and Upper Pleistocene Human Fossils. *American Journal of Physical Anthropology* 100, 367-387.
- Lieverse, A.R., Temple, D.H., Bazaliiskii, V.I., 2014. Paleopathological description and diagnosis of metastatic carcinoma in an Early Bronze Age (4588± 34 Cal. BP) forager from the Cis-Baikal region of Eastern Siberia. *PLoS one* 9, e113919.
- Mahoney, P., Schmidt, C.W., Deter, C., Remy, A., Slavín, P., Johns, S.E., Miszkiewicz, J.J., Nystrom, P., 2016. Deciduous enamel 3D microwear texture analysis as an indicator of childhood diet in medieval Canterbury, England. *Journal of Archaeological Science* 66, 128-136.
- Mays, S., 2016. A study of the potential of deciduous incisor wear as an indicator of weaning using a human skeletal population. *International Journal of Osteoarchaeology* 26, 725-731.
- Mays S., Gowland R., Halcrow S., Murphy E., 2017. Child Bioarchaeology: Perspectives on the Past 10 Years. *Childhood in the Past* 1-19.
- Meehan, C.L., Roulette, J.W., 2013. Early supplementary feeding among central African foragers and farmers: a biocultural approach. *Social science & medicine* 96, 112-120.
- Molnar, S., 1971. Human tooth wear, tooth function and cultural variability. *American Journal of Physical Anthropology* 34, 175-189.
- Moorrees, C.F.A., Fanning, E.A., Hunt, E.E., 1963. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *Journal of dental research* 42, 1490-1502.
- Pemberton, T. J., Das, P., Patel, P. I., 2005. Hypodontia: genetics and future perspectives. *Brazilian Journal Oral Science* 4(13), 695-706.
- Pérez-Pérez, A., Lalueza, C., Turbón, D., 1994. Intraindividual and intragroup variability of buccal tooth striation pattern. *American Journal of Physical Anthropology* 94, 175–187.
- Pérez-Pérez, A., Espurz, V., de Castro, J.M.B., de Lumley, M.A., Turbón, D., 2003. Non-occlusal dental microwear variability in a sample of Middle and Late Pleistocene human populations from Europe and the Near East. *Journal of Human Evolution* 44, 497-513.
- Polder, B.J., Van't Hof, M.A., Van der Linden, F.P.G.M., Kuijpers-Jagtman, A.M., 2004. A meta-analysis of the prevalence of dental agenesis of permanent teeth. *Community dentistry and oral epidemiology* 32, 217-226.
- Polo-Cerdá, M., Romero, A., Casabó, J., De Juan, J., 2007. The Bronze Age burials from Cova dels Blaus (Vall d'Uixó, Castelló, Spain): An approach to palaeodietary reconstruction through dental pathology, occlusal wear and buccal microwear patterns. *HOMO, Journal of Comparative Human Biology* 58, 297-307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jchb.2006.10.005>
- Romero, A., Martínez-Ruiz, N., De Juan, J., 2004. Non-occlusal dental microwear in a Bronze-Age human sample from east Spain. *Anthropologie* 42, 65-70.
- Romero, A., De Juan, J., 2007. Intra- and interpopulation human buccal tooth surface microwear analysis: inferences about diet and formation processes. *Anthropologie* 45, 61-70.
- Romero, A., Ramírez-Rozzi, F.V., De Juan, J., Pérez-Pérez, A., 2013. Diet-Related Buccal Dental Microwear Patterns in Central African Pygmy Foragers and Bantu-Speaking Farmer and Pastoralist Populations. *PLOS ONE* 8, e84804.
- Ryan, A.S., 1979. Wear striation direction on primate teeth: A scanning electron microscope examination. *American Journal of Physical Anthropology* 50, 155-167. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330500204>
- Scarfe, W.C., Farman, A.G., 2008. What is cone-beam CT and how does it work? *Dental Clinics of North America* 52, 707-730.
- Schmidt C.W., Beach J.J., McKinley J.I., Eng J.T., 2015. Distinguishing dietary indicators of pastoralists and agriculturists via dental microwear texture analysis. *Surface Topography: Metrology and Properties* 4:14008.
- Schmidt, C. W., Remy, A., Van Sessen, R., Willman, J., Krueger, K., Scott, R., Chiu, L., 2019. Dental microwear texture analysis of *Homo sapiens sapiens*: Foragers, farmers, and pastoralists. *American journal of physical anthropology* 169, 207- 226.

Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods* 9, 671.

Schour, I., Massler, M., 1941. The development of the human dentition. *Journal of the American Dental Association* 28, 1153-1160.

Scott, R.M., Halcrow, S.E., 2017. Investigating weaning using dental microwear analysis: A review. *Journal of Archaeological Science: Reports* 11, 1-11.

Sellen, D.W., Smay, D.B., 2001. Relationship between subsistence and age at weaning in "preindustrial" societies. *Human Nature* 12, 47-87.

Smith, B.H., 1984. Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturalists *American Journal of Physical Anthropology* 63, 39-56.

Sottysiak, A., 2011. Cereal grinding technology in ancient Mesopotamia: evidence from dental microwear. *Journal of Archaeological Science* 38, 2805-2810. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.06.025>

Teaford, M.F., Lytle, J.D., 1996. Brief communication: Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: A case study involving stone-ground maize. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists* 100, 143-147.

Teira Brión, A., Amado, E., 2014. Molinos fuera de lugar. Fronteras y contextos de la molienda en la arqueología de la Edad del Hierro del noroeste ibérico. *Revista d'Arqueologia Ponent* 24, 271-287.

Tillier, A.M., Kaffe, I., Arensburg, B., Chech, M., 1998. Hypodontia of permanent teeth among Middle Palaeolithic hominids: An early case dated to ca.92.000 +- years BP at the Qafzeh site. *International Journal of Osteoarchaeology* 8, 1-6.

Trinkaus, E., 2018. An abundance of developmental anomalies and abnormalities in Pleistocene people. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, 11941-11946.

Vaquero, M.R., Fernández, S.A., Fernández, C.A., Iglesias, A.A., Blain, H.A., Valcarce, R.F., Ruiz, M.L., 2009. Nuevas fechas radiométricas para la Prehistoria del noroeste de la Península Ibérica: la cueva de Valdavara (Becerreá, Lugo). *Tra-bajos de prehistoria* 66(1), 99-113.

Ventresca Miller, A., Hanks, B.K., Judd, M., Epimakhov, A., Razhev, D., 2017. Weaning practices among pastoralists: New evidence of infant feeding patterns from Bronze Age Eurasia. *American Journal of Physical Anthropology* 162, 409-422. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23126>.

Zegan, G., Golovcencu, L., Romanec, C., Lesner, G., 2012. Hypodontia patterns and natural dental compensation movements. An orthopantomographic study. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation*, 4(2), 90-97.

6.2.2. Estimación de la maduración dietética en la infancia a partir del microdesgaste dental en las superficies bucales y oclusales de molares deciduos. Un caso de estudio de los grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica

En los últimos años, la investigación de la dieta de los individuos infantiles es un tema de creciente interés dentro de la antropología dental. Nuestro objetivo es caracterizar los patrones de variabilidad interpoblacional e intrapoblacional del microdesgaste dental entre individuos infantiles de cuatro yacimientos ibéricos datados entre el Neolítico y la Edad del Bronce. Se van a comparar las superficies bucales y oclusales para evaluar si sus tasas de renovación (*turnover*) se corresponden con diferencias dietéticas vinculadas a la maduración biológica y social. Este estudio se basa en el análisis de 46 molares deciduos (dm1 y dm2). Las superficies oclusales y bucales se observaron con un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) siguiendo los protocolos estándar de microdesgaste dental. Los resultados muestran que, desde una perspectiva interpoblacional, existen diferencias en el número de estrías bucales entre Valdavara y los demás lugares. Desde una perspectiva intrapoblacional, había un mayor número de estrías bucales en la categoría de mayor edad de la Cova de la Guineu y más agujeros (*pits*) oclusales en la categoría de mayor edad de la Cova dels Galls Carboners. Este estudio muestra la utilidad del enfoque combinando ambas superficies para el análisis de microdesgaste dental, con el fin de comprender la maduración dietética infantil en la prehistoria reciente. En este estudio se ha mostrado que las prácticas de alimentación y/o la elección de alimentos pueden explicar las diferencias entre categorías de edad específicas de los niños, además de las diferencias entre los diferentes conjuntos analizados.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria



Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: a case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula

Raquel Hernando^{1,2} · John C. Willman^{1,2} · Josep Maria Vergès^{1,2} · Manuel Vaquero^{1,2} · Susana Alonso^{1,2} · Xavier Oms³ · Artur Cebrià³ · Juan Ignacio Morales³ · Marina Lozano^{1,2}

Received: 26 April 2019 / Accepted: 16 October 2019
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020

Abstract

Over the last years, the knowledge of the children's diet is a topic of growing interest in dental anthropology. Our aim seeks to establish patterns of interpopulation and intrapopulation variability in dietary microwear among children from four Iberian sites dated to the Neolithic through Bronze Age. Buccal and occlusal surfaces are compared to assess whether their differential rates of microwear turnover correspond with dietary differences linked to social and biological maturation (e.g., weaning and shifts to adult-like diets). This study is based on the analysis of 46 deciduous molars (Udm1, Udm2, and Ldm2). Occlusal and buccal surfaces were observed using an environmental scanning electron microscope (ESEM) following standard microwear methodologies. The results show that from an interpopulation perspective, there are differences in the number of buccal scratches between Valdavara and the other sites. From an intrapopulation perspective, there was a greater number of buccal striations in the older age category from Cova de la Guineu and more occlusal pitting in the older age category from Cova dels Galls Carboners. This study shows the utility of the combined approach to buccal and occlusal microwear analysis as a means of understanding child dietary maturation in prehistory, showing that feeding practices and/or food choice can explain differences between specific age categories of children in addition to differences between archeological sites.

Keywords Diet · Teeth · Childhood · Weaning · Dental microwear

Introduction

The origins of food production and its intensification contributed to widespread cultural, social, and economic transformations in prehistory which also had extensive implications for human

biology (Pinhasi and Stock 2011). The development of food production in the Neolithic introduced new strategies to prepare plant and animal foods, such as cereal gruels and dairy products that reduced the duration of breastfeeding and permitted early weaning (Buikstra et al. 1986; Armelagos et al. 1991; Bocquet-Appel 2002; Howcroft 2013). The nutritional practices and stress experienced during childhood are reflected in later life health and influence demographic patterns, thus making children a sensitive indicator of overall population health (Dhavalé et al. 2017; King et al. 2018). The transition between breastfeeding and weaning, when breast milk is gradually replaced by other kinds of foods, is a particularly significant cultural process with important biological ramifications (Mays 2016; Ventresca Miller et al. 2017). This transitional period is critical for child health status (Waterman et al. 2014; Fernández-Crespo et al. 2018; King et al. 2018), because a decrease in, or cessation of, breastfeeding can lower the flow of antibodies from mother to child which can increase the likelihood of contracting infectious diseases (Pearson et al. 2010; Meehan and Roulette 2013).

Electronic supplementary material The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s12520-019-00997-z>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Raquel Hernando
r.hernando90@gmail.com

- ¹ IPHES. Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social. Zona Educacional 4, Edifici W3, Campus Sescelades, 43007 Tarragona, Spain
- ² Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain
- ³ Departament Història i Arqueologia, Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP). Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, C/ Montalegre 6-8, 08001 Barcelona, Spain

Child feeding practices and the timing of the weaning process depend on culturally mediated factors such as maternal investment and childcare practices, as well as environmental factors like seasonality (Pearson et al. 2010; Howcroft 2013; Scott and Halcrow 2017). Weaning practices reported in ethnographic studies of agricultural, pastoral, and forager-horticulturalist populations document the inclusion of soft complementary foods during the weaning process that include cereal gruels, porridges, milk, meat, soups, and blood (Sellen and Smay 2001; Pearson et al. 2010; Howcroft 2013; Han et al. 2016; Ventresca Miller et al. 2017; Scharlotta et al. 2018). Another practice involves the reduction of food hardness, toughness, or consistency through pre-mastication—a potentially beneficial cultural practice that may promote the enzymatic process of digestion with adult saliva (Pelto et al. 2010; Waters-Rist et al. 2011; Scott and Halcrow 2017).

Dental microwear is a powerful and non-destructive tool for dietary reconstruction that provides insights into the physical properties, consistency, and degree of cultural processing (e.g., cooking, grinding, drying, and exposure to exogenous abrasives) that foodstuffs undergo prior to consumption (Teaford and Lytle 1996; Lalueza et al. 1996; Polo-Cerdá et al. 2007; El-Zaatari 2010; Sołtysiak 2011; Romero et al. 2013; Schmidt et al. 2015; Mahoney et al. 2016; Estalrich et al. 2017; Scott and Halcrow 2017; Schmidt et al. 2019). Variation in dental microwear has proven useful for distinguishing between human groups with ethnographically known or archeologically inferred socioeconomic and dietary strategies (Pérez-Pérez et al. 1994, 2003; Lalueza et al. 1996; Romero et al. 2004, 2013; Polo-Cerdá et al. 2007; El-Zaatari 2010; Schmidt et al. 2015; Estalrich et al. 2017; Schmidt et al. 2019). While most microwear analyses have focused on the reconstruction of adult diets, the ability to distinguish human groups based on the properties of the foods consumed is also relevant for understanding dietary maturation from childhood to adulthood corresponding to practices like infant weaning and other social conventions (Halcrow and Tayles 2008; Knudson and Stojanowski 2008; Mahoney et al. 2016; Mays 2016; Scott and Halcrow 2017; Ventresca Miller et al. 2017; Mays et al. 2017).

Dietary microwear accumulates on both the buccal and occlusal surfaces, but with important distinctions related to chewing cycle. During the mastication, two phases of movement occur: phase I, puncture crushing, in which the upper and lower molars compress the food between opposing occlusal surfaces, and phase II or chewing cycle, in which the molars separate and no pressure is exerted on the bolus (Kay and Hiiemae 1974; Tausch et al. 2015). For that reason, dietary microwear requires different modes of analysis and interpretation for each surface. Dental microwear features on the buccal surface appear as scratches of various lengths, frequency, and orientation corresponding to the properties of the

food masticated and the endogenous (e.g., phytoliths) and exogenous abrasives (e.g., grit and dust) it contains (Pérez-Pérez et al. 1994; Romero et al. 2004). In contrast, occlusal microwear consists of characteristic scratches and pits created by enamel contact with masticated food and tooth-to-tooth contact (Ryan 1979; Gordon 1988). Thus, the width, length, density, and distribution of scratches and pits on the occlusal surface vary widely among human groups depending on the properties of the foods (e.g., hardness and toughness), phytolith content, environmental abrasives, and food preparation techniques (Molleson et al. 1993; Teaford and Lytle 1996; Schmidt 2001; Teaford et al. 2001; El-Zaatari 2010; Schmidt et al. 2015) in addition to the compressive forces produced during mastication (Gordon 1982; King et al. 1999; Gügel et al. 2001; Mahoney 2006, 2007). Microwear turnover occurs quickly on occlusal surfaces (Teaford 1994)—the so-called the last supper effect—thus, documenting diet during the last days or weeks before an individual's death (Grine 1986; Teaford and Tylanda 1991; Ungar 2011; Teaford et al. 2017). In contrast, the microwear pattern on the buccal surface has a more gradual turnover than the occlusal surface and stabilizes at maturity (Pérez-Pérez et al. 1994; Romero and De Juan 2007; Romero et al. 2012a). The differential turnover rates between occlusal and buccal surfaces offer a unique opportunity to assess dietary variability at short-(occlusal) and longer-term (buccal) intervals by individual and across groups.

Researchers have turned to deciduous dental microwear studies to assess their potential for distinguishing differences in foodstuffs consumed between different child age categories (Scott and Halcrow 2017; Fernández-Crespo et al. 2018; García-González et al. 2019). The above insights into differential microwear turnover rates are particularly interesting with respect to dental microwear analysis of infants and children. The majority of microwear studies focus on adult teeth and diets, despite the potential for non-adult microwear to provide novel insights into weaning and child feeding practices in the past (Scott and Halcrow 2017). Specific cultural practices whereby adults provision children with specific solid foods or with objects for “teething” could influence dental microwear. Within populations, access to different types of foods or the influences of specific cultural practices could be linked to important factors co-varying with biological age, different social age categories, or sex. All of these social and cultural determinants often correlate with aspects of biological and social maturation during childhood (Scott and Halcrow 2017). The aim of this paper is to delve into this poorly understood topic with an approach that combines inferences from buccal and occlusal microwear on deciduous molars among food-producing groups from the Neolithic to the Bronze Age of the Iberian Peninsula. The second aim is to assess intragroup variation in dental microwear related to dietary differences between children of different biologically defined age categories.

While the analysis of both the occlusal and buccal surfaces in the same groups is not a new approach (García-González et al. 2015; Pérez-Pérez et al. 2018), our analysis is the first to use both buccal and occlusal surfaces of the deciduous molars to better understand temporal and age-related differences in the diets of prehistoric children with the same microscope. Importantly, these analyses provide a non-destructive analytical framework to investigate aspects of feeding practices, food choice, and differential access to foods corresponding to specific age groups (Halcrow and Tayles 2008; Knudson and Stojanowski 2008; Mahoney et al. 2016; Mays 2016; Scott and Halcrow 2017; Ventresca Miller et al. 2017).

Materials and methods

Material

This study is based on the analysis of microwear from 44 deciduous molars belonging to four populations from the Iberian Peninsula (Late Neolithic: Cova de la Guineu, Chalcolithic: El Mirador, and Middle Bronze Age: Cova dels Galls Carboners and Valdavara (Fig. 1, Supplementary Table 1). Despite studying all relevant deciduous molars from

each of these sites, final sample size is modest, 28 individuals for the buccal surface and 27 for the occlusal surface (Table 1). However, there are many factors contributing to the underrepresentation of child remains in the archeological record such as differential conservation, cultural treatment, and practices concerning deceased children, and/or excavation biases (Gibaja et al. 2010). The paucity of child remains from other Holocene sites in the Iberian Peninsula has been documented elsewhere (Daura et al. 2015, 2017; Fontanals-Coll et al. 2017) and is also reflected in the present study. Nevertheless, it should be noted that small sample size is typical and largely unavoidable, reality of research aimed at understanding child dietary patterns (e.g., Lalueza-Fox and Pérez-Pérez 1993; García-González et al. 2019; King et al. 2018; Eerkens et al. 2019) and dental microwear analyses of adult or fossil simple in general (Galbany and Pérez-Pérez 2004; Estebaranz et al. 2009).

Abbreviations are used to designate tooth types by jaw (upper or lower: U or L), side (left or right: L or R), and position in tooth row (first or second: 1 or 2) for each deciduous molars (dm).

The four sites included in this study are the following:

Cova de la Guineu: The collective burial site of Cova de la Guineu (Font-rubí, Barcelona, NE Iberian Peninsula) is dated to the late Neolithic as indicated by radiocarbon

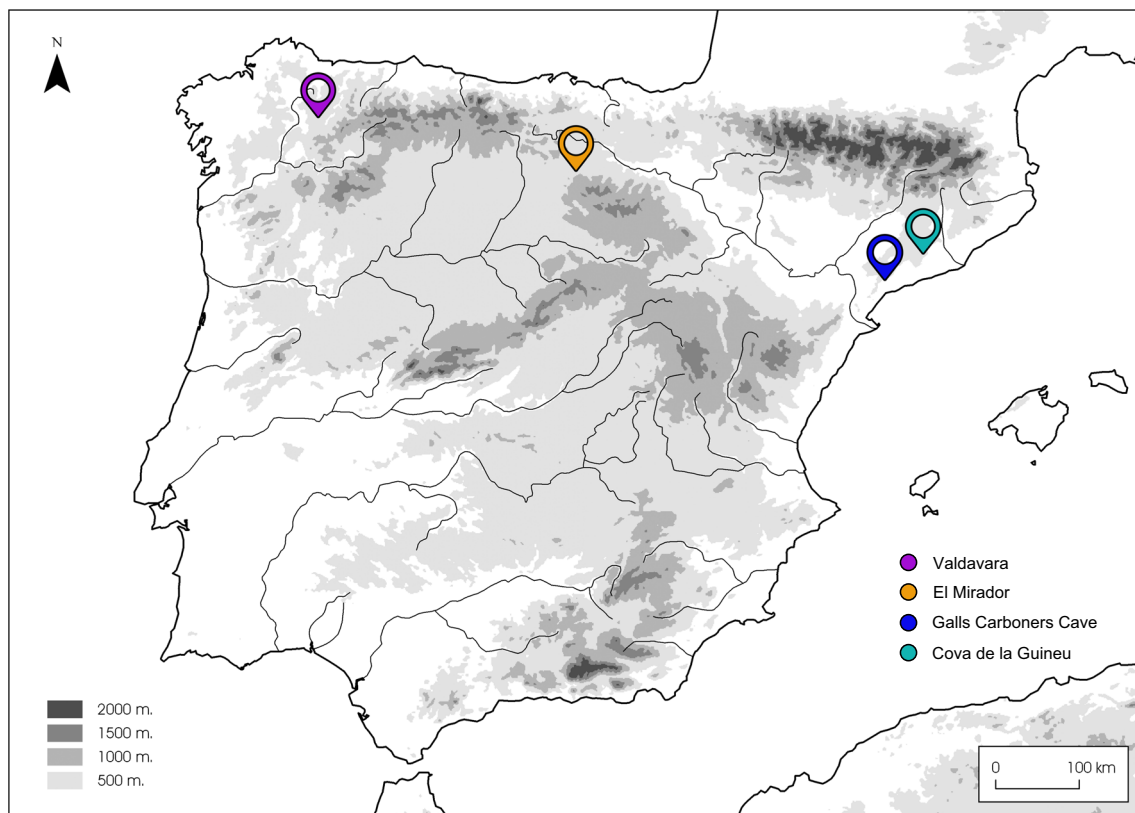


Fig. 1 Location of the four archeological populations within the Iberian Peninsula

Table 1 Preservation of buccal and occlusal microwear by site. Presented as number of individuals (N) and percent of total sample (%). ^aIndividuals may have buccal and/or occlusal or no microwear preservation

Site	Chronology	Total number of teeth analyzed	Microwear preservation by surface ^a					
			Buccal		Occlusal		No buccal or occlusal preservation	
			N	%	N	%	N	%
Cova de la Guineu	Late Neolithic	24	15	62.50%	14	58.30%	5	20.80%
El Mirador	Chalcolithic	2	2	100%	2	100%	0	0%
Valdavara	Middle Bronze Age	2	2	100%	2	100%	0	0%
Cova dels Galls Carboners	Middle Bronze Age	16	9	56.20%	9	56.20%	1	6.25%
Total		44	28	63.60%	27	61.30%	6	13.60%

dates on human remains that yielded dates of 4110 ± 38 (4820–4454 cal. BP) and 4385 ± 32 (5040–4865 cal. BP) (Oms et al. 2016). The material culture is represented by few funerary furnishing (arrowheads, beads, and bell-shaped ceramics) given the number of individuals associated with the late Neolithic phase of the site (Morales et al. 2013; Oms et al. 2016). The dental remains from the sites provide a minimum number of 81 individuals, 24 of whom are children. Postdepositional damage limited analyses to 19 Ldm2 (Online supplementary Table 1).

El Mirador Cave: The cave of El Mirador is located on the southern slope of the Sierra de Atapuerca (Burgos, North Iberian Peninsula) at an altitude of 1.033 m a.s.l. El Mirador Cave has a collective inhumation with at least 23 individuals of both sexes and various ages. Two human bones yielded dates of 4000 ± 30 BP (4550–4390 cal. BP) and 4120 ± 30 BP (4880–4480 cal. BP) indicating that the burial episode occurred during the Chalcolithic (Reimer et al. 2013; Vergès et al. 2016). The dating and associated material culture indicate that the El Mirador population engaged in developed agriculture and stockbreeding (Cabanés et al. 2009; Vergès et al. 2016). Two individuals from El Mirador had well-preserved deciduous molars: an ULdm2 from a maxillary fragment belonging to a child around 6 years old at death and LRdm2 from a mandibular fragment belonging to a child of ~4 years of age at death (Online supplementary Table 1).

Valdavara: The cave of Valdavara is located in Becerreá (Lugo, NW Iberian Peninsula), about 600 m s.n.m. Valdavara is part of the karstic formations surrounding the municipality of Becerreá. Level 3 of the location known as Valdavara 2 yielded 55 human remains, including two infant individuals (a mandible and a hemimaxilla) that were between 3 and 5 years old at death (Vaquero et al. 2009). There was no material culture in association with the human remains. Two of human

bones were dated to 3250 ± 40 BP (3600–3360 cal. BP) and 3270 ± 40 years BP (3600–3400 cal. BP) corresponding to the Middle Bronze Age (Vaquero et al. 2009). Both individuals (URdm1 and LRdm2) were analyzed (Online supplementary Table 1).

The Galls Carboners Cave: The Galls Carboners Cave (Mont-Ral, Tarragona, NE Iberian Peninsula) opens onto a cliff on the north-eastern slope of the Motllats mountains, at 965 m a.s.l., on the western margin of the Brugent river valley (Vergès et al. 2017). An assemblage up to 1600 human remains, mainly postcranial bones, were recovered from the cave. A set of 349 human permanent and deciduous dental remains was analyzed and some deciduous teeth were chosen for dental microwear analysis. Specifically, 15 of the 18 Ldm2's were free of postdepositional damage and included in analyses (Online supplementary Table 1). Apart from the human remains, ornamentation was found consistent with the character of burial site (Vergès et al. 2017). Radiocarbon dating on a human phalange dates this samples in the Middle Bronze Age 3310 ± 30 BP (3620–3460 cal. BP) (Vergès et al. 2017).

Age groupings are based on biological age following Halcrow and Tayles (2008): individuals aged from 0 to 4 years old correspond to the breastfeeding to terminal weaning stages, individuals aged from 5 to 7 years old are children that are still largely dependent on adults for feeding and protection, and individuals aged from 8 to 11 years old belong to the prepubertal period. Individual age-at-death was estimated using the timing of dental formation and the sequence of eruption of the teeth in each maxilla or mandible (Ferembach et al. 1980). In the case of isolated teeth, occlusal dental wear and resorption stages of the root were the basis for age determination (Schour and Massler 1941; Ferembach et al. 1980; AlQahtani et al. 2010).

Methods: Microwear analysis

The dental remains were observed directly using an environmental scanning electron microscope (ESEM: FEI Quanta 600) to analyze buccal and occlusal surfaces. Tooth orientation was standardized by keeping the buccal side at the top of both the ESEM monitor and in micrographs (Molleson et al. 1993). Both buccal and occlusal surfaces show dental microwear. However, there are some methodological differences related to the acquisition of the images depending on the surface studied.

For buccal microwear: Micrographs were taken at $\times 100$ (1024×832 pixels) on the medial third of buccal surfaces. ESEM parameters were fixed at 20 kV acceleration voltage and low vacuum mode with a spot size of 4.5 and 0° of tilt angle. The working distance (WD) ranged between 15 and 25 mm (Pérez-Pérez et al. 1994; Galbany et al. 2004). Micrographs were enhanced with GIMP (<https://www.gimp.org/>) to increase contrast to facilitate wear feature characterization and measurement (Galbany et al. 2004). For each micrograph, an area of 0.56 mm² was sharpened for buccal microwear feature analysis. All measured scratches start and end inside the field of view defined by the borders of the cropped image. A scratch was defined as a linear mark on the enamel surface, at least four times longer than its width (4:1), with a minimum length of 15 μm (Gordon 1982; Grine 1986). The total number of scratches (BTN) and their average length (BXT) in micrometers (μm) were computed, measured, and classified into four orientation categories from 0° to 180° (in 45° intervals) as horizontal (H), vertical (V), mesiodistal (MD), or distomesial (DM) (Pérez-Pérez et al. 1994) using Image J (Schneider et al. 2012). Two orientation indices were calculated: total horizontal/total number (TH/TN) and total vertical/total number (TV/TN) since they track broad differences in dietary patterns across groups (Lalueza et al. 1996).

For occlusal microwear: Micrographs were captured on facet 9—a crushing and grinding surface that experiences both compression and shearing during chewing (Kay and Hiiemae 1974)—which is located on the distobuccal cusp of the first and second molar (Maier and Schneck 1982; Mahoney 2006). Magnification was set to $\times 500$ (1024×832 pixels). Images were enhanced and modified in the same way as the buccal surface micrographs (Galbany et al. 2004). Images were cropped at 700×500 pixels, which represents approximately 0.03 mm² of the occlusal molar surface. Two kinds of features are present on the occlusal surface: scratches and pits (Ryan 1979; Gordon 1988). Scratches were defined and measured in the same manner as for buccal microwear, whereas pits are defined as features with a length to width ratio $\leq 4:1$. As with buccal microwear, all measured features start and end inside the field of view defined by the borders of the cropped image. The total number of scratches (OTN) and their average length (OXT) in micrometers (μm) were computed and measured with ImageJ (Schneider et al. 2012).

Figure 2 shows a series of surfaces that illustrate buccal and occlusal microwear measurements and examples of surfaces that are excluded from the study because of the taphonomic or antemortem factors that obscure microwear.

Observer error: One author (RH) was responsible for the measurement of all microwear. In order to test intraobserver consistency in the analysis (Grine 1986; Galbany et al. 2005), five micrographs were analyzed three times each. Low values of standard errors and variance evidence the limited intraobserver variation in the analysis (Online Supplementary Table 4).

Small sample size required the use of non-parametric statistics, and Kruskal-Wallis tests were chosen for the intrapopulation comparisons with R commander statistical package (Fox 2005). As in other child microwear studies (García-González et al. 2019), we relied on overarching trends and data visualization rather than any statistical treatment for interpopulation comparisons.

Results

Microwear preservation and age determination

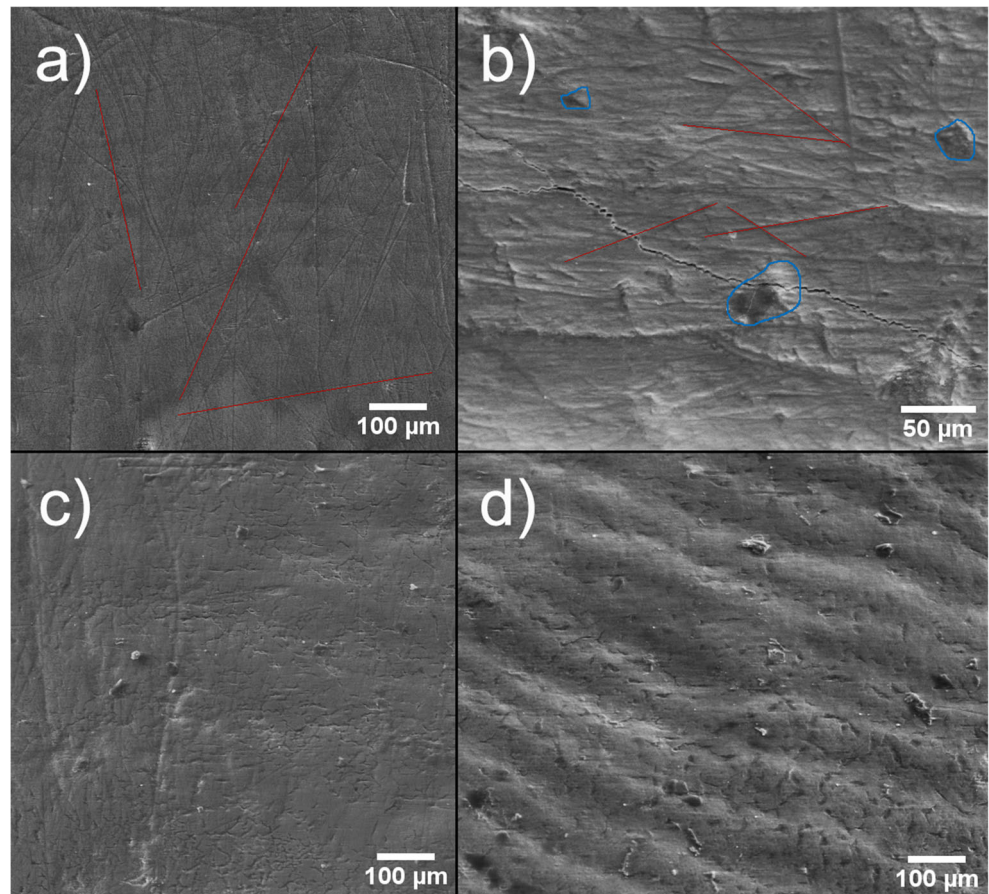
Microwear was present on 38 of 44 deciduous molars derived from the four study sites. Of the well-preserved teeth, microwear is preserved on 28 (63.6%) buccal and 27 (61.3%) occlusal surfaces (Table 1). Only 6 teeth (13.6%) preserved neither buccal nor occlusal microwear as a result of taphonomic modification or advanced occlusal wear (Table 1). A complete list of details (age categorization, estimated age at death, and surfaces preserving microwear) for all teeth screened for microwear is presented in Online Supplementary Table 1. Importantly, the sample is limited to a single tooth type (dm2) from the maxilla or mandible for a given individual, except for a single URdm1 from Valdavara (Online Supplementary Tables 1 and 2). The timing of upper and lower dm2 eruption is very similar (AlQahtani et al. 2010), thus variation in microwear (especially buccal) due to differences in eruption sequence across tooth types is negligible in the present study. Any differences between the URdm1 of Valdavara 145 and the dm2's from the rest of the individuals will be discussed below.

Buccal microwear analysis

Descriptive statistics for buccal microwear by site are listed in Table 2 and complete datasets are provided in the Online Supplementary Table 2.

For the statistical analysis, Valdavara and El Mirador were not included. However, as the boxplot shows (Fig. 3), Valdavara has a high number of striations (BTN) compared with the other groups. Due to the high number of striations

Fig. 2 A series of surfaces with different characteristics: **a** Well-preserved enamel on the buccal surface ($\times 100$), striations in red; **b** Dietary wear in the occlusal surface ($\times 500$), striations in red and pits in blue; **c** Surface affected by post-mortem damage and **d** surface with perikymata



found on the buccal surfaces of Valdavara individuals, micrographs of the lingual surface were also explored. The lingual surfaces show a lack of striations which is to be expected since lingual surfaces are not usually affected by dietary wear (Fig. 4). Therefore, the high BTN for Valdavara is unlikely to be a taphonomic artifact. For the other two groups, Cova de la Guineu and Galls Carboners, no significant differences were observed for any variable (Table 3). In Fig. 5, the vertical and the horizontal index are plotted showing a high index of vertical striation rather horizontal.

We assessed whether intragroup differences exist among the different age categories for the larger samples from Cova dels Galls Carboners and Cova de la Guineu since El Mirador Cave and Valdavara samples are too small for similar comparisons. All three age categories (0–4, 5–7, and 8–

11) were examined for Cova de la Guineu, but sample size ($N=9$) for Cova dels Galls Carboners required condensing individuals into two age categories: 0–6 years and from 7 to 11 years (Table 4). No significant differences between the two Cova dels Galls Carboners age categories for BTN or BXT (Fig. 3, Table 5). In the case of Cova de la Guineu, significant differences between the three different age categories for BTN ($F=10.563$; p value: 0.005) (Fig. 3, Table 5). A post hoc test shows that the 8–11-year-old children significantly differ from the rest of the children (0–4 and 5–7-year-old) from the Cova de la Guineu for BTN showing a high number of striations in 8–11-year-old children (Fig. 3, Tables 4 and 5). No significant differences between age categories for BXT by age category for either site (Table 5).

Table 2 Descriptive statistics for buccal microwear by site. Values reported as mean (standard deviation)

Variable	Cova de la Guineu	El Mirador Cave	Valdavara	Cova dels Galls Carboners
Sample size (N)	15	2	2	9
TN	66.93 (21.83)	48.50 (12.02)	136.50 (13.43)	73.44 (35.93)
XT (μm)	150.71 (28.85)	167.36 (22.82)	125.87 (2.36)	144.09 (22.79)
NV/TN	0.52 (0.15)	0.56 (0.08)	0.37 (0.13)	0.48 (0.06)
NH/TN	0.09 (0.06)	0.12 (0.03)	0.10 (0.11)	0.05 (0.03)

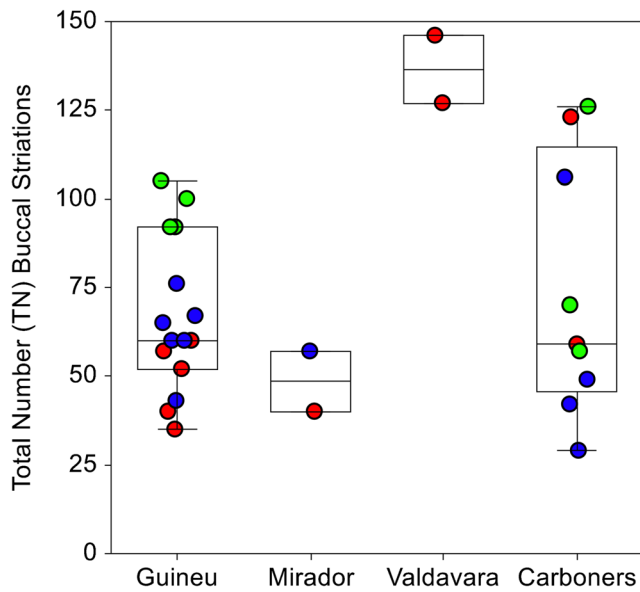


Fig. 3 Box and dot plots of total number (BTN) of buccal scratches by age category and archeological site. Box lines correspond to 25, 50 (median), and 75 percentiles of data. (Red Circles = 0–4 years; Blue Circles = 5–7 years; Green Circles = 8–11 years)

Occlusal microwear analysis

The descriptive statistics for the occlusal surface analysis by site are summarized in Table 6 and the complete datasets are available in Online Supplementary Table 3. No significant differences were between OTN and the site (Table 7). Likewise, no statistically significant differences were found between sites for OXT, mean number of pits, pit length, or pit width (Table 7).

As with the buccal surface, we assessed differences in occlusal microwear variation between age categories for Cova de la Guineu (0–4, 5–7, and 8–11) and Cova dels Galls Carboners (0–4 and 5–7) (Table 8). There are no significant differences between the two age categories at Cova dels Galls Carboners for OTN or OXT (Table 9). Similarly, no significant differences between occlusal OTN or OXT, respectively, for the three age categories represented at Cova de la Guineu (Table 9). For

Table 3 Statistical tests for between group differences (Cova de la Guineu and Galls Carboners) for buccal microwear variables

Variable	Test	F value	p value
TN	Kruskal-Wallis	0.014	0.904
XT	Kruskal-Wallis	0.15	0.698
NV/TN	Kruskal-Wallis	0.697	0.404
NH/TN	Kruskal-Wallis	3.097	0.078

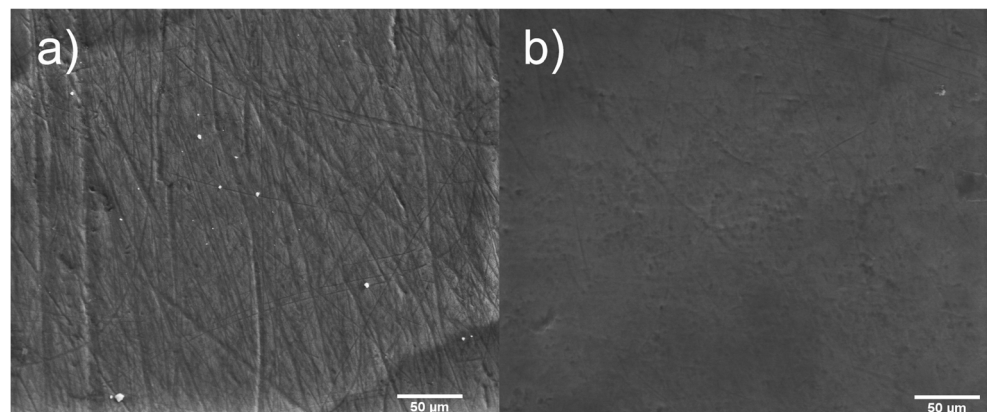
occlusal pitting variables, only the total number of pits are significantly different between the two age categories from Cova dels Galls Carboners ($t = 4.048$, p value 0.044) (Table 9, Fig. 6). There are fewer pits among the 0–4-year-old than the 5–7-year-old children. No other significant differences for pit length or width were shown for either site (Table 9).

Discussion

The Valdavara case

Buccal microwear provides information about diet and food habits over a long period, due to the accumulation of microwear during life in conjunction with a rate slow turnover, of an individual lifespan in contrast to the occlusal pattern (Pérez-Pérez et al. 1994; Romero and De Juan 2007; Romero et al. 2012a). The individuals from Valdavara have substantially more buccal scratches than any other group (Fig. 3). However, the Valdavara sample is composed of only two individuals; therefore, we cannot extrapolate these results to a population level. Even so, the high number of scratches at Valdavara compared to the rest of the groups studied is interesting, since these two individuals belong to the youngest age category (0–4 years old)—a period characterized by breastfeeding and the eventual introduction of complementary foods until the end of the weaning (Halcrow and Tayles 2008; Meehan and Roulette 2013; Mays

Fig. 4 Micrographs of **a** buccal and **b** lingual surfaces of LRdm2 Valdavara individual. The lingual surfaces show a lack of striations which is to be expected since lingual surfaces are not usually affected by dietary wear



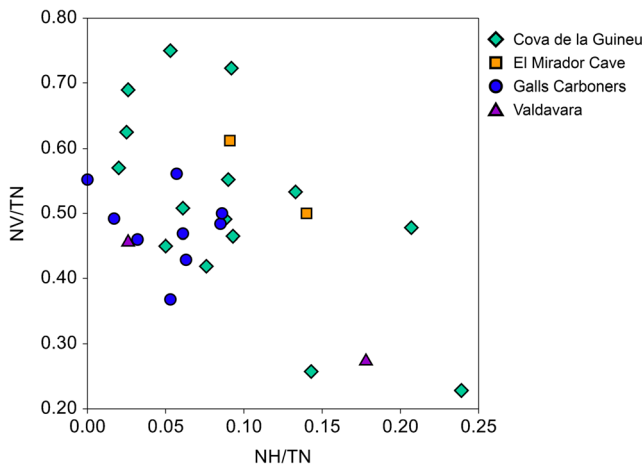


Fig. 5 Plot of NH/TN index vs NV/TN index on the buccal surface for the four studied populations

2016; Scott and Halcrow 2017; Ventresca Miller et al. 2017; Mays et al. 2017). The high TN value corresponds to the abrasiveness of the diet (Romero et al. 2012b) related to the presence of exogenous particles like dust, sand, and ash (Pérez-Pérez et al. 1994; Polo-Cerdá et al. 2007; Romero et al. 2013) or the consumption of vegetables that contain phytoliths (Gügel et al. 2001). Given the difference in eruption sequence between dm1 and dm2, it is interesting to note that there are more buccal striations on the URdm1 of Valdavara 145 than the LRdm2 of Valdavara 146. This difference may be due to the longer time since eruption of the URdm1 compared to LRdm2 (AlQahtani et al. 2010).

We propose two potential explanations for the high buccal BTN result for Valdavara. First, the high abrasiveness of a diet could relate to a type and/or the degree of food processing at Valdavara that differs from the other sites. During the preparation of the food, the inclusion of the extrinsic particles from grindstones create extensive enamel microwear because the extrinsic particles are harder than enamel (Pérez-Pérez et al. 1994; Teaford and Lytle 1996; Gügel et al. 2001; Polo-Cerdá et al. 2007; Romero and De Juan 2007; Jarosová 2008; Galbany et al. 2008; Sołtysiak 2011; Schmidt et al. 2015; Schmidt et al. 2019). Thus, the

Table 5 Intragroup tests of significance between age categories at Cova de la Guineu (0–4, 5–7, and 8–11 categories) and Cova dels Galls Carboners (0–7 and 8–11 categories) for the buccal surface. A post hoc Tukey test shows that the 8–11-year-old groups differs significantly from both the 0–4 and 5–7-year-old categories

Site	Variable	Test	F value	p value
Cova de la Guineu	TN	Kruskal-Wallis	10.563	0.005
	XT	Kruskal-Wallis	3.868	0.144
Cova dels Galls Carboners	TN	Kruskal-Wallis	2.944	0.229
	XT	Kruskal-Wallis	2.244	0.325

use of grindstones may have been responsible for the high level of abrasiveness in the diet of Valdavara children. Although no archeological evidence of grindstones has been found at Valdavara (Vaquero et al. 2009), it is well known that Bronze Age populations from Northwestern Iberia used grindstones for crushing and milling cereals to obtain flour (Teira Brión and Amado 2014). The age of the two children from Valdavara suggests that they were near the end of their weaning period (Halcrow and Tayles 2008; Fulminante 2015) and probably consumed soft complementary food like porridge, gruels, or mashed food stuff (Sellen and Smay 2001; Meehan and Roulette 2013; Ventresca Miller et al. 2017). Although porridge is a soft and semiliquid food, many studies of ground tools made from sandstone, limestone, and basalt yield foods that retain mineral particles from milling (Teaford and Lytle 1996; Gügel et al. 2001; Polo-Cerdá et al. 2007; Mahoney et al. 2016; Mays 2016; Scott and Halcrow 2017; Ventresca Miller et al. 2017), which aligns well with our hypothesis about the dental microwear patterns documented at Valdavara.

Alternatively, the Valdavara children may have been consuming a harder diet, or more adult-like diet, compared to individuals from the other sites. Such diets would require more chewing time, therefore, generating a higher density of buccal scratches. In this case, other variables such as buccal BXT—which depend on many factors such as the pressure from the oral muscles or

Table 4 Descriptive statistics for buccal microwear by age category and site. Values reported as “mean (standard deviation)”

Variable	Cova de la Guineu			Cova dels Galls Carboners	
	0–4	5–7	8–11	0–7	8–11
Sample size (N)	5	6	4	6	3
TN	48.80 (10.85)	61.83 (10.94)	97.25 (6.39)	73.75 (39.63)	84.33 (36.33)
XT (µm)	153.13 (31.23)	166.07 (24.45)	124.63 (14.05)	137.41 (13.95)	149.29 (22.00)
NV/TN	0.50 (0.17)	0.59 (0.11)	0.42 (0.14)	0.50 (0.04)	0.43 (0.07)
NH/TN	0.06 (0.05)	0.09 (0.03)	0.13 (0.10)	0.04 (0.03)	0.06 (0.02)

Table 6 Descriptive statistics for occlusal microwear by site. Values reported as “mean (standard deviation)”. “% Pits” calculated as: Pits/(Pits + Striations)

Variable	Cova de la Guineu	El Mirador Cave	Valdavara	Cova dels Galls Carboners
Sample size (<i>N</i>)	14	2	2	9
TN	42.62 (6.20)	42.83 (9.67)	50.83 (2.60)	36.33 (8.59)
XT (μm)	39.35 (5.08)	44.71 (8.93)	35.72 (6.75)	41.87 (3.92)
Mean pits	14.54 (6.85)	11.00 (n/a)	24.00 (n/a)	11.50 (7.39)
% Pits ^a	24.72%	18.15%	31.61%	25.00%
Mean pit length	3.72 (1.86)	4.20 (1.45)	4.24 (1.48)	5.49 (2.93)
Mean pit width	3.19 (1.45)	4.16 (1.71)	3.94 (1.42)	4.14 (2.46)

hardness of the food (Pérez-Pérez et al. 1994)—as well as the occlusal surface microwear need to be taken in to account. While the trend is not as clear as that for the buccal surface, there is a higher number of scratches and pits on the occlusal surface of the Valdavara teeth compared with the other groups. All of this evidence supports the assertion that the Valdavara children consumed foods with high-abrasive loads related to the consumption of milled foods with extrinsic abrasives or an adult-like diet requiring more mastication.

Although there are no adults from Valdavara that can be compared to the child sample, Aspe, a group of adults from the East of Iberian Peninsula (Alicante, Spain) from the same chronology as Valdavara (Bronze Age), has similar mean number and length of buccal scratches (BTN = 135; BXT = 126.83 μm) (Romero et al. 2004). A sample of Medieval children from La Olmeda (Palencia, Spain) have a microwear pattern with fewer buccal striations (BTN = 56.6; BXT = 151.231 μm) (Pérez-Pérez et al. 1994). Whereas, children from Alto de la Huesera (Late Neolithic, North-Cental Iberia) have striation densities that are similar to Valdavara (BNT = 108; BXT = 84.31 μm) (García-González et al. 2019). As a whole, this suggests that the prehistoric Iberian samples had more abrasive diets than the Medieval one (García-González et al. 2019).

The number of horizontal striations on the buccal surface is lower than the vertical ones in the child populations studied (Fig. 5). That is a common trend when it was compared with the prehistoric samples of Alto de

la Huesera (NV/TN = 0.490; NH/TN = 0.037) and El Portalón (Sierra de Atapuerca, North-Cental Iberia) (NV/TN = 0.495; NH/TN = 0.028), (García-González et al. 2019) or Medieval samples (La Olmeda), 3–5-year-old children (NV/TN = 0.496; NH/TN = 0.197) and 6–9-year-old children (NV/TN = 0.469; NH/TN = 0.142) (Pérez-Pérez et al. 1994).

Ethnographic data also support the latter hypothesis since Ngandu farmers from the Central African Republic have a complete cessation of breastfeeding at 2 years old, despite this population tending to breastfeed for a longer time than pastoral and agricultural groups (Meehan and Roulette 2013). Sellen and Smay (2001) also suggest that preindustrial populations include solid complementary foods at an earlier age. Here we should bear in mind that, although deciduous enamel has different mechanical properties compared permanent enamel (De Menezes Oliveira et al. 2010), there is currently no consensus concerning differences in microwear formation between deciduous and permanent teeth (Krueger 2016; Mahoney et al. 2016; Kelly et al. 2020).

In summary, the combination of buccal and occlusal microwear patterning across the groups in this study suggests that the Valdavara group processed food for infants in a different way than other populations (Polo-Cerdá et al. 2007; Romero and De Juan 2007) or they were supplied with an adult-like diet. Such dietary patterns may be influenced by a wide variety of factors ranging from the death of a mother, cultural and social structure, or habitat constraints.

Intrapopulation variation by age category

There were no differences between the age categories for the Cova dels Galls Carboners group, but we did find greater buccal BTN in the older age categories at Cova de la Guineu. It is especially interesting that 8–11-year-old children have significant differences in the total number of buccal scratches compared to the rest of children at Cova de la Guineu. We suggest two possible explanations for these results. First, if we observe just

Table 7 Statistical tests for between group differences for occlusal microwear variables

Variable	Test	<i>F</i> value	<i>p</i> value
TN	Kruskal-Wallis	6.87	0.076
XT	Kruskal-Wallis	4.294	0.231
Mean Pits	Kruskal-Wallis	0.225	0.635
Pit Length	Kruskal-Wallis	1.432	0.231
Pit Width	Kruskal-Wallis	1.015	0.165

Table 8 Descriptive statistics for occlusal microwear by age category and site. Values reported as “mean (standard deviation)”

Variable	Cova de la Guineu			Cova dels Galls Carboners	
	0–4	5–7	8–11	0–4	5–7
Sample size (<i>N</i>)	5	6	3	6	3
TN	39.33 (4.73)	42.72 (7.35)	47.89 (1.17)	34.39 (9.32)	40.22 (6.62)
XT (µm)	41.66 (7.09)	36.98 (3.47)	40.25 (2.35)	43.06 (3.84)	39.50 (3.44)
Mean pits	14.00 (6.04)	15.8 (9.42)	13.33 (4.93)	8.00 (4.14)	22.00 (1.41)
Mean pit length	3.74 (0.46)	3.76 (1.16)	3.34 (0.51)	6.41 (3.97)	4.05 (0.26)
Mean pit width	3.50 (0.56)	3.40 (0.87)	2.59 (0.45)	4.67 (2.59)	3.36 (0.27)

the buccal surface, there is a significant difference between the 8–11-year-old children in comparison to the other two age groups, which may be attributed to eating similar foods to adults. Like in other dental microwear studies of child populations (Mahoney et al. 2016), the higher number of scratches among older children is possibly related to a more adult-like diet. Future analyses of adults from the Cova de la Guineu site will shed light on this hypothesis. Nonetheless, the total number of scratches of the 8–11-year-old group (97.25) is similar to the adult Neolithic populations from Vedrovice (85.94) in the Czech Republic (Jarosová 2008) and other adult populations from the from Bronze Age of the eastern Iberian Peninsula: Cova dels Blaus (114.66) and Cabezo Redondo (110.06) (Romero et al. 2004; Polo-Cerdá et al. 2007; Romero and De Juan 2007). The previously mentioned isotope studies from Alto de la Huesera also support this assertion (Fernández-Crespo et al. 2018).

However, the lack of differences in the occlusal facet microwear variables may be due to more rapid occlusal microwear turnover than on the buccal facet, the so-called the last supper effect, which reflects the diet of the last weeks of the individual (Grine 1986; Teaford 1994; Ungar 2011). Therefore, the greater differences

in buccal microwear versus occlusal striations across age groups are probably due to a longer-term accumulation of scratches on the buccal surface which stabilizes at maturity (Pérez-Pérez et al. 1994; Romero and De Juan 2007; Romero et al. 2012a). This highlights a level of temporal resolution in dietary change across the lifespan of children that is difficult to elucidate through anything but destructive dietary analyses (e.g., incremental isotopic sampling). All of this supports our assertion, and that of others (García-González et al. 2015), that a more holistic picture of childhood dietary variability across age groups can be gained from analyses that integrate microwear from both surfaces.

With regard to occlusal pits (Fig. 6), the 0–4 age category from Cova dels Galls Carboners has a lower number of pits than that of the 5–7 age category. This could be explained by cultural differences in Cova dels Galls Carboners with the other groups in terms of dietary intake. The different food intake, like adults, among 5–7-year-old children of Cova dels Galls Carboners probably yielded a greater number of pits in comparison with the younger children, which could have consumed more processed foods. The higher, albeit not significantly different, number of occlusal scratches in the older age group also supports this finding.

Table 9 Statistical tests for between age-group differences at Cova de la Guineu (0–4, 5–7, and 8–11 categories) and Cova dels Galls Carboners (0–4 and 5–7 categories) for occlusal microwear variables

Site	Variable	Test	<i>T</i> value	<i>p</i> value
Cova de la Guineu	TN	Kruskal-Wallis	4.964	0.083
	XT	Kruskal-Wallis	3.314	0.19
	Pits number	Kruskal-Wallis	0.036	0.982
	Pits length	Kruskal-Wallis	0.879	0.644
	Pits width	Kruskal-Wallis	2.781	0.249
Cova dels Galls Carboners	TN	Kruskal-Wallis	0.605	0.436
	XT	Kruskal-Wallis	2.4	0.121
	Pits number	Kruskal-Wallis	4.048	0.044
	Pits length	Kruskal-Wallis	0.444	0.505
	Pits width	Kruskal-Wallis	0.6	0.438

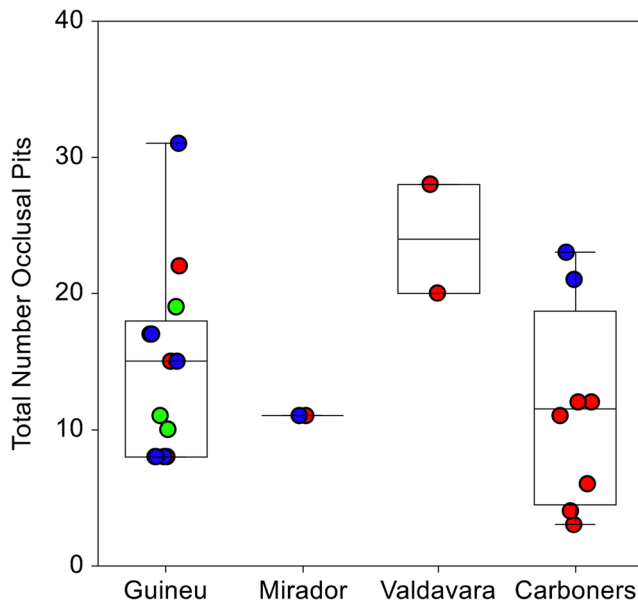


Fig. 6 Box and dot plots of total number of pits on occlusal surface by age category and archeological site. Box lines correspond to 25, 50 (median), and 75 percentiles of data. (Red Circles = 0-4 years; Blue Circles = 5-7 years; Green Circles = 8-11 years)

Conclusion

Microwear analyses can provide remarkable insights into children's feeding practices in the past that can be interpreted with respect to biological maturation and the social and cultural determinants of food choice and child feeding practices.

We found that buccal and occlusal microwear analyses provide complementary data on prehistoric diets since each surface provides different inferences about diet. We were able to detect differences through buccal surface analyses (e.g. the Valdavara case), as well as intrapopulation differences at Cova de la Guineu between the youngest and oldest children. Lastly, the intrapopulation differences among the Cova de la Guineu individuals show the utility of understanding differential turnover rates between buccal and occlusal surfaces where the long-term accumulation of buccal striations is reflected in older individuals at Cova de Galls Carboners versus the high density of pits associated with cultural differences.

Acknowledgments Special thanks to the three anonymous reviewers and associate editor for comments and suggestions that considerably improved this manuscript. We would like to thank Andrés Teira Brión for his useful comments on the Galician Bronze Age and also to José Ramón Rabuñal for his helpful suggestions. Thanks also to the El Mirador Cave, Cova de la Guineu, Galls Carboners, and Valdavara excavation teams. ESEM analyses were conducted at the Scientific and Technical Resources Service of the University Rovira i Virgili, Tarragona, Spain.

Funding information This work has been funded by the Dirección General de Investigación of M.E.C, project numbers PGC2018-093925-B-C32,

CGL2015-65387-C03-1-P (MINECO/FEDER), the Junta de Castilla y León and CERCA Programme/Generalitat de Catalunya, AGAUR 2017 SGR 1040 and AGAUR 2017- SGR 00011. MINECO 2017-HAR 86509. The Galls Carboners and Cova de la Guineu excavations are funded by the 2014/100574 and the CLT009/18/00024 projects of the Culture Department of the Generalitat de Catalunya. The Valdavara excavation was funded by the Concello de Becerreá. JCW was funded by a Marie Skłodowska-Curie Actions (H2020-MSCA-IF-2016 No. 749188) and JIM by Juan de la Cierva – Incorporación (JCI-2017-31445) R.H is beneficiary of PhD research fellowship Martí i Franquès (2019PMF-PIPF-59).

References

AlQahtani S, Hector M, Liversidge H (2010) Brief communication: the London atlas of human tooth development and eruption. *Am J Phys Anthropol* 142:481–490. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21258>

Armelagos GJ, Goodman AH, Jacobs KH (1991) The origins of agriculture: population growth during a period of declining health. *Popul Environ* 13:9–22

Bocquet-Appel J (2002) Paleoanthropological traces of a Neolithic demographic transition. *Curr Anthropol* 43:637–650. <https://doi.org/10.1086/342429>

Buikstra JE, Konigsberg LW, Bullington J (1986) Fertility and the development of agriculture in the prehistoric Midwest. *Am Antiq* 51:528–546

Cabanes D, Burjachs F, Expósito I et al (2009) Formation processes through archaeobotanical remains: the case of the bronze age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain. *Quat Int* 193:160–173. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.08.002>

Daura J, Sanz Borràs M, Arias O et al (2015) La Cova de l'Avi (Vallirana, Barcelona) y el inicio del Neolítico final en el Nordeste de la Península Ibérica. Inhumaciones colectivas y nuevas redes de intercambio. *Trab Prehist* 72:327–341

Daura J, Sanz M, Soriano I et al (2017) Objetos de oro y epicampaniforme en la Cova del Gegant. Relaciones en la costa mediterránea de la Península Ibérica durante la Edad del Bronce. *Trab Prehist* 74:149–167

De Menezes Oliveira MAH, Torres CP, Gomes-Silva JM et al (2010) Microstructure and mineral composition of dental enamel of permanent and deciduous teeth. *Microsc Res Tech* 73:572–577

Dhavalé N, Halcrow SE, Buckley HR et al (2017) Linear and appositional growth in infants and children from the prehistoric settlement of Ban Non Wat, Northeast Thailand: evaluating biological responses to agricultural intensification in Southeast Asia. *J Archaeol Sci Rep* 11:435–446

Eerkens JW, Bartelink EJ, Bartel J, Johnson PR (2019) Isotopic insights into dietary life history, social status, and food sharing in American Samoa. *Am Antiq* 84(2):336–352.

El-Zaatari S (2010) Occlusal microwear texture analysis and the diets of historical/prehistoric hunter-gatherers. *Int J Osteoarchaeol* 20:67–87. <https://doi.org/10.1002/oa.1027>

Estalrich A, El Zaatari S, Rosas A (2017) Dietary reconstruction of the El Sidrón Neandertal familial group (Spain) in the context of other Neandertal and modern hunter-gatherer groups. A molar microwear texture analysis. *J Hum Evol* 104:13–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2016.12.003>

Estebananz F, Martínez LM, Galbany J, Turbón D, Pérez-Pérez A (2009) Testing hypotheses of dietary reconstruction from buccal dental microwear in *Australopithecus afarensis*. *J Hum Evol* 57(6):739–750

- Ferembach D, Schwidetzky I, Stoukal M (1980) Recommendation for age and sex diagnoses of skeletons. *J Hum Evol* 9:517–549
- Fernández-Crespo T, Czemak A, Lee-Thorp JA, Schulting RJ (2018) Infant and childhood diet at the passage tomb of Alto de la Huesera (north-central Iberia) from bone collagen and sequential dentine isotope composition. *Int J Osteoarchaeol* 28:542–551
- Fontanals-Coll M, Eulàlia Subirà M, Díaz-Zorita Bonilla M, Gibaja JF (2017) First insight into the Neolithic subsistence economy in the north-east Iberian Peninsula: paleodietary reconstruction through stable isotopes. *Am J Phys Anthropol* 162:36–50
- Fox J (2005) Getting started with the R commander: a basic-statistics graphical user interface to R. *J Stat Softw* 14:1–42
- Fulminante F (2015) Infant feeding practices in Europe and the Mediterranean from prehistory to the middle ages: a comparison between the historical sources and bioarchaeology AU - Fulminante, Francesca. *Child Past* 8:24–47. <https://doi.org/10.1179/1758571615Z.00000000026>
- Galbany J, Martínez Martínez L, Pérez-Pérez A (2004) Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: methodological obstacles. *Anthropologie* 42(1):5
- Galbany J, Pérez-Pérez A (2004) Buccal enamel microwear variability in Cercopithecoidea primates as a reflection of dietary habits in forested and open savanna environments. *Anthropologie* 42(1):13–20
- Galbany J, Martínez LM, López-Amor HM, Espurz V, Hiraldo O, Romero A, de Juan J, Pérez-Pérez A (2005) Error rates in buccal-dental microwear quantification using scanning electron microscopy. *Scanning* 27(1):23–29
- Galbany J, Garriga N, Majoral-Salichs M et al (2008) Microdesgaste y patología dental en la población de la Edad de Bronce de “Mar i Muntanya” (Alella, Barcelona). *Rev Esp Antrop Fis* 28:25–36
- García-González R, Carretero JM, Richards MP et al (2015) Dietary inferences through dental microwear and isotope analyses of the Lower Magdalenian individual from El Mirón Cave (Cantabria, Spain). *J Archaeol Sci* 60:28–38. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.03.020>
- García-González R, Sánchez-Puente Z, Arsuaga JL, Carretero JM (2019) Dietary inferences from dental microwear patterns in Chalcolithic populations from the Iberian Peninsula: the case of El Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) and El Alto de la Huesera (Álava, Spain). *Archaeol Anthropol Sci* 11(8):3811–3823. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0711-x>
- Gibaja JF, Majó T, Chambon P, et al (2010) Prácticas funerarias durante el Neolítico. Los enterramientos infantiles en el noreste de la Península Ibérica
- Gordon KD (1988) A review of methodology and quantification in dental microwear analysis. *Scanning Microsc* 2:1139–1147
- Gordon KD (1982) A study of microwear on chimpanzee molars: implications for dental microwear analysis. *Am J Phys Anthropol* 59:195–215
- Grine FE (1986) Dental evidence for dietary differences in Australopithecus and Paranthropus: a quantitative analysis of permanent molar microwear. *J Hum Evol*. [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(86\)80010-0](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(86)80010-0)
- Gügel IL, Grupe G, Kunzelmann K-H (2001) Simulation of dental microwear: characteristic traces by opal phytoliths give clues to ancient human dietary behavior. *Am J Phys Anthr* 114:124–138. [https://doi.org/10.1002/1096-8644\(200102\)114:2<124::AID-AJPA1012>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1096-8644(200102)114:2<124::AID-AJPA1012>3.0.CO;2-S)
- Halcrow SE, Tayles N (2008) The bioarchaeological investigation of childhood and social age: problems and prospects. *J Archaeol Method Theory* 15:190–215. <https://doi.org/10.1007/s10816-008-9052-x>
- Han CS, Martin MA, Dichosa AEK et al (2016) Salivary microbiomes of indigenous Tsimane mothers and infants are distinct despite frequent pre-mastication. *PeerJ* 4:e2660
- Howcroft R (2013) Weaned upon a time : studies of the infant diet in prehistory. Doctoral dissertation, Department of Archaeology and Classical Studies, Stockholm University.
- Jarosová I (2008) Dietary inferences using buccal microwear analysis on the LBK population from Vedrovice, Czech Republic. *Anthropologie* 46:175
- Kay RF, Hiiemae KM (1974) Jaw movement and tooth use in recent and fossil primates. *Am J Phys Anthropol* 40:227–256. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330400210>
- Kelly CD, Schmidt CW, D’Anastasio R (2020) Dental microwear texture analysis in deciduous teeth. In: *Dental Wear in Evolutionary and Biocultural Contexts* (pp. 169–186). Academic Press.
- King C, Snoddy AM, Millard AR et al (2018) A multifaceted approach towards interpreting early life experience and infant feeding practices in the ancient Atacama Desert, Northern Chile. *Int J Osteoarchaeol* 28(5):599–612. <https://doi.org/10.1002/oa.2671>
- King T, Aiello LC, Andrews P (1999) Dental microwear of *Griphopithecus alpani*. *Acad Press J Hum Evol* 36:3–31. <https://doi.org/10.1006/jhev.1998.0258>
- Knudson K, Stojanowski C (2008) New directions in bioarchaeology: recent contributions to the study of human social identities. *J Archaeol Res* 16(4):397–432. <https://doi.org/10.1007/s10814-008-9024-4>
- Krueger KL (2016) Dental microwear texture differences between permanent and deciduous enamel. In: the 85th annual meeting of American Association of Physical Anthropologists
- Lalueza-Fox C, Pérez-Pérez (1993) The diet of the Neanderthal Child Gibraltar 2 (Devil’s Tower) through the study of the vestibular striation pattern. *J Hum Evol* 24(1):29–41
- Lalueza C, Pérez-Pérez A, Turbón D (1996) Dietary inferences through buccal microwear analysis of Middle and Upper Pleistocene human fossils. *Am J Phys Anthropol* 100:367–387. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199607\)100:3<367::AID-AJPA5>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199607)100:3<367::AID-AJPA5>3.0.CO;2-R)
- Mahoney P (2006) Dental microwear from Natufian hunter-gatherers and early neolithic farmers: comparisons within and between samples. *Am J Phys Anthropol*. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20311>
- Mahoney P (2007) Human dental microwear from Ohalo II (22,500–23,500 cal BP), southern Levant. *Am J Phys Anthropol*. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20548>
- Mahoney P, Schmidt C, Deter C et al (2016) Deciduous enamel 3D microwear texture analysis as an indicator of childhood diet in medieval Canterbury, England. *J Archaeol Sci* 66:128–136. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.01.007>
- Maier W, Schneck G (1982) Functional morphology of hominoid dentitions. *J Hum Evol* 11:693–696. [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(82\)80057-2](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(82)80057-2)
- Mays S (2016) A study of the potential of deciduous incisor wear as an indicator of weaning using a human skeletal population. *Int J Osteoarchaeol* 26:725–731. <https://doi.org/10.1002/oa.2464>
- Mays S, Gowland R, Halcrow S, Murphy E (2017) Child bioarchaeology: perspectives on the past 10 years. *Child Past*:1–19. <https://doi.org/10.1080/17585716.2017.1301066>
- Meehan CL, Roulette JW (2013) Early supplementary feeding among central African foragers and farmers: a biocultural approach. *Soc Sci Med* 96:112–120. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2013.07.029>
- Molleson T, Jones K, Jones S (1993) Dietary change and the effects of food preparation on microwear patterns in the Late Neolithic of Abu Hureyra, northern Syria. *J Hum Evol* 24:455–468
- Morales JI, Cebrià A, Mestres J, et al (2013) La Cova de la Guineu. 12.000 anys de presència humana a les capçaleres del Foix. III Monogr del Foix 172–183
- Oms FX, Cebrià A, Mestres J, et al (2016) Campaniforme i metal·lúrgia en un espai sepulcral del III mil·lenni cal. BC: la Cova de la Guineu (Font-rubí, Alt Penedès). *Jornades d’Arqueologia del Penedès* 109–116

- Pearson JA, Hedges REM, Molleson TI, Özbek M (2010) Exploring the relationship between weaning and infant mortality: an isotope case study from Aşıklı Höyük and Çayönü Tepesi. *Am J Phys Anthropol* 143:448–457
- Pelto GH, Zhang Y, Habicht J (2010) Premastication: the second arm of infant and young child feeding for health and survival? *Matern Child Nutr* 6:4–18
- Pérez-Pérez A, Espurz V, Bermúdez de Castro JM et al (2003) Non-occlusal dental microwear variability in a sample of Middle and Late Pleistocene human populations from Europe and the Near East. *J Hum Evol* 44:497–513. [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(03\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(03)00030-7)
- Pérez-Pérez A, Lalueza C, Turbón D (1994) Intraindividual and intragroup variability of buccal tooth striation pattern. *Am J Phys Anthropol* 94:175–187. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330940203>
- Pérez-Pérez A, Martínez LM, Gómez M et al (2018) Correlations among dietary proxies in African fossil hominins: dental buccal microwear, occlusal textures and ^{13}C stable isotope. *J Archaeol Sci Rep*. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.03.013>
- Pinhasi R, Stock JT (2011) Human bioarchaeology of the transition to agriculture. Eds: John Wiley & Sons.
- Polo-Cerdá M, Romero A, Casabó J, De Juan J (2007) The bronze age burials from Cova Dels Blaus (Vall d'Uixó, Castelló, Spain): an approach to palaeodietary reconstruction through dental pathology, occlusal wear and buccal microwear patterns. *HOMO - J Comp Hum Biol* 58:297–307. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2006.10.005>
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A et al (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55:1869–1887
- Romero A, De Juan J (2007) Intra- and interpopulation human buccal tooth surface microwear analysis: inferences about diet and formation processes. *Anthropologie* 45:61–70
- Romero A, Galbany J, De Juan J, Pérez-Pérez A (2012a) Brief communication: short- and long-term in vivo human buccal-dental microwear turnover. *Am J Phys Anthropol* 148:467–472. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22054>
- Romero A, Galbany J, Juan D, Pe A (2012b) Brief communication : short- and long-term in vivo human buccal – dental microwear turnover 000:0–5. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22054>
- Romero A, Martínez-Ruiz N, De Juan J (2004) Non-occlusal dental microwear in a Bronze-Age human sample from East Spain. *Anthropologie* 42:65–70
- Romero A, Ramírez-Rozzi FV, De Juan J, Pérez-Pérez A (2013) Diet-related buccal dental microwear patterns in central African pygmy foragers and bantu-speaking farmer and pastoralist populations. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084804>
- Ryan AS (1979) Wear striation direction on primate teeth: a scanning electron microscope examination. *Am J Phys Anthropol* 50:155–167. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330500204>
- Scharlotta I, Goude G, Herrscher E et al (2018) Shifting weaning practices in Early Neolithic Cis-Baikal. *Siberia* 28:579–598. <https://doi.org/10.1002/oa.2708>
- Schmidt CW (2001) Dental microwear evidence for a dietary shift between two nonmaize-reliant prehistoric human populations from Indiana. *Am J Phys Anthropol*. [https://doi.org/10.1002/1096-8644\(200102\)114:2<139::AID-AJPA1013>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/1096-8644(200102)114:2<139::AID-AJPA1013>3.0.CO;2-9)
- Schmidt CW, Beach JJ, McKinley JJ, Eng JT (2015) Distinguishing dietary indicators of pastoralists and agriculturists via dental microwear texture analysis. *Surf Topogr Metrol Prop* 4:14008
- Schmidt CW, Remy A, Van Sessen R et al (2019) Dental microwear texture analysis of *Homo sapiens sapiens*: foragers, farmers, and pastoralists. *Am J Phys Anthropol*:1–20. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23815>
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW (2012) NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods* 9:671
- Schour I, Massler M (1941) The development of the human dentition. *J Am Dent Assoc* 28:1153–1160
- Scott RM, Halcrow SE (2017) Investigating weaning using dental microwear analysis: a review. *J Archaeol Sci Rep* 11:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.026>
- Sellen DW, Smay DB (2001) Relationship between subsistence and age at weaning in “preindustrial” societies. *Hum Nat* 12:47–87
- Sołtysiak A (2011) Cereal grinding technology in ancient Mesopotamia: evidence from dental microwear. *J Archaeol Sci* 38:2805–2810. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.06.025>
- Tausch J, Kullmer O, Bromage TG (2015) A new method for determining the 3D spatial orientation of molar microwear. *Scanning* 37(6):446–457
- Teaford MF (1994) Dental microwear and dental function. *Evol Anthropol Issues News Rev* 3:17–30. <https://doi.org/10.1002/evan.1360030107>
- Teaford MF, Larsen CS, Pastor RF, Noble VE (2001) Pits and scratches: microscopic evidence of tooth use and masticatory behavior in La Florida. *Bioarchaeol Span Florida Impact Colon Univ Press Florida*, Gainesv 82–112
- Teaford MF, Lytle JD (1996) Brief communication: diet-induced changes in rates of human tooth microwear: a case study involving stone-ground maize. *Am J Phys Anthropol* 100:143–147
- Teaford MF, Ungar PS, Taylor AB et al (2017) In vivo rates of dental microwear formation in laboratory primates fed different food items. *Biosurf Biotribol* 3:166
- Teaford MF, Tylenda CA (1991) A new approach to the study of tooth wear. *J Dent Res* 70(3):204–207
- Teira Brión A, Amado E (2014) Molinos fuera de lugar. Fronteras y contextos de la molienda en la arqueología de la Edad del Hierro del noroeste ibérico *Rev d'Arqueologia Ponent* 24:271–287
- Ungar PS (2011) Dental evidence for the diets of Plio-Pleistocene hominins. *Am J Phys Anthropol* 146:47–62. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21610>
- Vaquero M, Alonso Fernández S, Alonso Fernández C et al (2009) New radiometric dates for the prehistory of northwestern Iberia: Valdavara cave (Becerreá, Lugo). *Trab Prehist* 66:99–113
- Ventresca Miller A, Hanks BK, Judd M, Epimakhov A, Razhev D (2017) Weaning practices among pastoralists: new evidence of infant feeding patterns from Bronze Age Eurasia. *Am J Phys Anthropol* 162:409–422. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23126>
- Vergès JM, Allué E, Fontanals M et al (2016) El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): a whole perspective. *Quat Int* 414:236–243
- Vergès JM, Munoz L, Pedro M et al (2017) La cova dels Galls Carboners (Mont-ral, Alt Camp), una cavitat d'inhumació col·lectiva durant l'edat del Bronze. *Butlletí Arqueol V* 38-39:17–43
- Waterman AJ, Silva AM, Tykot RH (2014) Stable isotopic indicators of diet from two late prehistoric burial sites in Portugal: an investigation of dietary evidence of social differentiation. *Open J Archaeom* 2:1. <https://doi.org/10.4081/arc.2014.5258>
- Waters-Rist AL, Bazaliiskii VI, Weber AW, Katzenberg MA (2011) Infant and child diet in Neolithic hunter-fisher-gatherers from cis-baikal, Siberia: intra-long bone stable nitrogen and carbon isotope ratios. *Am J Phys Anthropol* 146:225–241

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

6.2.3. Reconstrucción diacrónica del patrón dietético y economías de subsistencia de diferentes grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica (Inédito)

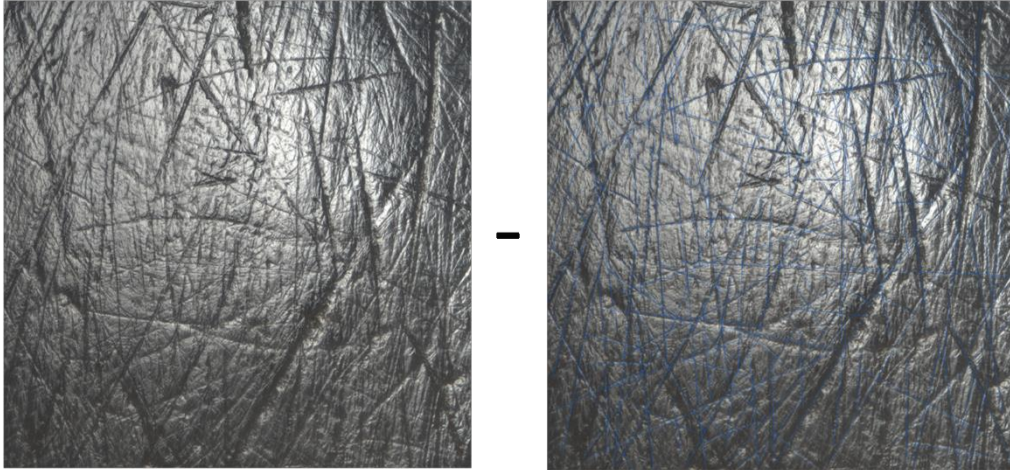
En este estudio se han analizado 232 individuos adultos provenientes de los conjuntos analizados en la presente Tesis Doctoral [ver capítulo 4. Material], de los cuales 103 individuos (el 51,76% del total) preservan en condiciones óptimas el microdesgaste dental en la superficie bucal. Los factores que contribuyen a esta pérdida de información son diversos, desde la ausencia de dentición posterior en las mandíbulas, hasta la rotura del esmalte en las coronas a causa de diferentes procesos tafonómicos [ver capítulo 5.4].

La Tabla 6.1 muestra el conjunto de individuos totales para cada yacimiento y la muestra final seleccionada con una buena preservación del microdesgaste dental [Figura 6.1; Figura 6.2; Figura 6.3]. Para la selección del NMI en los conjuntos con dientes aislados se seleccionó el molar más abundante, como es el caso de la mayoría de los grupos: Cova de l'Avi, Can Sadurní, Cova de la Guineu, Cova Foradada, Cova del Trader y Galls Carboners. Mientras que cuando se tuvo la opción de tener acceso a mandíbulas o agrupaciones de individuos, como es el caso de la Cueva de El Mirador, Roc de les Orenetes y Cova del Gegant, se priorizaron los segundos molares inferiores, y en caso de ausencia se escogió del resto de dentición posterior. La lista detallada de todos los individuos adultos con los datos de microdesgaste dental se encuentran en el material suplementario adjunto [Anexo II: Datos de microdesgaste dental].

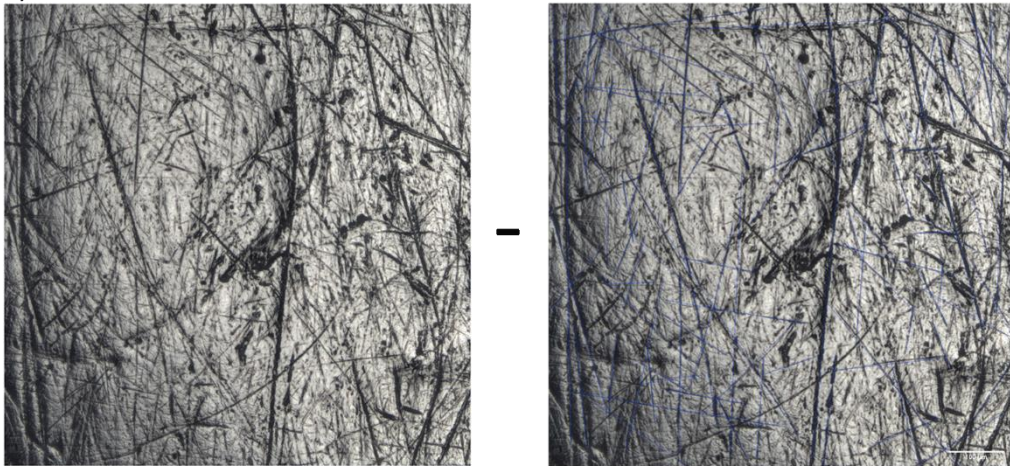
Grupo	Individuos Adultos totales	Muestra Final
Cova de l'Avi	14 M2LL	7 M2LL
Can Sadurní	34 M1LR	21 M1LR
Cova de la Guineu	77 M2LL	29 M2LL
Cova Foradada	9 P3LL	5 P3LL
El Mirador	28 Mandíbulas	15 (P4, M1, M2: LL, LR)
Cova del Trader	5 M2LR	1 M2LR
Roc de les Orenetes	50 mandíbulas	15 (M1, M2: LL, LR)
Cova del Gegant	9 individuos	6 (P3,P4,M1,M2: UL,UR,LL,LR)
Galls Carboners	6 M2LR	4 M2LR

Tabla 6.1 Número de individuos analizados totales de cada grupo y su muestra final con preservación del microdesgaste bucal. Entre paréntesis se muestra la selección de dientes para cada grupo.

a) Cova de l'Avi: Individuo 8



b) Can Sadurní: CS05-SE-R2-37



c) Cova de la Guineu:GN95-B6-161

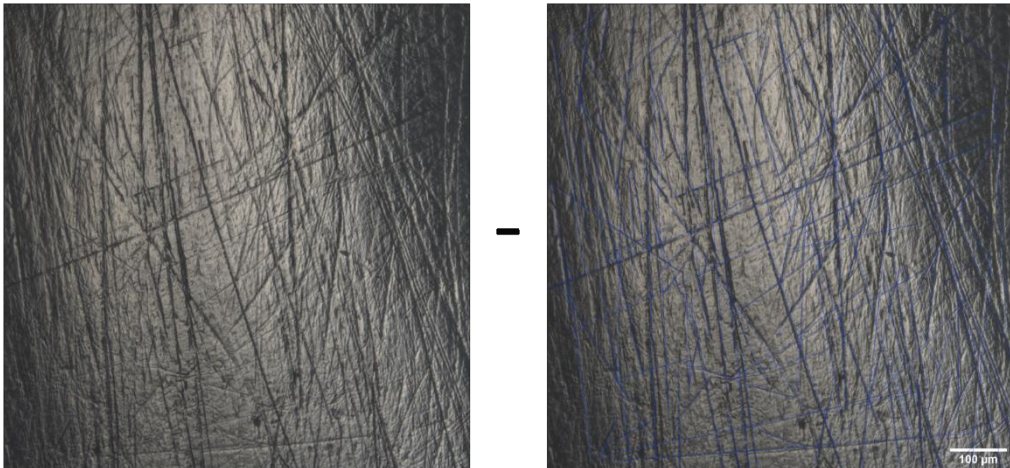
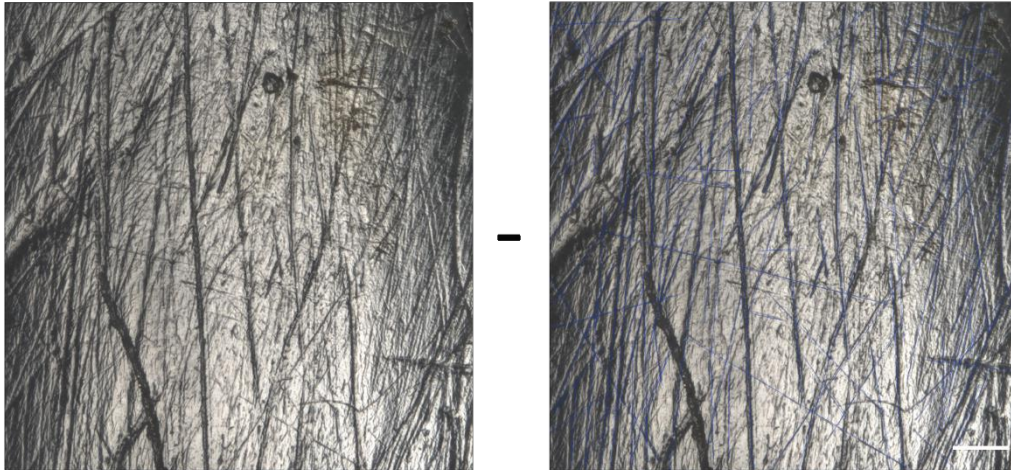
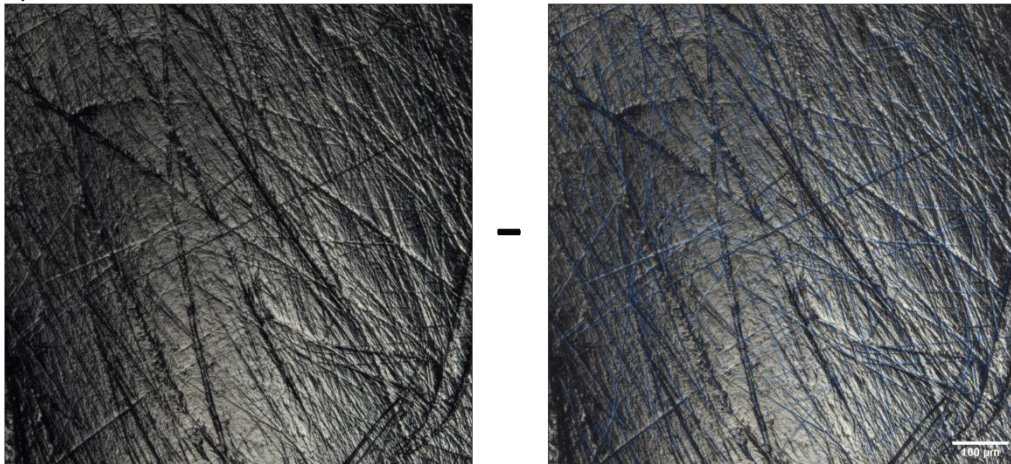


Figura 6.1 Imágenes ilustrativas del microdesgaste bucal y el posterior conteo de estrías de diferentes individuos de Cova de l'Avi, Can Sadurní y Cova de la Guineu . Los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 µm) con un objetivo de 10x. Escala 100 µm.

a) Cova Foradada: FO06-la-F9-1011



b) El Mirador: Individuo 8



c) Cova del Trader: MT17-I17-197

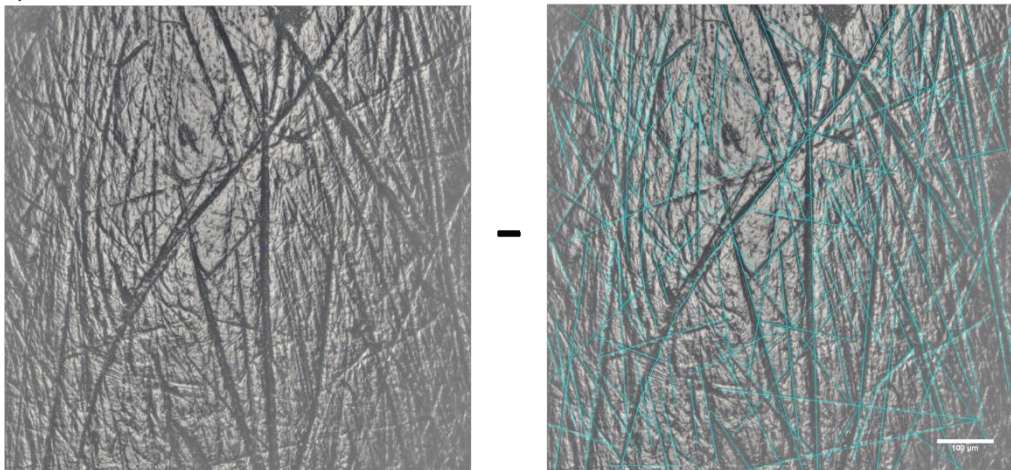
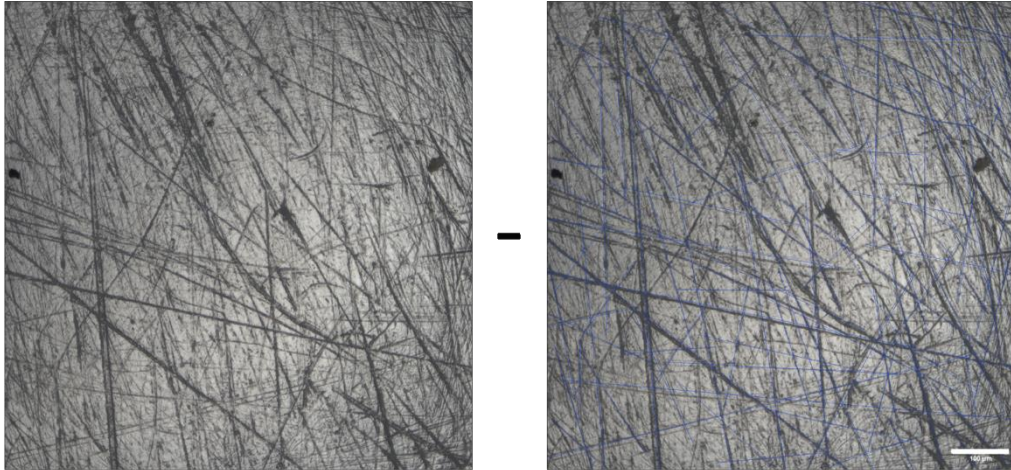
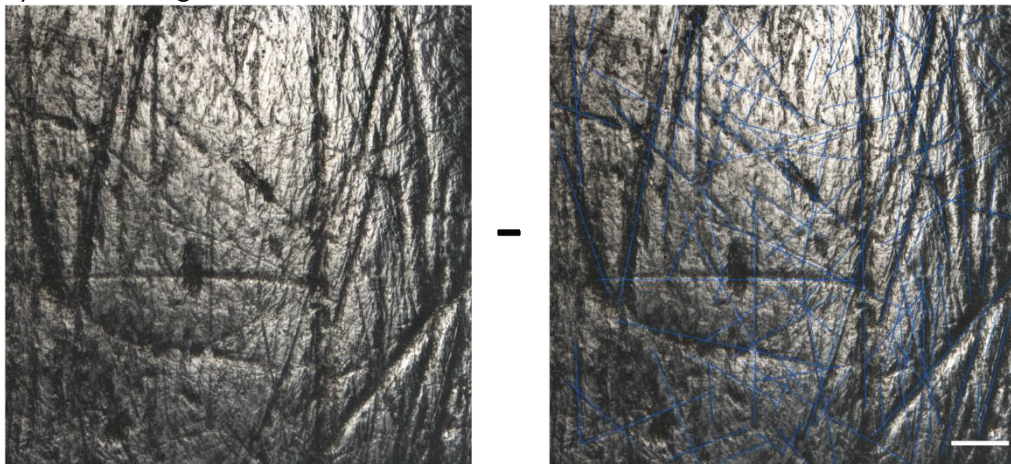


Figura 6.2 Imágenes ilustrativas del microdesgaste bucal y su posterior conteo de estrías de diferentes individuos de Cova Foradada, El Mirador y Cova del Trader. Los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 µm) con un objetivo de 10x. Escala 100 µm.

a) Roc de les Orenetes



b) Cova del Gegant: Individuo 12



c) Galls Carboners: GC2200-220

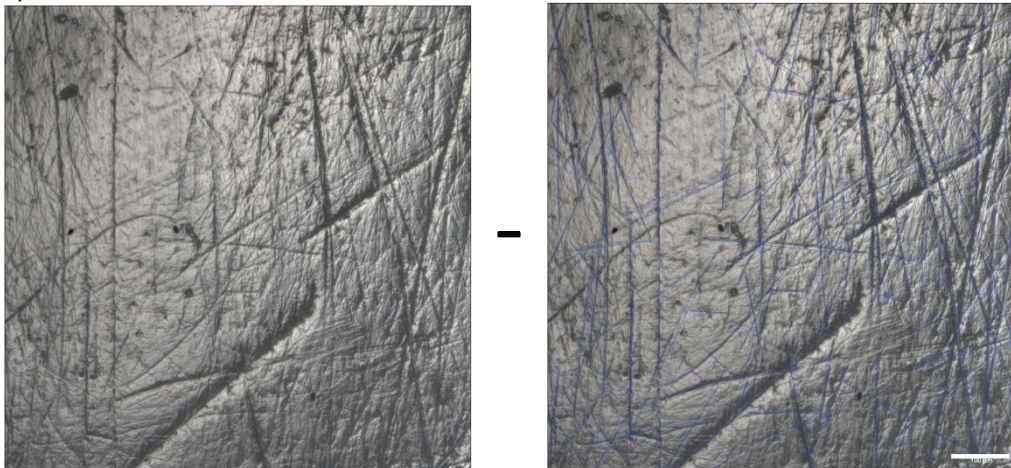


Figura 6.3 Imágenes ilustrativas del microdesgaste bucal y su posterior conteo de estrías de diferentes individuos de Roc de les Orenetes, Cova del Gegant y Galls Carboners. Los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 μ m) con un objetivo de 10x. Escala 100 μ m.

Los resultados de la estadística descriptiva para cada grupo se muestran en la [Tabla 6.2]. Para la variable número total de estrías (BTN), el valor medio más alto lo tiene el

grupo de El Mirador (BTN; $X=140.27$), seguido de la Cova de l'Avi (BTN; $X=135.85$), mientras que las medias más bajas corresponden al grupo de Galls Carboners (BTN; $X=95.25$) seguida de Roc de les Orenetes (BTN; $X=97.20$). El grupo con la mediana más alta se corresponde con Cova de l'Avi (BTN; $M_e=141$), mientras que los valores más bajos de la mediana los tiene otra vez Galls Carboners (BTN; $M_e=94.50$) [Tabla 6.2; Figura 6.4]. Por lo que respecta a la longitud de las estrías (XT), el valor más alto de la media lo tiene Roc de les Orenetes (XT; $X=260.32 \mu\text{m}$), mientras que los valores más bajos en la media corresponden a Cova del Gegant (XT; $X=198.10 \mu\text{m}$). Estas tendencias son las mismas para la mediana, donde el valor más alto pertenece a Roc de les Orenetes (XT; $M_e=265.55 \mu\text{m}$) (XT; $M_e=196.67 \mu\text{m}$) [Tabla 6.2, Figura 6.4].

Respecto al error intraobservador, una sola persona (RH) fue la responsable de la medición de todas las imágenes de microdesgaste. Para comprobar la consistencia intraobservador (Galbany et al., 2005; Grine et al., 2002), se seleccionaron aleatoriamente tres micrografías y se cuantificaron tres veces cada una. Los valores obtenidos evidencian una baja variación intraobservador en el análisis en base a la desviación estándar [Anexo III: Error intraobservador].

		CA	CS	GN	FO	MIR	RO	CG	GC
BTN	Media	135.85	104.19	125.76	121.00	140.27	97.20	114.16	95.25
	Mediana	141.00	104.00	122.00	128.00	140.00	96.00	117.50	94.50
	RIQ	117-149	97-111.50	113-138	109-129.50	121-150	94-104	101.50-101.75	86.50-104.75
	SE	6.92	2.18	2.98	5.52	6.55	1.65	4.22	4.92
	SD	18.30	9.99	16.03	12.35	25.35	6.41	10.34	9.84
XT	Media	228.34	241.22	231.91	221.07	232.60	260.32	198.10	232.60
	Mediana	232.66	241.93	225.18	227.90	222.89	265.55	196.67	236.61
	RIQ	215.31-244.72	221.00-263.54	215.54-245.80	201.86-236.85	212.77-254.89	238.52-271.48	168.577-230.77	214.96-246.24
	SE	7.43	5.81	4.56	8.76	6.00	6.29	14.74	8.65
	SD	19.66	26.61	24.54	19.59	23.25	24.35	36.10	17.31
NV/BTN	Media	0.55	0.50	0.49	0.55	0.51	0.53	0.48	0.47
	Mediana	0.56	0.47	0.49	0.52	0.52	0.52	0.49	0.48
	RIQ	0.45-0.65	0.40-0.57	0.42-0.56	0.46-0.65	0.42-0.59	0.48-0.58	0.41-0.55	0.38-0.55
	SE	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.05
	SD	0.09	0.10	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.09
NH/BTN	Media	0.11	0.11	0.10	0.07	0.09	0.09	0.10	0.15
	Mediana	0.10	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.10	0.14
	RIQ	0.07-0.14	0.06-0.15	0.07-0.13	0.03-0.11	0.06-0.11	0.05-0.13	0.06-0.14	0.14-0.16
	SE	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
	SD	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.02
w	Media	9.63	7.13	6.94	8.48	7.51	4.51	14.77	7.17
	Mediana	9.43	7.05	6.40	8.46	7.56	4.58	12.37	7.61
	RIQ	8.77-10.29	6.00-8.48	5.80-7.77	7.38-9.6	6.3-8.35	3.47-5.34	8.91-21.14	5.07-8.83
	SE	0.43	0.38	0.31	0.60	0.49	0.27	2.94	1.05

SD	1.15	1.72	1.66	1.35	1.91	1.06	7.21	2.10
----	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabla 6.2 Estadística descriptiva para las variables de microdesgaste bucal por grupo (CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners). BTN: Número total de estrías; XT: Longitud de las estrías; NV/BTN: Índice vertical; NH/BTN: Índice Horizontal; W: Anchura de las estrías. RIQ: Rango intercuartil; SE: Error estándar; SD: Desviación estándar.

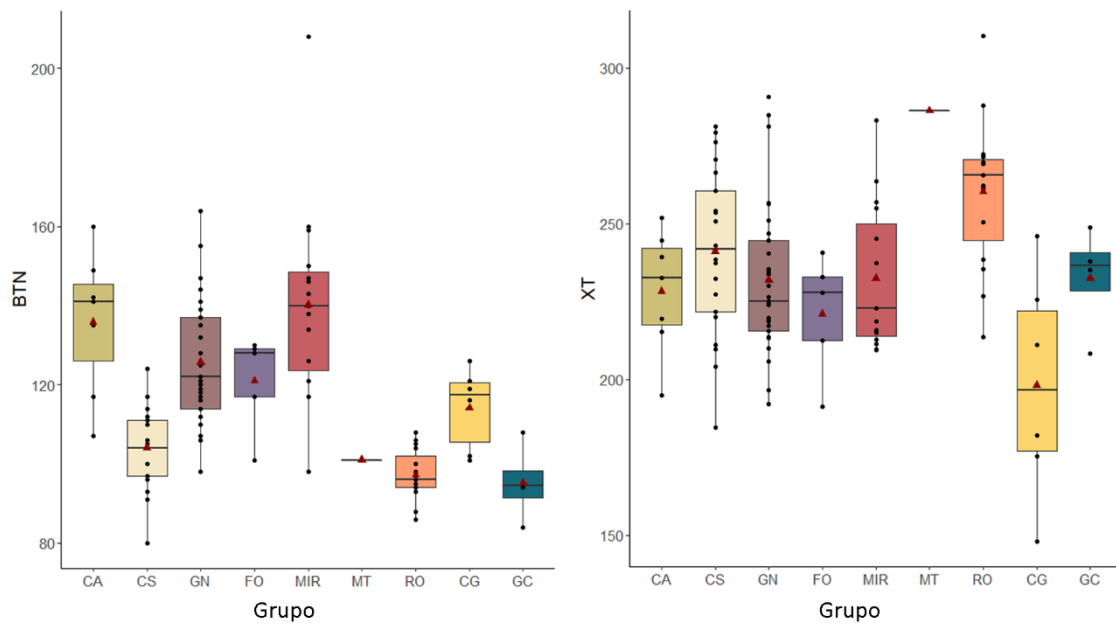


Figura 6.4 Boxplot con la distribución de las variables a) BTN: Número total de estrías y b) XT: Longitud de las estrías (μm) para los grupos analizados. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. Los triángulos rojos muestran las medias y las líneas horizontales muestran la mediana.

Se calcularon los índices verticales de frecuencia relativa (NV/BTN), siendo los valores de la media más altos (NV/BTN ; $X=0.55$) en dos grupos a la vez, Cova de l'Avi y Cova Foradada, la media más baja se corresponde con Galls Carboners (NV/BTN ; $X=0.47$). Mientras que los valores más altos de la mediana corresponden exclusivamente a los individuos de Cova de l'Avi (NV/BTN ; $M_e=0.56$) y los valores más bajos son para Can Sadurní (NV/BTN ; $M_e=0.47$) [Tabla 6.2, Figura 6.5]. Para los índices horizontales de frecuencia relativa (NH/BTN), los valores más altos de la media se encuentran en los individuos de Galls Carboners (NH/BTN ; $X=0.15$), por el contrario, los valores más bajos están en el grupo de Cova Foradada (NH/BTN ; $X=0.07$). Igual que los valores de la media, se observan los valores más altos de la mediana para Galls Carboners (NH/BTN ; $M_e=0.14$) mientras que los más bajos (NH/BTN ; $M_e=0.08$) corresponden a dos grupos, El Mirador y Roc de les Orenetes [Tabla 6.2, Figura 6.5].

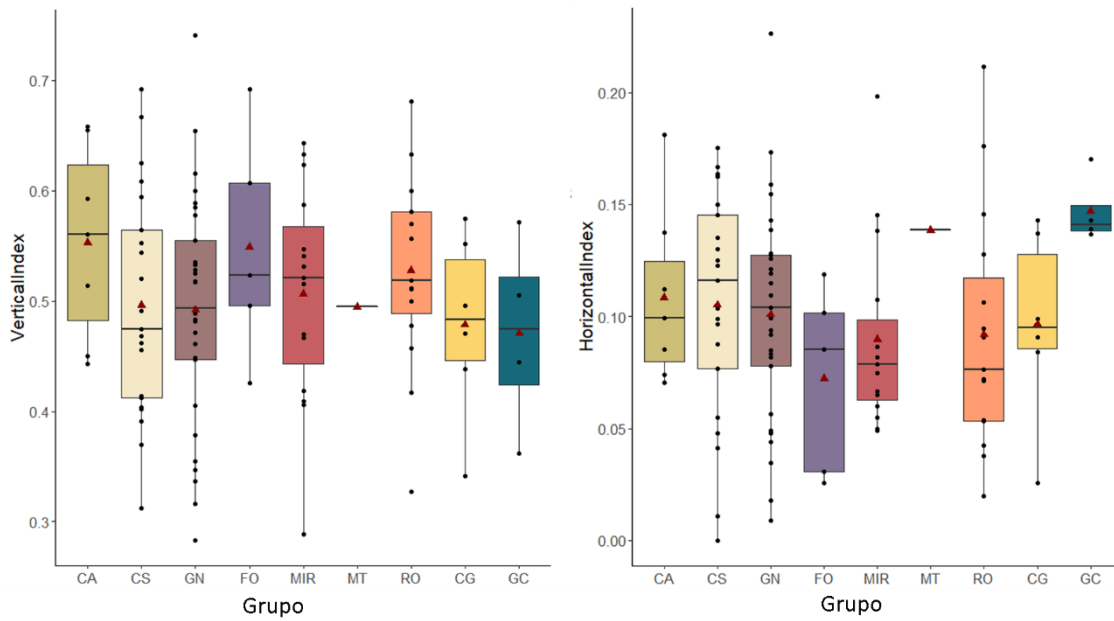


Figura 6.5 Boxplot con la distribución de a) los Índices verticales (NV/BTN) y b) los índices horizontales (NH/BTN) para los grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. Los triángulos rojos muestran las medias y las líneas horizontales muestran la mediana.

Por último, para la variable de la anchura de las estrías (W) son los individuos de la Cova del Gegant los que poseen la media (W; $X=14.77 \mu\text{m}$) y la mediana (W; $M_e=12.37 \mu\text{m}$) más alta, mientras que el grupo del Roc de les Orenetes son los que tienen valores de la media (W; $X=4.51 \mu\text{m}$) y la mediana (W; $M_e=4.58 \mu\text{m}$) más bajos [Tabla 6.2, Figura 6.6].

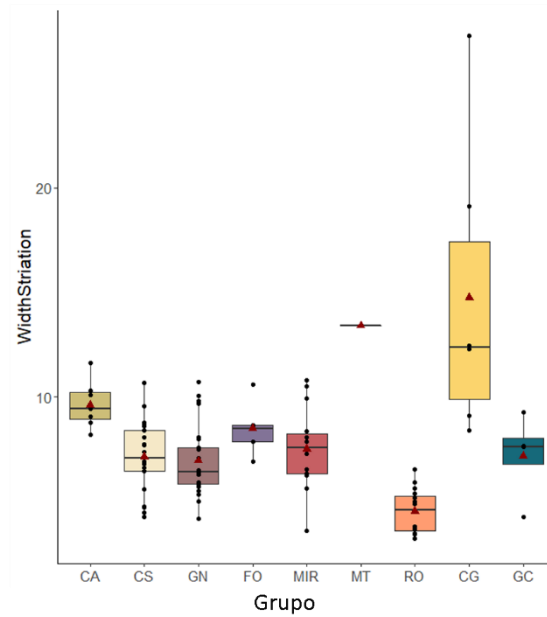


Figura 6.6 Boxplot con la distribución de la anchura de las estrías (W) para los grupos estudiados. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. Los triángulos rojos muestran las medias y las líneas horizontales muestran la mediana.

Respecto a la estadística univariante, primero se realizaron los test de Shapiro-Wilk que indicaron una desviación de la distribución normal de las variables [Tabla 6.3]. Por lo tanto, para establecer comparaciones cuantitativas entre las muestras se utilizaron test no paramétricos Kruskal-Wallis, que se basan en a comparativa de las medianas de los grupos analizados.

	BTN		XT		NV/BTN		NH/BTN		W	
	W	p	W	p	W	p	W	p	W	p
Cova de l'Avi	0.951	0.739	0.957	0.797	0.920	0.467	0.903	0.353	0.968	0.884
Can Sadurní	0.980	0.929	0.973	0.803	0.969	0.703	0.943	0.246	0.968	0.683
Cova de la Guineu	0.971	0.577	0.927	>0.00*	0.980	0.842	0.978	0.787	0.902	>0.00*
Cova Foradada	0.806	0.090	0.931	0.606	0.969	0.871	0.850	0.196	0.945	0.702
El Mirador	0.918	0.182	0.881	>0.00*	0.950	0.518	0.842	>0.00*	0.963	0.771
Roc de les Orenetes	0.954	0.584	0.954	0.586	0.975	0.919	0.926	0.241	0.913	0.150
Cova del Gegant	0.878	0.261	0.977	0.933	0.949	0.731	0.917	0.483	0.863	0.198
Galls Carboners	0.955	0.746	0.903	0.445	0.989	0.952	0.630	>0.00*	0.894	0.401

Tabla 6.3 Test estadístico Shapiro-Wilk para testar la normalidad de cada grupo analizado. W: Shapiro-Wilk value; p: p-valor. BTN: Número total de estrías; XT: Longitud de las estrías; NV/BTN: Índice vertical; NH/BTN: Índice Horizontal; W: Anchura de las estrías. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.

A través de los test Kruskal-Wallis, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, en el número total de estrías, su longitud media y la anchura de las mismas (**BTN**; Kruskal-Wallis: $X^2=60.553$, $p>0.000$; **XT**; Kruskal-Wallis: $X^2=21.251$, $p=0.003$; **W**; Kruskal-Wallis: $X^2=48.014$, $p>0.000$). Por otro lado, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos para los Índices verticales y horizontales (**NV/BTN**; Kruskal-Wallis: $X^2=4.882$, $p=0.674$; **NH/BTN**; Kruskal-Wallis: $X^2=9.218$, $p=0.237$).

Con el objetivo de poder identificar entre que grupos se encuentran las diferencias significativas, se realizaron los test *poshoc* Dunn con el ajuste de Holm. En el caso del número total de estrías, se observaron diferencias significativas entre Cova de l'Avi con Can Sadurní, Cova de la Guineu y El Mirador. Lo mismo sucedió con el grupo de Galls Carboners y Roc de les Orenetes que se diferenciaron estadísticamente de Can Sadurní, Cova de la Guineu y Mirador [Tabla 6.4]. Como se observa en la [Figura 6.4], para el número de estrías (BTN) hay dos grupos claramente diferenciados. En el primero, con tendencias centrales más bajas de BTN, se encontrarían Can Sadurní, Galls Carboners y Roc de les Orenetes. Mientras que con frecuencias más altas de estrías estarían Cova de l'Avi, Cova de la Guineu y El Mirador.

BTN	CA	CG	CS	FO	GC	GN	MIR
CG	1.000	X					
CS	0.011*	1.000	X				
FO	1.000	1.000	1.000	X			
GC	0.024*	1.000	1.000	0.555	X		
GN	1.000	1.000	0.002*	1.000	0.042*	X	
MIR	0.933	1.000	0.001*	1.000	0.005*	1.000	X
RO	0.003*	0.549	1.000	0.114	1.000	>0.000*	>0.000*

Tabla 6.4 Test *poshoc* Dunn con el ajuste de Holm para las comparaciones múltiples de la variable BTN entre grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.

En el caso de la longitud de las estrías (XT) se vieron diferencias significativas entre los individuos de Roc de les Orenetes con los grupos de Cova del Gegant y Cova de la Guineu [Tabla 6.5].

XT	CA	CG	CS	FO	GC	GN	MIR
CG	1.000	X					
CS	1.000	0.281	X				
FO	1.000	1.000	1.000	X			
GC	1.000	1.000	1.000	1.000	X		
GN	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	X	
MIR	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.987	X
RO	0.573	0.005*	1.000	0.263	1.000	0.043*	0.159

Tabla 6.5 Test *posthoc* Dunn con el ajuste de Holm para las comparaciones múltiples de la variable XT entre grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.

Por último, para la anchura de las estrías (W), a excepción de las diferencias significativas encontradas entre Cova del Gegant y Cova de la Guineu, se observó que son los individuos de Roc de les Orenetes los que tienen diferencias estadísticamente significativas con las poblaciones de Cova de l'Avi, Cova del Gegant, Can Sadurní, Cova Foradada, Cova de la Guineu, y el Mirador [Tabla 6.6].

W	CA	CG	CS	FO	GC	GN	MIR
CG	1.000	X					
CS	0.283	0.083	X				
FO	1.000	1.000	1.000	X			
GC	1.000	0.855	0.939	1.000	X		
GN	0.066	0.016*	1.000	1.000	1.000	X	
MIR	0.778	0.266	1.000	1.000	1.000	1.000	X
RO	>0.000*	>0.000*	0.006*	0.006*	0.496	0.020*	0.005*

Tabla 6.6 Test *posthoc* Dunn con el ajuste de Holm para las comparaciones múltiples de la variable W entre grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.

Se utilizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre la matriz de covarianza para identificar diferencias y/o similitudes entre los diferentes grupos en base a las variables de microdesgaste dental que mostraron diferencias estadísticamente significativas. La [Figura 6.7] muestra las relaciones entre los dos primeros componentes del PCA. El componente principal explica un 45.83% de la varianza de la muestra y viene

definido principalmente por el número de estrías y la longitud de las mismas, mientras que el componente 2 explica un 30.33% de la varianza total y está determinado principalmente por la anchura de las estrías. En total, el PCA representa un 76.16% de la varianza con los dos primeros componentes. Para el eje de las X, se observan un solapamiento de las poblaciones de El Mirador, Cova de la Guineu, Cova de l' Avi y Cova Foradada. Sin embargo, estos 4 grupos presentan tendencias claramente diferenciadas en el intervalo de confianza al 95% de la media con los otros grupos de Galls Carboners y Can Sadurní y Roc de les Orenetes, este último se diferencia del resto de grupos. Mientras que el eje de las Y, ortogonal al primero, se observa un mayor solapamiento entre todos los grupos, siendo las tendencias centrales más extremas, Cova del Gegant con El Mirador y Cova de la Guineu. Estas dos últimas presentan tendencias más bajas del componente dos en contraposición a la Cova del Gegant.

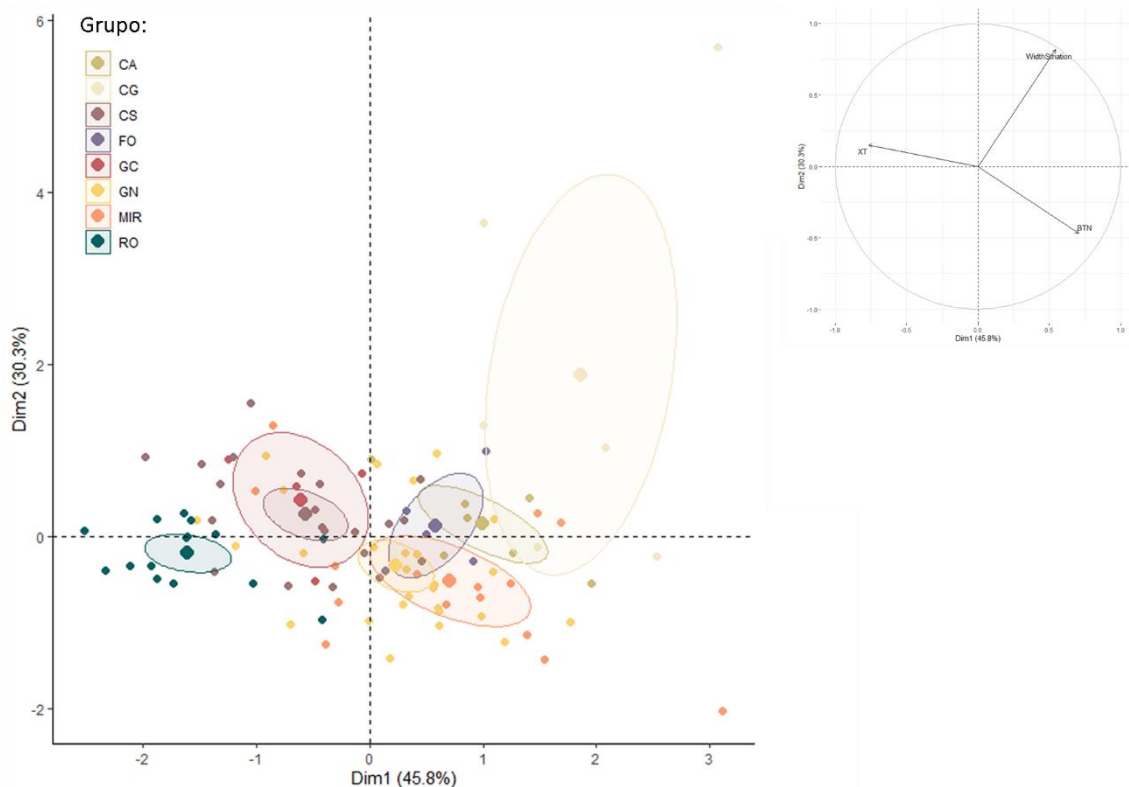


Figura 6.7 Análisis de componentes principales (PCA) representando las variables con diferencias significativas (BTN, XT, W) para los diferentes grupos. El componente 1 explica un 45.8% de la varianza, mientras que el componente 2 explica el 30.3% de la varianza. Las elipses muestran el 95% de confianza. CA: Cova de l' Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners

A nivel intrapoblacional, ya sea por la ausencia de información sobre el sexo de los individuos para la mayoría de los grupos o por el limitado tamaño de muestra sexada en

grupos como El Mirador (nueve individuos masculinos y tres individuos femeninos) y Cova del Gegant (cuatro individuos masculinos y un individuo femenino) han impedido testar cuantitativamente la existencia de diferencias dietéticas asociadas al sexo del individuo.

7. DISCUSIÓN

Los resultados de la presente Tesis Doctoral han permitido articular una discusión en torno a dos líneas de investigación. Primero, desde un punto de vista metodológico se han abordado las diferentes metodologías aplicadas al estudio del microdesgaste dental. Debido a las limitaciones de las metodologías establecidas, se planteó desarrollar una alternativa en base a las mejoras tecnológicas aplicadas al microscopio óptico. Durante los años 70, la microscopía óptica a altos aumentos fue descartada del análisis del microdesgaste dental, sin embargo, la nueva generación de microscopios ópticos ha resuelto las limitaciones técnicas favoreciendo el planteamiento de una metodología consistente que proporciona una serie de ventajas frente a otros tipos de microscopía. Además, las discrepancias entre investigadores sobre el análisis de las diferentes superficies dentales, bucal y oclusal, nos motivó a desarrollar una comparativa de ambas para intentar definir qué información aporta cada una y qué ventajas puede tener su estudio combinado.

Desde otra perspectiva, se han valorado los resultados obtenidos en el estudio del patrón de microdesgaste bucal en los individuos adultos de los grupos analizados a través del microscopio óptico. El principal objetivo se ha centrado en la caracterización de su dieta en base a sus economías de subsistencia, contextualizándolos con otros grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica. Por otro lado, establecer diferentes patrones de microdesgaste dental relacionados con la edad del individuo permite establecer interesantes inferencias sobre aspectos sociales de esas poblaciones holocenas. Para ello, se desarrolló un estudio centrado en individuos infantiles en el que se llevó a cabo un análisis combinando ambas superficies, bucal y oclusal, mediante la metodología clásica con el microscopio electrónico de barrido.

7.1. Discusión metodológica

7.1.1. El potencial de la microscopía óptica a altos aumentos frente a la microscopía electrónica de barrido para la documentación del microdesgaste dental

Las técnicas microscópicas han ido evolucionando y creando mejoras a lo largo de los años, lo que ha implicado que el microdesgaste dental sea una metodología en constante desarrollo. La sustitución del microscopio óptico para el análisis del microdesgaste dental por el microscopio electrónico de barrido se debió a una serie de limitaciones del primero como, por ejemplo, los problemas generados por las superficies brillantes del esmalte, la limitada profundidad de campo, y los problemas de resolución asociados. Esto, unido a que la superficie del molar es curva, hacía muy difícil analizar el microdesgaste dental ya que el campo de visión estaba desenfocado (en inglés, *out of focus*) y sólo se visualizaba en forma de banda estrecha (Brothwell, 1969; Krueger, 2016a; Olsen, 1988; Romero and De Juan, 2012; Ungar, 2018; Ungar et al., 2008b).

Este problema es común entre diferentes disciplinas, ya que algunos traceólogos han mostrado líneas “fantasmas”, interpretadas erróneamente como estrías debido a la limitada profundidad de campo (Borel et al., 2014; González-Urquijo and Ibáñez Estévez, 1994, p. 59). Sin embargo, en los últimos años las mejoras tecnológicas de la microscopía óptica, gracias los sistemas de enfoque continuo, han supuesto numerosos avances en este campo, erradicando este problema (Ashkenazi and Cvikel, 2020; Plisson and Zotkina, 2015). Dadas estas mejoras tecnológicas, junto con a la amplia disponibilidad de estos equipamientos en diferentes instituciones, en esta sección vamos a evaluar la aplicabilidad de la microscopía óptica a altos aumentos (100x) para el análisis del microdesgaste dental en la superficie bucal, como alternativa al uso del microscopio electrónico de barrido.

En general, se ha observado un mayor número de estrías (BTN) en el recuento de las micrografías con el microscopio óptico en comparación con las de microscopio electrónico de barrido [Figura 7.1]. La equivalencia de los aumentos entre microscopios se basa en una calibración previa, en la que se conoce el tamaño de las dimensiones del campo de visión de cada sistema de adquisición, siendo los aumentos de microscopio

óptico equivalentes a los del microscopio electrónico de barrido (Borel et al., 2014). Por lo tanto, las diferencias observadas en el recuento de las estrías reflejan una diferencia en del usuario a la hora de cuantificar, observando más estrías con el microscopio óptico. Esta diferencia es debida a que el microscopio óptico tiene una mejor resolución de la imagen junto con su aspecto tridimensional, lo que se ha atribuido a las mejoras obtenidas gracias al software *extended focus* (en este caso, Helicon Focus Photoshop, Image Analyzer).

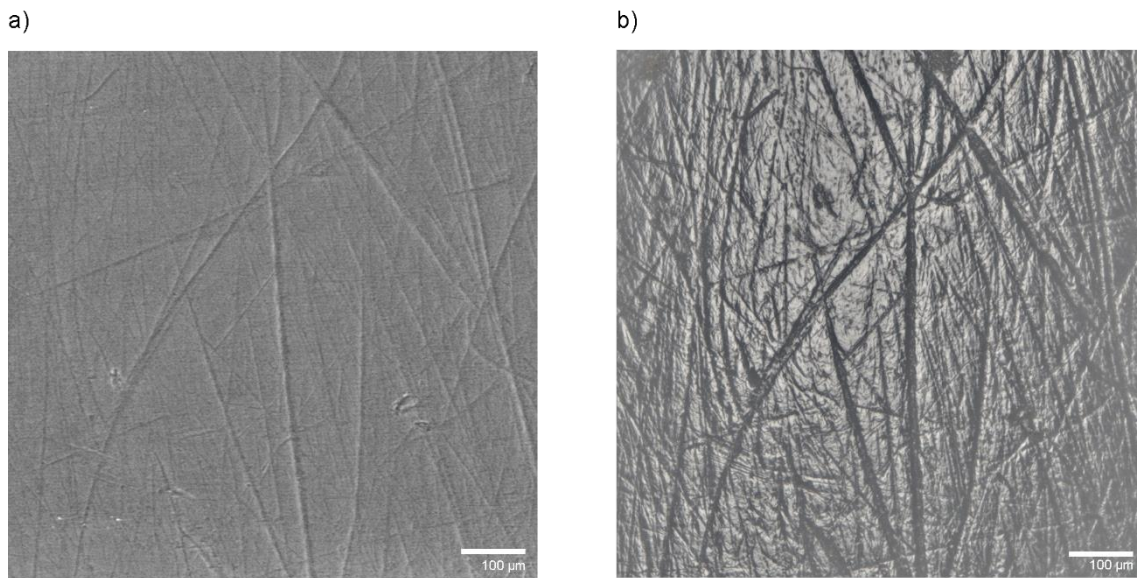


Figura 7.1 Figura comparativa del patrón de microdesgaste dental del individuo de Mas Trader (MT17-I17-197) a través de a) microscopio electrónico de barrido y b) microscopio óptico. Los aumentos del SEM son de 100x en el modo de pantalla múltiple (campo de visión horizontal: 1490 µm), los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 µm) con un objetivo de 10x.

En este sentido, destaca el mayor número de estrías horizontales obtenidas con el microscopio óptico frente al microscopio electrónico de barrido (117,65%). La explicación puede residir en la naturaleza de las imágenes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido ya que se basan en un haz de electrones en vez de un haz de luz, creando imágenes de apariencia más planas (Borel et al., 2014; Ollé et al., 2016), independientemente de la profundidad de campo. Mientras que, el microscopio óptico toma varias micrografías a diferentes intervalos de profundidad en la misma zona, y posteriormente estas micrografías se combinan gracias al software *extended focus*, que consigue una mayor profundidad de campo, creando una imagen completamente enfocada (Borel et al., 2014). El resultado es una imagen más tridimensional que mejora

la percepción topográfica de las estrías. Cabe mencionar, que el microscopio electrónico de barrido también posee el “extended focus” (por ejemplo, Vergès y Morales (2014); Willman et al., (2020; 2019)), no obstante, no es un procedimiento estándar en gran medida porque consume mucho tiempo.

Las variables analizadas con ambos microscopios muestran una fuerte correlación positiva, evidenciando una consistencia en los conteos de estrías entre ambas técnicas. Sin embargo, correlación no significa necesariamente que ambas técnicas sean comparables (Bland and Altman, 1999, 1986). Los datos obtenidos a través del método estadístico Bland y Altman sugieren que, aunque consistentes, ambas técnicas no son comparables. Es decir, el conteo de los rasgos de microdesgaste junto con la diferencia de la media (o sesgo), refleja que las diferencias en los recuentos de estrías entre los dos microscopios serían demasiado elevadas para considerar que ambos métodos son directamente comparables. Por lo tanto, no es posible asumir que las variables analizadas sean equivalentes entre los métodos, lo que significa que los datos de microdesgaste dental obtenidos con el microscopio óptico no pueden utilizarse como referencia comparativa a la hora de interpretar las mismas variables con el microscopio electrónico de barrido.

El re-emprendimiento de los estudios de microdesgaste dental de altos aumentos con el microscopio óptico ha proporcionado una serie de ventajas frente al microscopio electrónico de barrido, una de las más significativas es su accesibilidad. Mientras que el microscopio electrónico de barrido es un equipo de gran tamaño que no solo es caro de adquirir, sino que, además, exige un constante mantenimiento. El microscopio óptico requiere menos espacio físico y suele tener un coste de adquisición mucho menor, además de requerir menos mantenimiento. Por otro lado, la metodología que proponemos en este trabajo basada en el microscopio óptico es mucho más rápida ya que permite observar directamente el diente original y/o la réplica. En cambio, los procesos de preparación de las muestras previo a la visualización en el microscopio electrónico de barrido a alto vacío consumen mucho tiempo. Además de que supone un coste extra como, por ejemplo, el recubrimiento por pulverización catódica de las muestras que requiere de un equipo propio para ello, aparte del tiempo consumido por el bombeo para hacer el vacío de la cámara. Del mismo modo, la adquisición de la

imagen en el microscopio óptico es mucho más rápida que en el microscopio electrónico de barrido. Por último, respecto al conteo de las estrías, las imágenes obtenidas a través del óptico gracias a su aspecto más tridimensional facilitan la detección de las estrías lo que conlleva a una reducción de la fatiga ocular asociada a esta técnica.

En este estudio, se propone la reutilización del microscopio óptico a altos aumentos como alternativa al análisis de los patrones de microdesgaste a través del microscopio electrónico de barrido tradicional. Nuestros resultados demuestran que, gracias a los recientes avances de los equipos y programas informáticos, y al establecimiento de protocolos analíticos llevados a cabo por la línea de traceología, los problemas que inicialmente llevaron a descartar el microscopio óptico para los estudios de microdesgaste dental en grupos humanos ya no son un obstáculo. Sino que, además, presenta varias ventajas importantes sobre la metodología tradicional como su amplia accesibilidad en los entornos de investigación (ejemplo, Universidades, centros de investigación...entre otros), la reducción del tiempo de obtención y análisis de las imágenes, y el aspecto tridimensional de la imagen, lo que reduce la fatiga ocular del observador.

7.1.2. Comparación de las superficies bucales y oclusales a través del análisis 3D de la microtextura dental

Desde los inicios de la técnica, el microdesgaste dental en grupos bioarqueológicos ha sido analizado tanto en las superficies oclusales como en las bucales, aunque rara vez se han examinado ambas superficies en un mismo estudio (García-González et al., 2015; Hernando et al., 2021), debido a los debates tradicionales en la disciplina acerca de la utilidad de cada superficie en detrimento de la otra (Pérez-Pérez, 2004; Ungar and Teaford, 1996; Walker, 1979). Por esta razón, las diferentes investigaciones se han centrado en una superficie u otra, usando diferentes tecnologías para la obtención de imágenes lo que conlleva que los datos obtenidos no puedan ser comparables entre sí.

Por ejemplo, la mayoría de los estudios centrados en la superficie bucal del esmalte en grupos bioarqueológicos se siguen basando en la cuantificación manual a partir de

imágenes obtenidas tanto con el microscopio electrónico (por ejemplo, Lalueza-Fox et al., (1996); Pérez-Pérez et al., (1994); Romero et al., (2012); Romero et al., (2013)) como con el microscopio óptico (por ejemplo, Hernando et al., (2020a)). Mientras que los análisis de microdesgaste oclusal se desplazaron hacia la cuantificación automática mediante el análisis de la textura del microdesgaste dental (DMTA) con la microscopía confocal (por ejemplo, El-Zaatari, (El-Zaatari, 2010); Mahoney et al., (2016); Schmidt et al., (2019, 2015); Ungar et al., (2003)). Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que la combinación de ambas superficies puede proporcionar datos complementarios para inferir los hábitos alimenticios de estas poblaciones (García-González et al., 2015; Hernando et al., 2021). No obstante, rara vez se ha explorado la superficie bucal a través de la técnica DMTA (Aliaga-Martínez et al., 2017) y actualmente, no hay ningún estudio que haya comparado ambas superficies en un mismo diente mediante DMTA.

Siguiendo el paradigma actual, estudios previos de la superficie oclusal en poblaciones humanas a través de DMTA han mostrado que las dietas con un alto contenido de alimentos duros y/o partículas abrasivas extrínsecas contribuyen a crear complejidades más altas, al contrario que alimentos más blandos o más depurados (por ejemplo, El-Zaatari, (El-Zaatari, 2010); Mahoney et al., (2016); Schmidt et al., (2015, 2019, 2020)). El mismo patrón se ha observado en las superficies bucales de primates no humanos, donde las dietas duras creaban altas complejidades y bajos valores de anisotropía, mientras que dietas más correosas o fibrosas como las que podrían tener animales folívoros mostraban el patrón contrario, con bajas complejidades y altos valores de anisotropía (Aliaga-Martínez et al., 2017).

Respecto a la variable de la complejidad, la investigación realizada por Aliaga-Martínez et al., (2017) mostró que los valores de complejidad en las superficies bucales eran más bajas en promedio a los valores obtenidos de otros estudios (Scott et al., 2012) para las superficies oclusales, asociándolo a la ausencia de *pits* en la superficie bucal (Aliaga-Martínez et al., 2017). Igualmente, nuestros resultados han corroborado que las características propias de cada superficie repercuten en los distintos valores de complejidad de cada superficie. Es decir, en términos topográficos los *pits*, exclusivos de

la superficie oclusal, crean superficies más rugosas a las que se atribuyen valores más altos de complejidad a diferencia de la superficie bucal.

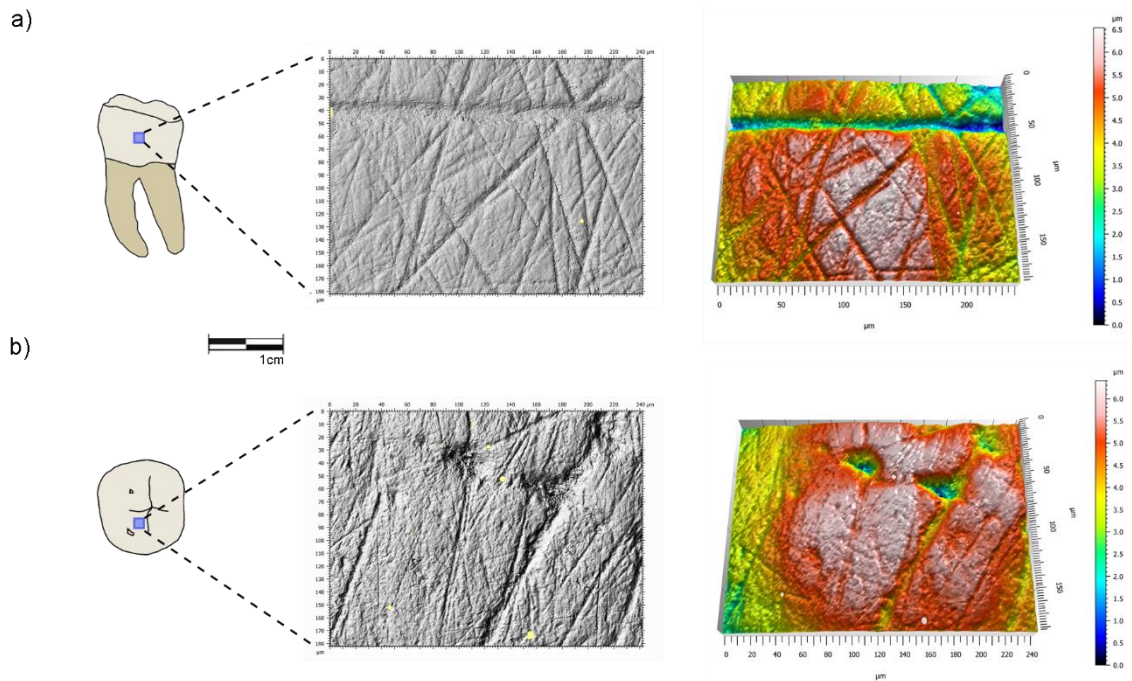


Figura 7.2 Vistas 3D y fotosimulaciones de DMTA en la superficie bucal (a) del individuo de Cova de la Guineu (GN90-D1-1564) y oclusal (b) de un individuo de Cova de la Guineu (GN89-REM-3592).

Por otro lado, respecto a los valores de anisotropía se ha observado que la superficie bucal posee valores más altos de anisotropía que la superficie oclusal. Estas diferencias se han atribuido a los diferentes mecanismos de formación del microdesgaste dental en cada superficie. Esto significa que las partículas abrasivas (intrínsecas y/o extrínsecas al alimento) crearían *pits* en la superficie oclusal pero se comportarían de manera diferente en la superficie bucal, donde son arrastradas y empujadas a través de esta superficie, creando estrías paralelas [Figura 7.2]. Según este razonamiento, y teniendo en cuenta tanto las propiedades físicas como mecánicas de los alimentos, partículas abrasivas extrínsecas y/o alimentos duros contribuirían a una alta anisotropía en la superficie bucal a través de la masticación y la compresión del bolo alimenticio por la lengua y la mejilla. Este bolo arrastraría y empujaría estas partículas a través de la superficie bucal creando estrías paralelas, que en el caso de la superficie oclusal, concretamente en la faceta 9, debido al contacto diente-con-diente formarían *pits*.

No se ha observado una correlación entre superficies en un mismo diente, lo que ha sido atribuido a la pequeña fracción (*microsampling*: 242 x 182 μm) que representa el área analizada en cada faceta respecto al total de superficie seleccionada tanto en bucal (en el tercio medio) como en oclusal (la faceta 9). Esto puede implicar un muestreo aleatorio de las superficies dentales, que probablemente presente cierto grado de variación dentro de cada la superficie, y podría influir en la evaluación de las correlaciones entre las variables de microdesgaste en las superficies oclusales y bucales.

Respecto a las ventajas o inconvenientes de cada superficie se ha observado que factores como el macrodesgaste afectan más a las superficies oclusales que a las bucales debido a que el contacto diente-con-diente produce una pérdida más rápida de esmalte en esta superficie, dejando la dentina expuesta. No obstante, cuando el desgaste es elevado ambas superficies deben ser eliminadas del estudio de microdesgaste dental. Del mismo modo, otro factor que complica el análisis del microdesgaste mediante DMTA, afectando exclusivamente a las superficies bucales, es la presencia de periquimatis, que afectan a la cuantificación de la complejidad y la anisotropía. Además, a pesar de que el software MountainsMaps® ofrece la posibilidad de borrar algunas alteraciones, estas no pueden eliminarse al estar distribuidas a lo largo de la zona estudiada.

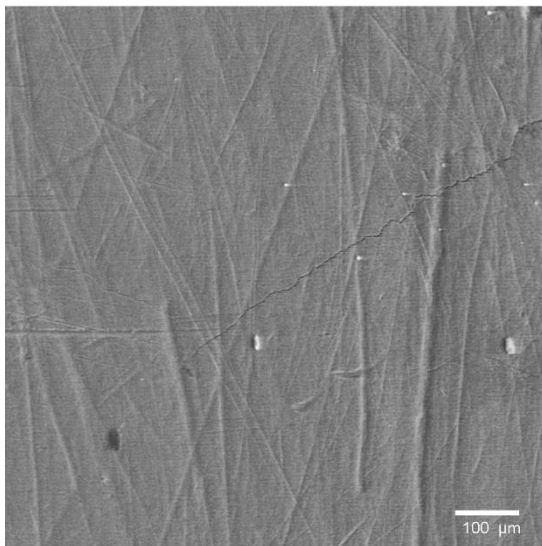
Durante los últimos años diferentes estudios experimentales *in vitro* e *in vivo* han empezado a comprender los procesos de formación del microdesgaste dental. Este estudio exploratorio ha mostrado que ambas superficies están implicadas en la etiología del microdesgaste dental y su combinación en un mismo diente puede representar una ventaja para caracterizar la reconstrucción dietética. Sin embargo, se necesitan más estudios con una mayor muestra intergrupar para comprender como el microdesgaste bucal refleja o complementa las características de la superficie oclusal.

7.1.3. Reflexiones metodológicas

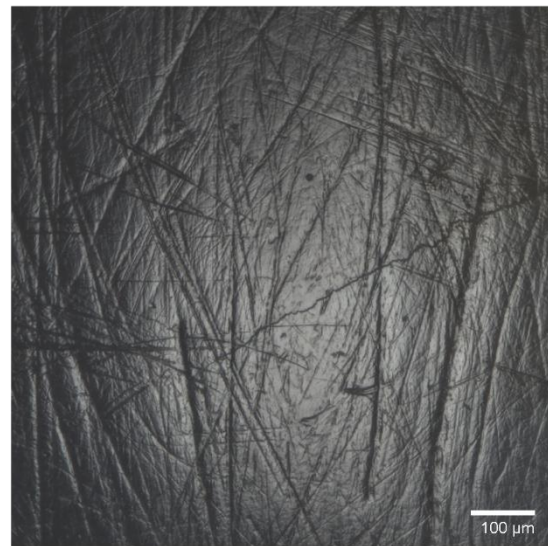
Durante la realización de la presente Tesis Doctoral se han presentado una serie de retos metodológicos. Así pues, en este bloque se van a plantear unas consideraciones en torno a las ventajas e inconvenientes de cada una de las metodologías utilizadas,

junto con los desafíos metodológicos encontrados. En primer lugar, se ha obtenido información del microdesgaste dental mediante las tres técnicas microscópicas testadas en este trabajo (análisis del microdesgaste dental a altos aumentos a través del microscopio electrónico de barrido, análisis del microdesgaste dental a altos aumentos a través del microscopio óptico y análisis 3D de la textura del microdesgaste dental mediante el microscopio láser confocal) [Figura 7.3].

a) Microscopio Electrónico de Barrido



b) Microscopio Óptico



c) Microscopio Láser Confocal

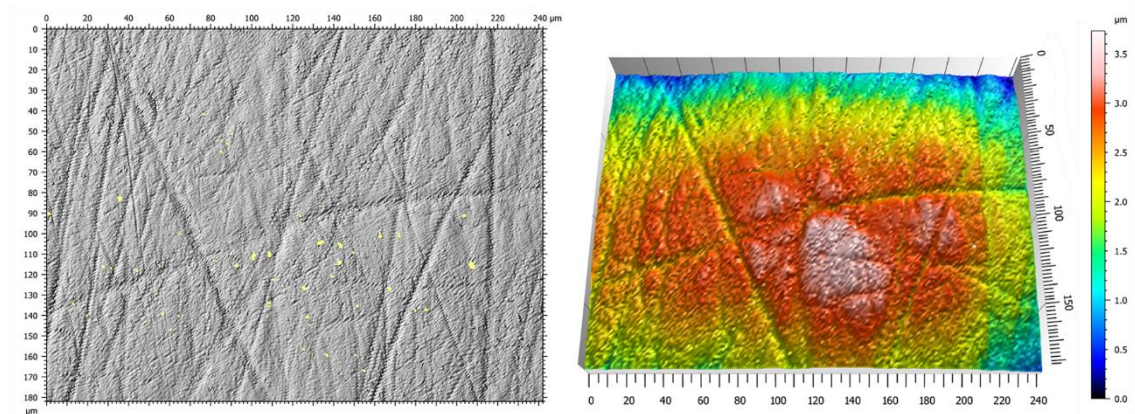


Figura 7.3 Comparación del patrón de microdesgaste bucal del individuo de Cova de la Guineu (GN89-D1-343) a través de diferentes tipos de microscopía.

Si bien es cierto que todas ellas son técnicas que pueden ser usadas para inferir los patrones de microdesgaste dental, hemos observado una serie de ventajas en el uso del

análisis de Textura del Desgaste Dental, debido principalmente a la cuantificación automática en base a unos parámetros establecidos (Scott et al., 2006, 2005; Ungar et al., 2008a, 2003). Sin embargo, pese a esta gran ventaja que permite eliminar el error inter-observador causado por el conteo manual, existen también una serie de consideraciones a tener en cuenta. En primer lugar, el microscopio láser confocal junto con los softwares asociados son equipos costosos que requieren de un mantenimiento constante. Todo ello, provoca que pocas universidades o centros de investigación tengan acceso a él.

En segundo lugar, existe una variabilidad intrínseca en los datos obtenidos al escanear la misma superficie con diferentes microscopios láser confocal (Arman et al., 2016). Gran parte de esta variabilidad es atribuida al ruido de medición propio de cada microscopio debido a su gran sensibilidad. Sin embargo, se está trabajando en esta línea y recientes estudios han propuesto un protocolo para limitar esta variación inter-microscopio y, por consiguiente, cotejar mediciones entre diferentes aparatos con el fin de poder permitir la comparación de datos entre diferentes microscopios (Arman et al., 2016).

Por otro lado, y con un fin comparativo, en el estudio realizado con el microscopio láser confocal en la presente Tesis Doctoral se han escogido las mismas áreas (242 x 182 μm) tanto en la superficie bucal como en oclusal, siguiendo los estudios previos en poblaciones humanas (Schmidt et al., 2019). Esto implica que las superficies medidas y analizadas solo representan una pequeña fracción de toda la superficie seleccionada tanto en bucal (en el tercio medio) como en oclusal (la faceta 9). Estudios recientes han mostrado una gran variación dentro de la faceta 9 de la superficie oclusal en dientes deciduos de *Homo sapiens*, tanto en poblaciones arqueológicas como actuales (Bas et al., 2020), en primates no humanos (Krueger et al., 2008) y en mamíferos no primates (por ejemplo, Ramdarshan et al., (2016); Schulz et al., (2010)). Por ello, a la hora de realizar las reconstrucciones dietéticas a través de DMTA en ambas superficies se debería considerar el efecto potencial de la variación intra-superficie midiendo varios puntos por superficie (por ejemplo, Ackermans et al., (2020)). Este efecto tiene una menor influencia cuando se trata de estudios realizados a través de la metodología tradicional (SEM) o la alternativa con el microscopio óptico ya que cubren un área más amplia (0,56 mm^2).

Los nuevos avances mediante la técnica del microscopio óptico a altos aumentos suponen/representan una alternativa que reduce alguna de las limitaciones observadas en los estudios de DMTA. En líneas generales, es una opción más económica y accesible que el resto de las propuestas. Como comentábamos anteriormente, el hecho de que abarque un área mayor de análisis supone una reducción de la variabilidad intrafaceta. No obstante, sería recomendable realizar futuros estudios mapeando ambas superficies con el objetivo de verificar si las superficies se comportan de forma homogénea. Otra de las ventajas observadas en esta técnica ha sido la información obtenida gracias a la variable de “anchura de las estrías” (W). Esta variable ha sido rescatada de estudios con el microscopio SEM en la superficie oclusal (Mahoney, 2007; Schmidt, 2001; Ungar, 1994), pero hasta el momento no había sido explorada en la superficie bucal. Este parámetro es informativo de diferentes patrones dietéticos, revelando dietas más duras basadas en una anchura mayor de las estrías, y viceversa.

A pesar de todas estas ventajas, hay que ser conscientes que la principal limitación de los métodos 2D es el registro manual de los atributos del microdesgaste dental que supone grandes tasas de error interobservador, introduciendo por tanto un margen de incertidumbre en la comparativa entre diferentes estudios. Si bien es cierto que es un problema intrínseco de la técnica, hay una serie de protocolos que ayudan a minimizarlo como es el conteo de estrías por un solo investigador y la definición clara de las variables con el objetivo de estandarizar la medición (Galbany et al., 2005).

Por otro lado, hemos observado que al analizar la superficie bucal el uso de las técnicas de conteo manual presenta una ventaja específica respecto a la cuantificación automática del DMTA. En concreto, nos referimos a la presencia de periquimatias en esta superficie del diente, lo que afecta a la cuantificación automática de la complejidad y la anisotropía sin poder ser eliminadas con el software MountainsMaps® ya que están distribuidas a lo largo de la zona estudiada. Por el contrario, tanto con el SEM como el OM estas pueden ser discernidas y excluidas en los estudios.

En términos generales, independientemente de la superficie analizada y de la técnica utilizada, una de las mayores limitaciones en el microdesgaste dental es la problemática con las superficies mal conservadas [Figura 5.11; Figura 5.12; Figura 5.13]. Esto puede derivarse de diferentes problemas tafonómicos, suciedad o moldes defectuosos, entre

otros factores, y que conllevan el descarte de las muestras perdiendo en ocasiones más de la mitad de la muestra total (Correia et al., 2020; Hernando et al., 2020b; Krueger, 2016a; Teaford, 2007). Mientras que la pérdida de muestra por problemas tafonómicos es inevitable, a partir de la experiencia obtenida durante el desarrollo de este trabajo proponemos una serie de consejos para intentar reducir al mínimo la eliminación de muestra por otros factores. Respecto a la suciedad en los dientes, proponemos la realización de dos moldes por diente a la hora de realizar réplicas de alta resolución, el objetivo del primero es retirar el polvo y otras partículas adheridas al esmalte, siendo posteriormente desechado y realizando la réplica de alta resolución a analizar sobre el segundo molde.

Por último, discutir y comparar los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral ha sido complejo debido a la limitada disponibilidad de bases comparativas de datos. La escasez de estudios con bases de datos de acceso libre impone limitaciones a la hora de comparar los resultados de este trabajo. En este sentido, una de las iniciativas principales de este trabajo ha sido hacer accesibles nuestras bases de datos, alojándolas en un repositorio de datos de acceso libre para fines comparativos en el futuro. Además, se han incluido todas las imágenes obtenidas en el microscopio óptico junto con las figuras de su posterior conteo en otro repositorio específico con el objetivo de mostrar esta opción como alternativa eficaz, más barata, accesible y con bases de comparación [Anexo I: Micrografías OM].

Respecto a la comparativa de superficies, podemos concluir que ambas superficies tienen potencial para caracterizar diferentes patrones dietéticos entre los grupos analizados, lo cual es una ventaja a la hora de interpretar la reconstrucción de la dieta ya que ofrece información complementaria. Sin embargo, como recientes estudios han señalado, la masticación no es simplemente el resultado de una apertura y cierre rítmico de dientes opuestos, sino que es un proceso complejo, variable e integrado dentro de un sistema de movimientos musculares, donde aspectos como la acción amortiguadora y lubricante de saliva son factores importantes a tener en cuenta (Krueger et al., 2021; Teaford et al., 2020). Por esta razón, es necesario impulsar y dar continuidad a esta línea de trabajos experimentales para comprender mejor este proceso y cómo se expresa en

la formación de los patrones de microdesgaste dental en los diferentes tipos de superficies dentales.

7.2. Reconstrucción diacrónica del patrón dietético y economías de subsistencia de diferentes grupos de la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica

El microdesgaste dental nos permite conocer las propiedades físicas y mecánicas de los alimentos consumidos, constituyendo por tanto una línea de evidencia para el estudio de las prácticas dietéticas. Además, su complementación con otro tipo de aproximaciones (como, por ejemplo, la información de las patologías orales o los análisis isotópicos) ofrece una visión más completa y sustentada del tipo de dieta y las estrategias de alimentación de estos grupos.

Para poder determinar la dieta a partir del patrón de microdesgaste dental y, por subsiguiente, inferir aspectos relacionados con la economía de subsistencia de las poblaciones analizadas hay que tener en cuenta una serie de variables que componen el patrón de microdesgaste dental en la superficie bucal. Una de las variables más influyentes es el número total de estrías (BTN), que nos informa de la abrasividad del alimento ingerido. Esta abrasividad está correlacionada con las propiedades físicas del alimento en sí, es decir, alimentos con propiedades físicas más duras que el esmalte, por ejemplo, los cereales por su contenido en fitolitos (partículas con alto contenido en sílice) podrían ser los responsables de altos valores de BTN (Daegling et al., 2016; Gügel et al., 2001; Rodríguez-Rojas et al., 2020; Xia et al., 2015). Otro condicionante del alto número de estrías y, por tanto, una elevada abrasividad está relacionado con la inclusión de partículas extrínsecas en los alimentos consumidos debido al escaso procesamiento de los alimentos, como por ejemplo el molido previo ya que puede dejar una serie de partículas minerales provenientes del machacado de la piedra que se incluyen en el alimento (Molleson et al., 1993; Romero et al., 2012; Teaford et al., 2001; Teaford and Lytle, 1996).

Los patrones de microdesgaste dental en la superficie bucal han aportado información relevante acerca de la dieta y las estrategias de subsistencia a largo plazo de los individuos analizados en la presente Tesis Doctoral. Así pues, los conjuntos analizados se dividen en dos grupos con diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Como se observa en la [Figura 6.4], por un lado, los individuos de la Cova de l'Avi, El

Mirador y Cova de la Guineu se agrupan con los niveles más altos en el número de estrías, traduciéndose en unas dietas con un alto contenido abrasivo. Mientras que, por el otro lado, se encuentran agrupados los conjuntos de Roc de les Orenetes, Can Sadurní y Galls Carboners con niveles bajos de BTN asociado a dietas más procesadas o con una ingesta de alimentos con menor dureza que el esmalte.

En este sentido, no es evidente ninguna diferenciación clara en la dieta de estos grupos respecto a la localización de los yacimientos ni a la cronología a la que se asocian. Sin embargo, las tendencias observadas en los datos obtenidos sí que permiten plantear una cierta influencia de ambos factores, geográfico y cronocultural, en los patrones de microdesgaste descritos y las inferencias dietéticas derivadas de este estudio.

Respecto al factor cronocultural, aunque no se observa un patrón diacrónico de subsistencia claro entre los diferentes grupos, sí que se aprecian unas tendencias de frecuencias más altas de estrías y, por lo tanto, dietas más abrasivas o un procesado con la inclusión de partículas contaminantes en cronologías más antiguas, desde el Neolítico Medio hasta el Calcolítico, con la excepción de Can Sadurní. Mientras que los grupos más recientes, con cronologías del Bronce, poseerían un número menor de estrías, lo cual se asocia a dietas más procesadas o alimentos que causarían menos abrasión. En este caso, la excepción sería Cova del Gegant.

De los nueve conjuntos analizados, cronológicamente el grupo más antiguo estudiado en la presente Tesis Doctoral es Cova de l'Avi, atribuido al Neolítico Final precampaniforme, tipo *veraciense*. Estos individuos son los que poseen una media mayor de BTN, que junto con el alto grado de macrodesgaste, se asocia a una dieta muy abrasiva debido a la inclusión de partículas extrínsecas por el procesamiento previo del alimento y/o al propio alimento en sí (Daegling et al., 2016; Romero et al., 2012; Teaford et al., 2001; Teaford and Lytle, 1996; Xia et al., 2015). Según estudios isotópicos, las dietas de las poblaciones del Neolítico Final serían mixtas, con inclusión tanto de alimentos de origen vegetal como animal (Fontanals-Coll et al., 2016).

En este punto, la clave para explicar la abrasividad de la dieta podría estar en los métodos de procesamiento en lugar de las propiedades físicas de los alimentos consumidos. Como se ha comentado anteriormente, el alto número de estrías en la

superficie bucal puede estar relacionado con la inclusión de partículas extrínsecas en los alimentos consumidos procedente de un procesamiento previo de los mismos con molinos de mano (Polo-Cerdá et al., 2007; Romero et al., 2013, 2004b). Un deficiente procesado del alimento junto con las partículas extrínsecas asociadas a la molienda podría explicar este patrón dietético. Sin embargo, en un contexto funerario como es el caso de Cova de l'Avi, el material arqueológico asociado suele ser un ajuar funerario en el que no se han encontrado elementos como molinos de mano ya que los restos de macroutillaje suelen estar más documentados en las zonas habitacionales. No obstante, algunos yacimientos de asentamientos ubicados también en el prelitoral catalán como, Mas d'en Boixos (Pacs del Penedès, Barcelona) y Cinc Ponts (Vilafranca del Penedès, Barcelona), tienen abundantes piedras de molino, fabricadas con arenisca y granito (Bouso et al., 2004; Esteve et al., 2012). Estos molinos fabricados con estas materias primas dejarían partículas procedentes de la disgregación de la roca durante la molienda. Por ello, proponemos para los individuos de Cova de l'Avi un régimen dietético mixto definido por la inclusión de partículas extrínsecas a causa del tipo de procesamiento del alimento.

Como se ha comentado anteriormente, los individuos del sepulcro colectivo de Can Sadurní pertenecientes a cronologías del Neolítico Final-Calcolítico son una excepción respecto al número de estrías en comparación con los grupos coetáneos, presentando diferencias significativas con el resto y siendo más afines a grupos más recientes con un BTN más bajo. Estos valores podrían asignarse a dietas muy procesadas, sin excluir la ingesta de alimentos con durezas menores a la del esmalte dental, como por ejemplo la carne y sus derivados (Hua et al., 2015; Organ et al., 2005; Romero et al., 2013). En este sentido, hay diferentes tipos de procesamientos previos del alimento que implican una reducción de la dureza el alimento, entre ellas está el uso de recipientes cerámicos para el cocinado, técnicas más refinadas de molido del cereal o tipo de preparación de los alimentos que demanden una menor masticación (Polo-Cerdá et al., 2007; Romero et al., 2013; Schmidt et al., 2019, 2015; Teaford and Lytle, 1996).

Los análisis isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los individuos de Can Sadurní sugirieron un consumo alto de proteínas animales, además de recursos de agua dulce, determinando una similitud de este grupo con otros yacimientos de cronologías más antiguas

(Neolítico Medio), como El Llord (Castellar de la Ribera, Lleida) y Pujolet de Moja (Vilafranca del Penedès, Barcelona), atribuidos a ambientes con recursos del medio más montañoso. Sin embargo, también se propuso que tenían una gran dependencia de productos cultivados (Alvarado, 2017). Otros estudios basados en el análisis de patologías dentales encontraron niveles muy elevados de caries y cálculo dental, asociándolo a una dieta rica en carbohidratos (Roca, 2012). Teniendo en cuenta la dieta mixta propuesta por los estudios anteriores, nuestros resultados apuntan a un procesamiento previo del alimento más refinado que el resto de grupos analizados. Lo cual es interesante debido a que estudios basados en la caracterización de la afinidad biológica de este grupo han constatado que estos individuos poseen unas características peculiares en su dentición en comparación a grupos coetáneos, argumentando que los individuos de Can Sadurní podrían formar parte de un grupo endogámico con escasas relaciones con otros grupos (Gamarra et al., 2022; Pascual et al., 2018).

En el caso de la Cova de la Guineu se propone el mismo razonamiento que para el grupo de Cova de l'Avi, ambos con altos valores de número de estrías. Estudios previos, basados en los análisis isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, para la Cova de la Guineu sugirieron una dieta mixta con la inclusión de recursos terrestres de tipo C_3 , además de un consumo regular de alimentos cárnicos, principalmente de origen caprino (Villalba-Mouco et al., 2018a). Debido a su economía mixta, las altas señales de abrasividad en la dieta de estos individuos no pueden ser asociadas a un tipo de alimentación exclusiva, como serían los cereales, sino que, de nuevo, estaría más relacionado con la inclusión de partículas extrínsecas procedentes de la preparación del alimento. Por ejemplo, partículas desprendidas de las piedras de molino, o de la contaminación de los alimentos por partículas ambientales como tierra, ceniza o polvo, entre otras. Esta hipótesis ha podido ser corroborada con estudios de microdesgaste dental en los mismos individuos de la Cova de la Guineu a través del análisis de la superficie oclusal con DMTA, donde se observaron complejidades (*Asfc*) muy altas, similares a poblaciones coetáneas del Neolítico Final-Calcolítico (Hernando et al., 2022b; Schmidt et al., 2019; Williams et al., 2020). Hay que añadir que en el caso de la Cova de la Guineu se observan diferencias significativas en la variable de la anchura de las estrías (*W*), mostrando un tipo de estría más fino [Figura 7.4]. Esto es interesante ya que nos informa de un patrón de

microdesgaste muy abrasivo, pero a la vez, formado por estrías muy finas. Por lo tanto, proponemos un tipo de procesamiento del alimento que dejase una gran cantidad de pequeñas partículas extrínsecas, ya sean de origen ambiental o por la materia prima de los molinos, que mezcladas con el alimento crearían una importante acumulación de estrías finas en el esmalte dental. Es decir, invertir tiempos más largos de procesado del alimento con piedras de molino, reduciría el tamaño de las partículas extrínsecas, aunque no las eliminaría. El molido de los cereales durante periodos de tiempo más largos se reflejaría en unas estrías más finas.

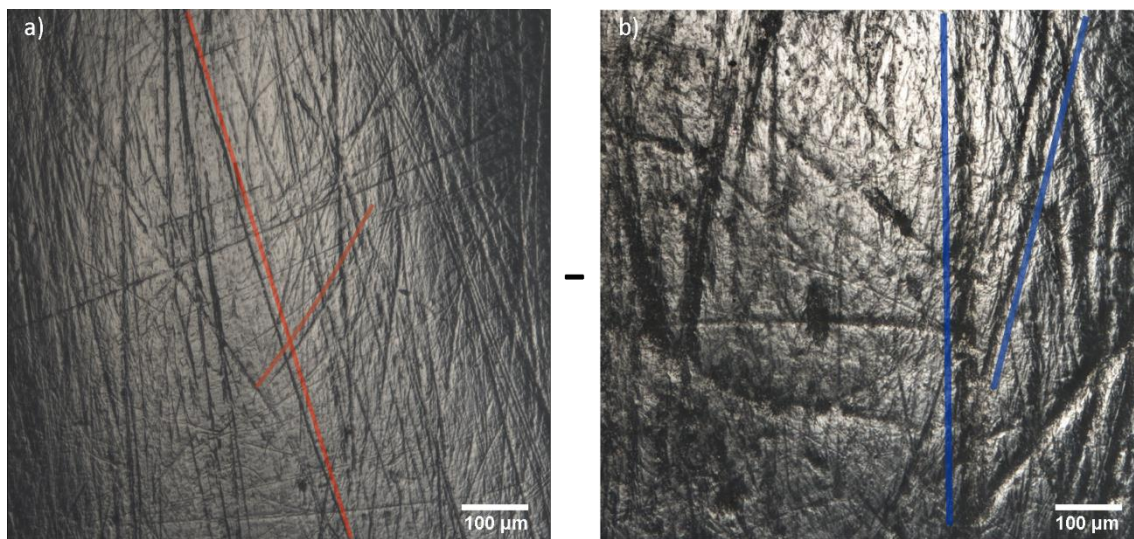


Figura 7.4 Imágenes mostrando dos casos extremos de la anchura de las estrías. a) Estrías finas en un Individuo de Cova de la Guineu y b) Estrías anchas en un Individuo de Cova del Gegant.

Respecto a las variaciones intrapoblaciones por categoría de edad, en la Cova de la Guineu se observaron mayores BTN en los rangos de edad de 8 a 11 años en comparación con el resto de grupos de niños de menor edad. Como se ha observado en otros grupos Calcolíticos con rangos de edad de alrededor de los 7 años (García-González et al., 2018), estas diferencias se atribuyeron a que individuos con edades comprendidas entre los 8 a 11 años tendrían dietas más similares a la dieta adulta, mucho más abrasivas (Hernando et al., 2020b).

Continuando con el hilo cronológico, se observó que los individuos de Cova Foradada no poseen diferencias estadísticamente significativas con el resto de grupos. Hay que tener en cuenta que la representatividad de este grupo es escasa, ya que la muestra final se redujo a 5 individuos debido a la pérdida de muestra por una mala conservación del

esmalte. Sin embargo, las tendencias centrales de todas sus variables se enmarcan en las medias del Neolítico Final-Calcolítico, como Cova de la Guineu. En este sentido, la alta frecuencia de caries en estos individuos (Moreno-Ibáñez, 2019, p. 146), se suele asociar a alimentos con un alto contenido de carbohidratos, como serían los cereales (Featherstone, 2008; Forshaw, 2014; Hillson, 1996). Esta evidencia junto a los niveles de BTN, muestran una dieta con inclusión de un tipo de alimento abrasivo como, por ejemplo, los cereales que contienen fitolitos. No obstante, esto no significa un consumo exclusivo de recursos vegetales debido a que estas poblaciones basan su estilo de vida en la ganadería y la agricultura, y por tanto tendrían dietas mixtas. Se necesitarían más estudios desde diferentes perspectivas, como podría ser la información sobre el cálculo dental o análisis isotópicos, para corroborar esta hipótesis.

El conjunto del sepulcro colectivo de El Mirador poseería los valores de la mediana de BTN más altos en comparación con el resto de grupos estudiados en esta Tesis Doctoral y, por lo tanto, una ingesta de alimentos con una elevada abrasividad, derivada de factores intrínsecos o extrínsecos [Figura 7.5]. Estudios arqueobotánicos y zooarqueológicos han permitido identificar una intensificación de las actividades humanas en el paisaje alrededor de la cueva aumentando las zonas de pastoreo y los espacios para desarrollar la agricultura, proponiendo un estilo de vida basado en la agricultura y el pastoreo durante este periodo (Expósito et al., 2017; Hernando et al., 2022a; Martín et al., 2022b).

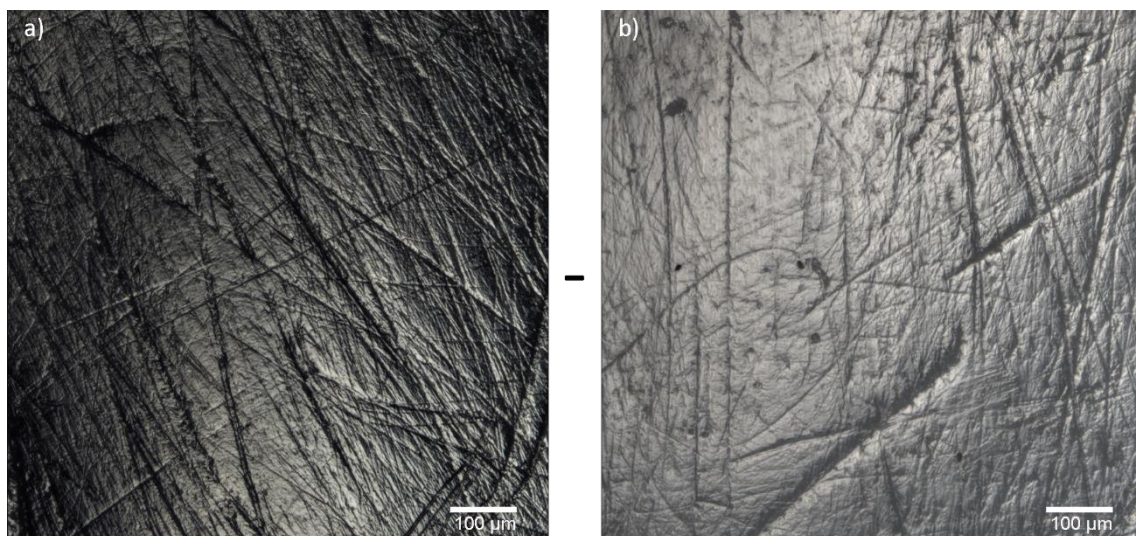


Figura 7.5 Imágenes de microdesgaste en la superficie bucal. a) Individuo de El Mirador con un alto número de estrías, b) Individuo de Galls Carboners con un bajo número de estrías.

En lo relativo a las patologías orales cabe considerar un patrón con un alto consumo de carne, debido al bajo porcentaje de caries y a una alta incidencia de cálculo dental en comparación a los individuos de El Mirador de periodos posteriores (Lozano et al., 2022). A pesar de que la caries dental es multicausal, uno de los factores más influyente en su aparición es la composición de la dieta (Forshaw, 2014; Larsen et al., 1991; Turner, 1979). Es decir, alimentos cariogénicos, ricos en carbohidratos fermentables y almidón como pueden ser los cereales o los frutos silvestres, potencian la desmineralización del tejido dental y la formación de estas (Featherstone, 2008; Forshaw, 2014; Hillson, 1996; Lingström and Borrman, 1999). Esto, junto con la alta incidencia de cálculo dental relacionado con la ingesta de proteínas (Hillson, 1996; Lieveise, 1999), llevó a proponer en un principio, una dieta basada principalmente en carne o subproductos cárnicos complementada con cereales (Lozano et al., 2022). Hay que tener en cuenta que la formación del cálculo dental y su asociación a dietas ricas en proteínas no es tan directa como se proponía antiguamente (Hillson, 1996; Lieveise, 1999) ya que tiene una etiología multicausal (Radini et al., 2017), siendo provocado por factores dietéticos y no dietéticos (como, por ejemplo, flujo salivar, factores genéticos, mecánicos...) (Hendy et al., 2018; Radini et al., 2017). Sin embargo, combinaciones de la frecuencia de caries y la incidencia de cálculo dental proporcionan una mejor información dietética, donde frecuencias bajas de caries y una incidencia alta de cálculo dental se suelen asociar a una ingesta elevada de proteínas, mientras que frecuencias altas de ambos predominan en dietas con alto contenido de carbohidratos (Humphrey et al., 2014; Keenleyside, 2008). Nuestros resultados muestran una dieta muy abrasiva sugiriendo que seguramente la carne y sus productos derivados no sean el único aporte de alimento y la agricultura tenga un papel importante en la economía de estos grupos calcolíticos de la cueva de El Mirador. Proponemos un escenario donde la clave estaría relacionar de nuevo esta abrasividad con el procesamiento previo del alimento más que por las propiedades físicas del alimento en sí, debido a que estos individuos tendrían economías de subsistencia con una explotación de la agricultura y ganadería (Hernando et al., 2022a; Martín et al., 2022a). Esta hipótesis está respaldada por los restos de macroutillaje encontrados en el propio yacimiento, abarcando desde molinos de mano, cantos y

machacadores a losas de molienda. Principalmente, la materia prima de los molinos de mano es arenisca y cuarcita, materias primas con un alto grado de disgregación, mientras que los cantos usados durante este periodo suelen ser de caliza procedente directamente del techo y paredes de la cueva (Guardiola and Urbina, 2022). Todos estos estudios junto con los análisis isotópicos, demuestran una dieta mixta derivada del consumo de recursos cárnicos y alimentos lácteos, además de inclusión de cereales de tipo C₃ (Hernando et al., 2022a). Nuestros resultados aportan una nueva perspectiva desde el punto de vista de procesado del alimento, donde el uso de molinos de piedra para la preparación del cereal provoca que las partículas silíceas desprendidas de la piedra durante la molienda se introduzcan en la comida, creando un alimento más abrasivo y que, por lo tanto, deja un gran número de estrías en la superficie del esmalte.

En el caso de las diferencias intrapoblacionales, a nivel de grupos de edad, debido a la baja representatividad de los individuos infantiles que conservan microdesgaste dental, no se han podido llevar a cabo inferencias sólidas sobre su dieta (Hernando et al., 2020b).

Desde una perspectiva diacrónica, la cueva de El Mirador tiene diferentes fases sepulcrales, desde el Neolítico hasta la Edad del Bronce Inicial. Durante el desarrollo de la presente tesis Doctoral se incluyeron los análisis del grupo procedente del sepulcro colectivo calcolítico, además de los individuos pertenecientes a la Edad del Bronce [Anexo IV: Publicaciones adicionales-Human Diet at El Mirador Cave]. Se observó una transición dentro de las prácticas de subsistencia de estas comunidades hacia procesamientos del alimento más refinados. La alta frecuencia de caries en los individuos de la Edad del Bronce Inicial en comparación con los del Calcolítico apoya esta hipótesis, proponiendo un cambio diacrónico hacía alimentos cariogénicos más suaves, de consistencia más blanda y menos fibrosos (Lozano et al., 2022). Este cambio tecnológico en la Edad del Bronce hacía un mayor grado de procesamiento del alimento y técnicas de cocinado se ha observado tanto en la Península Ibérica (García-González et al., 2018; Romero et al., 2004b), como a nivel europeo (Schmidt et al., 2019).

Siguiendo con el hilo cronológico se ubicaría el grupo de la Cova de Mas Trader. En términos generales, la mayoría de los grupos analizados en este trabajo tienen grandes variaciones intrapoblacionales por lo que un solo individuo, como es el caso de la Cova

de Mas Trader, no es indicativo de un tipo de dieta específica más allá de estar incluido en la dieta mixta propia de estas comunidades de la Prehistoria Reciente.

Los individuos de Roc de les Orenetes son los que mostraron más diferencias significativas con el resto de grupos respecto a las variables BTN, XT y W. Como comentábamos anteriormente, a nivel de BTN, estos individuos junto con Can Sadurní y Galls Carboners son los que tienen diferencias estadísticamente significativas con el resto [Figura 6.4]. Esto se asocia a una dieta blanda debido a alguna práctica que reduzca la dureza del alimento (por ejemplo, el cocinado a través de recipientes cerámicos o el molido) (por ejemplo, Schmidt (2001; 2015, 2020)) y/o por las propias características del alimento ingerido como podría ser la carne (Hua et al., 2015; Lalueza-Fox et al., 1996; Romero et al., 2012; Schmidt et al., 2019) o productos secundarios. Actualmente se están llevando a cabo estudios sobre las patologías orales de estos individuos que muestran un alto grado de enfermedad periodontal, asociado a una alta frecuencia de cálculo dental junto con una baja incidencia de caries (Miguel Ángel Moreno-Ibáñez, comunicación personal). Todo esto es indicativo de un alto consumo de proteína de origen animal (Campillo, 2001; Humphrey et al., 2014; Keenleyside, 2008). La carne es un alimento con una dureza menor que el esmalte dental, por lo cual produce frecuencias de estrías menores y más finas que alimentos de origen vegetal (Hua et al., 2015; Lalueza-Fox et al., 1996; Romero et al., 2012).

Sin embargo, un tipo de carne considerada “blanda”, ya sea por su proveniencia de animales inmaduros o por un procesamiento previo para reducir sus propiedades físicas, provoca una reducción del esfuerzo masticatorio (García-González et al., 2018; Organ et al., 2005). Mientras que un tipo de carne considerada “correosa” o poco procesada, necesita una cantidad significativa de trabajo masticatorio, además de una gran fuerza de cizallamiento para cortarla durante la masticación (El-Zaatari, 2010; Krueger et al., 2021). Esto se refleja en una mayor longitud media de las estrías (XT) en la superficie bucal (García-González et al., 2018; Pérez-Pérez et al., 1994) como observamos en el caso de los individuos de Roc de les Orenetes, que presenta diferencias significativas con respecto al resto de grupos [Figura 6.4]. En este sentido, con la información del microdesgaste bucal junto con la documentación de patologías orales, sugerimos una alta dependencia de consumo cárnico de tipo “correosa”. Esta afirmación no es

excluyente de la inclusión de alimentos de origen vegetal, aunque probablemente quedarían en un segundo plano. Por ello proponemos una economía de subsistencia para los individuos de Roc de les Orenetes basada principalmente en componente cárnico o productos secundarios complementado con productos agrícolas muy procesados. Sería interesante de cara al futuro la complementación de esta hipótesis con estudios isotópicos con el fin de determinar el tipo de alimento ingerido.

En relación al hilo diacrónico que estamos siguiendo, cabe señalar que los individuos de Cova del Gegant, adscritos al Bronce Medio, presentan un patrón de estriación peculiar, caracterizado por la gran anchura de sus estrías (W), indicativo de una gran dureza de la dieta debido a la inclusión de partículas de gran tamaño (Mahoney, 2007; Schmidt, 2001; Ungar, 1994) [Figura 6.6]. Estas partículas pueden proceder del propio alimento (como, por ejemplo, semillas con cáscara dura, frutas con exocarpo leñoso, crustáceos, etc), es decir, alimentos duros que su masticación implique la fracturación de los mismos o cómo se ha mencionado anteriormente, por partículas extrínsecas que hayan contaminado los alimentos en la fase de preparación previa. Diversos estudios han puesto de manifiesto la ausencia de consumo de recursos marítimos por parte de estas poblaciones, dejando de formar parte de la dieta a partir del Neolítico Antiguo (Díaz-Zorita Bonilla et al., 2019; Salazar-García et al., 2018; Waterman, 2012). Esto nos hace excluir la hipótesis de que la dureza del alimento provenga de los alimentos duros de origen marino (como, por ejemplo, crustáceos, con conchas-caparazones duras), a pesar de la ubicación costera de la cueva.

Además, se observaron tendencias más altas de abrasividad con niveles más altos de estrías en comparación con poblaciones coetáneas del Bronce Medio, con unos valores más cercanos a poblaciones del Neolítico Final-Calcolítico. Esto es interesante ya que estos individuos poseen valores bajos de macrodesgaste, por lo que se infiere una edad de muerte en la etapa de adultos-jóvenes (Daura et al., 2017). Es decir, individuos adultos-jóvenes con un patrón de microdesgaste abrasivo.

Respecto a las evidencias arqueológicas, se encontraron restos de utillaje lítico en el ajuar funerario, como una lámina denticulada de sílex. Los estudios traceológicos realizados, mostraron un uso centrado en la siega del cereal (Daura et al., 2017). Estas evidencias junto con la elevada frecuencia de caries documentadas son indicativas de

una dieta rica en hidratos de carbono (Daura et al., 2017) y por lo tanto un estilo de vida centrado en las prácticas agrícolas.

No obstante, cabe señalar que la ubicación costera de Cova del Gegant puede dar información relevante acerca de las estrategias de subsistencia de este grupo. Se ha constatado a través de diversos estudios que la influencia de los ambientes costeros provoca un incremento en la abrasividad de la dieta (El-Zaatari, 2010; Mahoney, 2007; Schmidt et al., 2020), debido a la inclusión de partículas de arena en el alimento que producen un notable incremento en la abrasividad de los alimentos ingeridos. En este caso, las tendencias de BTN son altas, aunque sin ser significativamente diferentes. Sin embargo, es destacable la gran anchura de las estrías, que se relacionaría probablemente con la inclusión de partículas de arena procedentes del ambiente costero. Por lo tanto, el estilo de vida de estos individuos con una economía mixta estaría influido por el entorno. Una consideración importante es que la ausencia de información acerca de la zona residencial de los individuos de la Cova del Gegant, y por lo tanto dónde y cómo procesarían los alimentos, ya que este yacimiento es una cueva sepulcral. Aun así, la hipótesis más plausible se basa en que la dinámica de este grupo conllevaría la explotación de los recursos de lugares próximos al lugar de enterramiento. Estudios de sedimentología de la Cova del Gegant y zonas adyacentes han mostrado que estos sedimentos adscritos al Holoceno Final (nivel XXV) se componen de arenas de caliza y calcita con una gran disgregación y con altas cantidades de granos de cuarzo (Daura et al., 2021). Esta afirmación es congruente con nuestra hipótesis de dietas mixtas, afectadas por el procesamiento previo del alimento y por la contaminación del mismo por partículas extrínsecas presentes en el entorno.

En este sentido, sería interesante analizar la faceta oclusal en los individuos de Cova del Gegant para contrastar si estas estrías tan anchas observadas en la superficie bucal se traducen en una mayor presencia de *pits* en la superficie oclusal, lo que reforzaría la inferencia de una dieta muy abrasiva influida por el procesado previo en un entorno costero.

Por otro lado, se encuentran los individuos de Galls Carboners con unos niveles muy bajos de BTN [Figura 7.5]. Actualmente, se están llevando a cabo estudios sobre patologías orales de estos individuos constatando una alta frecuencia de caries

(19.88%), afectando a toda la población tanto adulta como infantil, indicativo de un alto consumo de alimentos cariogénicos, lo cual es interesante ya que la presencia de caries en individuos infantiles es indicativa de un alto consumo de alimentos cariogénicos de consistencia blanda. Además, se ha observado una incidencia de cálculo dental ligera (Marina Lozano, comunicación personal), que hay que tratar con cautela debido a que no puede excluirse la pérdida *postmortem* del mismo previo al análisis. Las comunidades de la Edad del Bronce Medio, en donde se ubica el grupo de Galls Carboners, se caracterizan por un estilo de vida con una gran dependencia de la agricultura, incrementando la productividad y variedad del cereal (Buxó and Piqué, 2008; Moreno-Larrazabal et al., 2015; Viñas-Caron et al., 2022) junto con la cría de animales domésticos para su consumo y productos secundarios de la carne (Greenfield, 2010; Polo-Cerdá et al., 2007; Sherratt, 1981). Todo esto nos lleva a sugerir que estos individuos tendrían una dieta mixta, con un alto grado de refinamiento en el procesamiento del alimento o un cocinado del alimento en forma de gachas, de consistencia blanda que son menos abrasivos y provocarían la alta frecuencia de las caries.

Respecto a las variaciones de dieta intrapoblacionales, se observó que los individuos infantiles con rangos de edades de entre cinco a siete años tendrían unas dietas más abrasivas posiblemente similares a la de los adultos, lo cual se ha documentado también en otras poblaciones (Mahoney et al., 2016). Sin embargo, debido al debate vigente acerca de la comparación entre dientes permanentes de adultos y deciduos (De Menezes Oliveira et al., 2010; Kelly et al., 2020; Krueger, 2016b; Mahoney et al., 2016), esta afirmación está basada en dos estudios diferentes. Por un lado, la comparación de dietas entre dientes deciduos y por el otro lado, la comparación de dietas entre individuos adultos. Con respecto a los individuos de entre cero a cuatro años se observaron dietas más suaves, más blandas, debido a la lactancia materna y posterior destete tal vez con un periodo de inclusión de alimentos más procesados. Generalmente, esto se vincula a un procesado muy refinado del alimento y un consumo de productos derivados (Han et al., 2016; Hernando et al., 2020b; Howcroft, 2013; Pearson et al., 2010; Scharlotta et al., 2018; Sellen and Smay, 2001; Ventresca Miller et al., 2017).

Por último, el enterramiento secundario de la Cova de Valdavara se compone de dos individuos infantiles adscrito al Bronce Medio (Vaquero et al., 2009). Su patrón de microdesgaste dental indica una dieta muy abrasiva para la corta edad de estos individuos, de alrededor de 4-5 años y 5-6 años (AlQahtani et al., 2010), aunque tenían un óptimo estado de salud oral (Hernando et al., 2019). Se propusieron dos hipótesis explicativas para esta abrasividad, si bien puede relacionarse con una madurez dietética, es decir, un tipo de comida más propio de dieta adulta, también puede ser debido a un deficiente procesamiento previo del alimento. Esto fue apoyado por evidencias de poblaciones coetáneas cercanas a la localización de Valdavara que poseían molinos de fácil disgregación cuya función estaba relacionada con el machacado del cereal para la obtención de la harina (Teira Brión and Amado, 2014). Estos patrones de microdesgaste pueden estar influidos por una gran variedad de factores, que van desde culturales, sociales o las limitaciones del hábitat (Hernando et al., 2019).

En síntesis, en el contexto de las dietas mixtas esperadas para estos grupos de la Prehistoria Reciente, derivadas de unas economías basadas en la agricultura y la ganadería como fuente principal de recursos alimenticios, se han constatado diferentes especializaciones en determinadas estrategias de subsistencia. Estos patrones dietéticos han sido condicionados principalmente por diferentes causas como son el factor paleoecológico, la elección voluntaria de recursos, la cultura material disponible y la tecnología y, en cierto modo influenciados, a nivel general, por el factor cronocultural.

Los patrones de subsistencias de estas comunidades holocenas de la Península Ibérica han ido evolucionando en consonancia a diferentes factores propios de cada grupo. En este sentido, los cambios en las economías de subsistencia que enmarcan la identidad de un grupo pueden ser observados a través del microdesgaste dental.

7.2.1. Contextualización de las prácticas dietéticas de los grupos agricultores y ganaderos del Holoceno dentro del contexto de la Península Ibérica

Los patrones de subsistencia de los grupos del Holoceno en la Península Ibérica han sido definidos en base a una serie de factores sociales, demográficos, culturales y

climáticos propios de cada periodo. A partir de la contextualización de los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral se pueden apreciar equivalencias y discrepancias con otros grupos de la Península Ibérica, estableciendo diferentes estilos de vida de estos individuos.

Las reconstrucciones paleodietéticas de las comunidades del Holoceno en la Península Ibérica, a través de diferentes aproximaciones, han definido un patrón general de dieta mixta bastante homogénea. Este tipo de dieta estaba basado en un aporte de plantas C₃, procedente del consumo generalizado de cereales y leguminosas, con una inclusión posteriormente de plantas C₄ (actualmente existe el debate sobre el origen de las mismas), junto con un consumo de recursos de origen animal. Esta homogeneización del alimento conllevó una intensificación en su producción, en concreto durante el Neolítico Final-Calcolítico, derivando en un crecimiento demográfico de la población a lo largo del Holoceno y lo que supuso una consolidación económica para estas comunidades. Mediante los análisis isotópicos se ha observado, esta tendencia en comunidades del Neolítico Final-Calcolítico y Bronce del noreste (Fernández-Crespo et al., 2021; Valdiosera et al., 2018; Villalba-Mouco et al., 2018b), noroeste (Valdiosera et al., 2018; Waterman et al., 2016), norte de la Península Ibérica (Fernández-Crespo et al., 2016; Viñas-Caron et al., 2022), zona mediterránea (McClure et al., 2011) y sur peninsular (Valdiosera et al., 2018).

Si bien es cierto que en general, se caracterizan por unos patrones de dietas mixtas, también cabe mencionar que otros estudios han detectado variaciones dietéticas entre estos grupos (Díaz-Zorita Bonilla et al., 2019; Fontanals-Coll et al., 2016; Jones et al., 2019; López-Costas and Alexander, 2019). Acorde con esta idea, nuestras interpretaciones sobre los resultados de los patrones de microdesgaste bucal de la presente Tesis Doctoral muestran una especialización dietética multicausal.

Uno de los principales condicionantes de las diferentes economías de subsistencia de estas comunidades puede ser el factor paleoecológico. Esta hipótesis puede verse reflejada en el conjunto del Roc de les Orenetes, donde las evidencias presentadas del microdesgaste dental junto con la documentación preliminar de patologías orales infieren una dieta con una alta dependencia de consumo cárnico. En este sentido hay que tener presente que Roc de les Orenetes se ubica en el prepirineo catalán, tratándose

de un conjunto situado en alta montaña (Ramírez-Pedraza et al., 2020). A pesar de que actualmente hay ciertos debates acerca de las economías de subsistencia en alta montaña, es decir, economía agrícola más asentada versus ganadera asociada a la trashumancia (Gassiot et al., 2014; Montes et al., 2016; Remolins et al., 2016; Rojo-Guerra et al., 2015, 2013). Estas zonas elevadas con condiciones climáticas más rigurosas suelen interpretarse como campamentos estacionales de usos puntuales y muchas veces relacionados con un tipo de economía ganadera (Laborda et al., 2017; Montes et al., 2016; Oms et al., 2009; Rojo-Guerra et al., 2013). Un ejemplo sería el caso de las comunidades calcolíticas del yacimiento de la Cueva de los Cristales (Calcolítico, 1320 m de altitud, Huesca) o Cueva Drólica (Calcolítico campaniforme-Bronce Antiguo, a 1200 m de altitud, Huesca), donde se sugiere que estos grupos no estarían permanentemente en la montaña si no que realizarían visitas recurrentes (Villalba-Mouco et al., 2020), basando su economía en las prácticas trashumantes ganaderas (Laborda et al., 2017; Montes et al., 2016). Asimismo, este patrón de estacionalidad se observa en Cova Colomera, un yacimiento del Bronce Antiguo situado en el prepirineo de Lleida (Oms et al., 2009).

Proponemos un modelo similar para el grupo de Roc de les Orenetes, es decir, una economía de subsistencia basada en un consumo regular de carne que podría estar asociado a prácticas ganaderas de altura. Este patrón también es observado en la Cova de Els Trocs (a 1564 m de altitud en Bisaurri, Huesca) con cronologías más antiguas (Neolítico Antiguo/cardial) (Tejedor-Rodríguez et al., 2021). Sin embargo, esto no es excluyente que los cereales formasen parte de su dieta con un papel secundario. Esta ganadería podría estar combinada con una explotación de pastos de altura o en valle como se ha observado en otras comunidades de alta montaña como Feixa del Moro (a 1335 m de altitud en Juberrí, Andorra) con cronologías del Neolítico Medio (Remolins et al., 2016) (Fontanals-Coll, 2015, p. 203; Remolins et al., 2016). O como en el caso de la Cueva de los Cristales que, como comentábamos anteriormente, a través del análisis isotópico del estroncio muestran una movilidad territorial de estos individuos asociada a la trashumancia entre la alta montaña y el valle donde podrían desarrollar ambas prácticas (Villalba-Mouco et al., 2020).

Los individuos de Cova del Gegant son otro de los grupos afectados por el factor paleoecológico, debido a su cercanía al mar. Dietas que requieren mayores presiones de mordida, como podrían ser alimentos con inclusión de partículas extrínsecas tienden a crear rasgos de microdesgaste dental con anchuras y profundidades máximas, mientras que dietas más suaves se asocian a rasgos más finos (Calandra et al., 2012; Schmidt, 2001; Schmidt et al., 2020; Ungar, 2015). La gran anchura de las estrías observadas, propia de alimentos duros, se asocia a un tipo de dieta mixta con un importante factor ambiental como es la inclusión de partículas extrínsecas del ambiente costero. A un nivel más amplio, estas características han sido observadas en otras poblaciones bioarqueológicas afectadas dietéticamente por el ambiente. Este es el caso de los Tigara (Point Hope, Alaska), un grupo cazador-recolector, adscrito a una cronología de 1200-1700 A.C, donde a través de estudios de microdesgaste dental se infirió una dieta muy abrasiva atribuida mayoritariamente al procesamiento previo del alimento. Los Tigara poseían una dieta con un gran componente proteico que proviene mayoritariamente de mamíferos marinos. Sin embargo, se descubrió que los métodos de procesamiento del alimento basados en orear la carne en la misma playa juegan un papel muy importante, ya que permiten la adhesión de las partículas extrínsecas procedentes del ambiente costero al alimento (El-Zaatari, 2010).

Volviendo al foco de la especialización dietética multicausal, otro de los factores a tener en cuenta es la elección voluntaria de los recursos a explotar influenciada por factores culturales y cronológicos, entre otros. Este es el caso de los yacimientos de la Cova de l'Avi (Neolítico Medio-Final) y Can Sadurní (Neolítico Final-Calcolítico), ubicados en la misma área geográfica del macizo del Garraf (a menos de 10 kilómetros de distancia entre ellos [Figura 7.6]). Estos dos grupos habitaron áreas muy cercanas y poseen regímenes dietéticos muy dispares. Mientras que Cova de l'Avi se caracteriza por una dieta mixta con una gran inclusión de partículas extrínsecas debido al procesamiento previo del alimento, en Can Sadurní se infiere un procesado previo del alimento muy depurado, con unas características que distan de sus grupos coetáneos. Como comentábamos anteriormente, esto es relevante ya que estudios centrados en la morfología dental han mostrado que Can Sadurní es un grupo endogámico con escasas relaciones con otros grupos (Gamarra et al., 2022; Pascual et al., 2018). Esto podría

haber llevado a diferentes especializaciones tecnológicas y culturales por parte de cada grupo a la hora de procesar el alimento.



Figura 7.6 Ortofoto de la Sierra del Garraf (Barcelona) con la localización de la Cova de l'Avi (1) y la Cova de Can Sadurní (2). Escala 1:22000.

Esta tendencia de grupos habitando en la misma región con cronologías similares, pero con diferentes economías de subsistencia ha sido documentado también en diferentes puntos del Noreste de la Península Ibérica (Fontanals-Coll et al., 2016). Un caso cercano al que presentamos en esta Tesis Doctoral se encuentra en la región del Penedès con los yacimientos del Neolítico Medio de Pujolet de Moja (Vilafranca del Penedès, Barcelona) (Mestres et al., 1997) y Hort d'en Grimau (Castellví de la Marca, Barcelona) (Mestres, 1989), a menos de 11 kilómetros de distancia entre ellos. A través del análisis isotópico se ha concluido que los individuos de Pujolet de Moja presentaban un patrón más centrado en el pastoreo, mientras que la comunidad de Hort d'en Grimau se caracterizaba por actividades fundamentalmente agrícolas. Estos resultados se traducen en la elección voluntaria de recursos a explotar y la especialización por parte de un grupo en una actividad de subsistencia determinada (Fontanals-Coll et al., 2016).

Del mismo modo ocurre con los grupos calcolíticos de El Mirador y El Portalón de Cueva Mayor, situados en la misma área geográfica de la Sierra de Atapuerca, Burgos, a menos de 3 kilómetros de distancia [Figura 7.7]. Mientras que para los individuos de la cueva de El Mirador se ha interpretado una dieta mixta abrasiva con un aporte de partículas extrínsecas debido a la molienda del cereal. Estudios de microdesgaste bucal en el grupo de Portalón de Cueva Mayor muestran una dieta menos abrasiva, caracterizada por un alto consumo cárnico (Francés-Negro et al., 2021; García-González et al., 2018). Hay que tener en cuenta que, pese a que ambos grupos están adscritos al Calcolítico, la fase funeraria de El Portalón en la cual se realizaron los estudios posee una cronología más antigua (Calcolítico precampaniforme: 5294-4732 cal. BP) que la cueva de El Mirador. Además, se caracteriza por unas prácticas funerarias basadas en la construcción de túmulos dentro de la cueva (Pérez-Romero et al., 2017). Mientras que el grupo El Mirador, es un sepulcro colectivo en cueva, propio del Calcolítico campaniforme pleno (4880-4390 cal. BP) (Vergès et al., 2016). Por lo que descartamos que pudiesen ser un mismo grupo y estas diferencias se debiesen a una estratificación social del grupo.

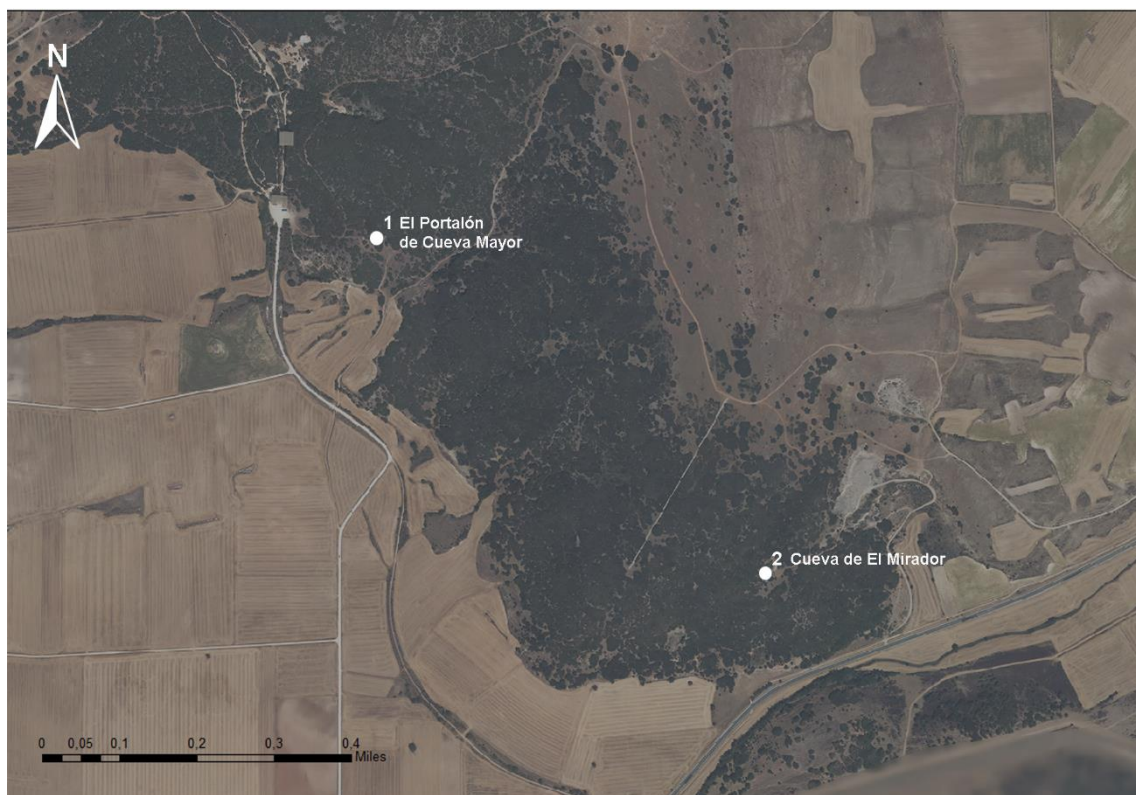


Figura 7.7 Ortofoto de la Sierra de Atapuerca (Burgos) con la localización de El Portalón de Cueva Mayor (1) y la Cueva de El Mirador (2). Escala 1:22000

En ambos yacimientos las cuevas han sido usadas como corral para la estabulación del ganado por lo que se poseen evidencias para establecer que la ganadería formaría parte de su medio de vida, junto con las evidencias de prácticas agrícolas. La diferencia entre ambos grupos radica en factores culturales a la hora de procesar el alimento y selección de recursos. Así, el grupo de El Portalón tuvo un consumo mayoritario de productos cárnicos con una explotación mixta entre carne y productos lácteos (Francés-Negro et al., 2021; García-González et al., 2018). Por otro lado, nuestros resultados caracterizan a los individuos de El Mirador con una dieta más abrasiva, debido a un procesamiento del alimento con la inclusión de partículas contaminantes. Cabe mencionar que, durante esta etapa, en la que la cueva de El Mirador se usa como espacio funerario, en El Portalón hay una fase de estabulación del ganado (4957-4158 cal. BP) (Pérez-Romero et al., 2017). En esta fase se observan animales con un mayor rango de edad en comparación con el periodo previo (Calcolítico precampaniforme), sugiriendo una intensificación de otro tipo de producto secundario, en este caso, la lana en ovicaprinos y el uso del ganado para tracción animal en prácticas agrícolas (Francés-Negro et al., 2021). Esto pone de manifiesto, un aumento de las prácticas agrícolas en la Sierra de Atapuerca en comparación al periodo anterior, que podría haber llevado a la inclusión de más cereal en la dieta junto con el deficiente molido del cereal, provocando esta mayor abrasividad entre los individuos de la cueva de El Mirador.

Por último, es interesante comentar el patrón de microdesgaste de los individuos de la Cova de la Guineu. En este caso se ha propuesto un tipo de procesado previo de los alimentos con la inclusión de una gran cantidad de partículas extrínsecas, pero de pequeño tamaño. Debido a que los estudios isotópicos mostraban un tipo de dieta mixta para estos individuos (Villalba-Mouco et al., 2018a), la explicación del patrón de microdesgaste documentado tiene que estar relacionada con el procesamiento del alimento. Trabajos recientes que forman parte de la presente Tesis Doctoral sobre estos mismos individuos han mostrado que se obtiene el mismo patrón de microdesgaste dental con diferentes tipos de metodologías (OM y DMTA) (Hernando et al., 2022b). Esto puede estar relacionado con un procesamiento del alimento con molinos que dejasen partículas contaminantes, pero a la vez, un procesado más largo del alimento que reduciría el tamaño de las mismas.

Poniendo el foco en las diferencias intrapoblacionales durante el Holoceno en la Península Ibérica, algunos estudios isotópicos han mostrado evidencias de una heterogeneidad dietética asociada a la existencia de diferentes estatus sociales (Díaz-Zorita Bonilla et al., 2019; Fernández-Crespo et al., 2019, 2016; Waterman et al., 2016). En general, a lo largo de la edad del Bronce hay cada vez más indicios de diferencias dietéticas asociadas a jerarquías sociales (Díaz-Zorita Bonilla et al., 2019; Fernández-Crespo et al., 2016; Gibaja et al., 2017). No obstante, los yacimientos analizados en la presente Tesis Doctoral están compuestos por sepulcros colectivos donde, en la mayoría de los casos, no suele haber diferenciación evidente de unos individuos respecto a los otros. Esto hace difícil la asociación individual de cada cuerpo al ajuar encontrado y con ello, inferir diferentes roles sociales dentro de su sociedad.

Si bien es cierto que la dieta en individuos infantiles es un tema que no ha sido ampliamente abordado hasta el momento, el reciente impulso en esta temática ha determinado, a partir de diferentes estudios, que las prácticas de alimentación infantil incluido el destete, han dependido de diferentes factores como, por ejemplo, aspectos culturales y tecnológicos junto con la inversión maternal en el cuidado de los niños, además del factor ambiental y la estacionalidad de recursos en poblaciones prehistóricas (Howcroft, 2013; Pearson et al., 2010; Scott and Halcrow, 2017). Todos estos determinantes sociales y culturales suelen estar relacionados con aspectos de la maduración biológica y social durante la infancia (Scott and Halcrow, 2017).

En el caso de las poblaciones analizadas en el presente trabajo, la heterogeneidad dietética encontrada en los diferentes rangos de edad se ha asociado a una dieta similar a la de los individuos adultos en determinados grupos de edad. Por ejemplo, se observó que los niños más mayores, rangos de edad entre los 8 y los 11 años, de la Cova de la Guineu poseían dietas con una mayor abrasividad que el resto de infantiles, más propias de individuos adultos (Hernando et al., 2020b). Ciertamente, otros estudios en poblaciones calcolíticas han observado esta transición hacia dietas más adultas por parte de los individuos de mayor edad dentro del rango considerado como infantil (ca. 7-8 años de edad) (Fernández-Crespo et al., 2018; García-González et al., 2018). Este es el caso de los individuos infantiles de Cueva Mayor en Portalón (Sierra de Atapuerca, Burgos) y Alto de la Huesera (La Rioja) donde los estudios de microdesgaste bucal y

análisis isotópicos han relacionado a los patrones dietéticos de los individuos infantiles mayores de 7 años con una dieta más adulta. No obstante, el tipo de “dieta adulta” de estos grupos es opuesto al encontrado en el grupo de la Cova de la Guineu, puesto que la transición dietética de los individuos de Portalón y Alto de la Huesera es hacia un procesado mayor del alimento con un incremento del consumo cárnico por parte de esta población (Fernández-Crespo et al., 2018; García-González et al., 2018). En síntesis, es posible plantear que las tendencias hacia madurez dietética dependan en parte de las prácticas de subsistencia económica y otros aspectos culturales que posea el grupo analizado.

Por otro lado, se observan diferencias dietéticas entre los grupos infantiles de los diferentes yacimientos analizados, sugiriendo que los individuos de Valdavara (con edades entre los 3 y 6 años de edad) tenían una dieta diferente al resto de individuos con el mismo rango de edad. Dicho patrón puede ser interpretado como un escaso procesamiento del alimento o asociado a una madurez dietética más temprana que en otros grupos debido a diversas causas como, por ejemplo, la muerte de la madre, la estructura social y cultural o las limitaciones del hábitat (Hernando et al., 2019).

Como comentábamos anteriormente, los resultados de la presente Tesis Doctoral no muestran una clara diferenciación de la dieta en base a la cronología de los grupos, si no que más bien se observan especializaciones en las técnicas de selección, procesamiento y cocinado, de los alimentos dependiendo de factores propios de cada grupo. Sin embargo, hay una cierta tendencia desde el Neolítico Final al Bronce Medio, no sin excepciones (ver Can Sadurní), hacia técnicas más depuradas de procesamiento del alimento.

Estudios de microdesgaste bucal en poblaciones del Levante Peninsular, como es el caso de los yacimientos de El Molinico y Cabezo Redondo, han mostrado esta transición dietética entre Calcolítico y la Edad del Bronce hacia técnicas más depuradas y refinadas de procesamiento del alimento (Romero, 2005, p. 502; Romero and De Juan, 2007). Este patrón se observa también en el yacimiento de El Mirador, donde se encuentra el sepulcro colectivo del Calcolítico y los individuos canibalizados de la edad del Bronce. En este caso, los estudios combinados del microdesgaste bucal y patologías dentales en los individuos de la Edad del Bronce muestran un cambio de las prácticas de subsistencia

hacia técnicas de procesado menos abrasivas (Hernando et al., 2022a; Lozano et al., 2022), en comparación con la gran inclusión de partículas extrínsecas en el alimento del grupo del enterramiento colectivo calcolítico de El Mirador. Estas diferencias han sido asociadas a procesamientos más depurados con el fin de ablandar estos alimentos, relacionados, por ejemplo, con el tipo de cocción del alimento (Hernando et al., 2022a). El uso de utensilios cerámicos tiene una gran influencia en las propiedades físicas de los alimentos, produciendo alimentos más blandos que requieren una reducción de masticación y, por lo tanto, una menor abrasividad (Bullington, 1991; Molleson et al., 1993; Schmidt et al., 2015, 2019, 2020). Cabe destacar que esta transición hacía dietas más procesadas durante el avance del Holoceno está patente no sólo en grupos de la Península Ibérica (Polo-Cerdá et al., 2007; Romero and De Juan, 2007), sino que también ha sido constatado en estudios de DMTA en otras comunidades a nivel global (Schmidt et al., 2019, 2015).

En síntesis, los diferentes patrones de subsistencia entre las poblaciones holocenas en la península Ibérica se ven influidos por diferentes especializaciones dietéticas de cada grupo. Estas prácticas dietéticas han ido evolucionando y especializándose en relación a los componentes culturales, ambientales, económicos y tecnológicos de cada periodo.

7.2.2. Consideraciones y limitaciones del estudio de los patrones de microdesgaste dental en grupos de la Prehistoria Reciente

Actualmente el debate acerca de qué factores producen y condicionan los patrones de microdesgaste dental sigue vigente. En general, la interpretación de nuestros resultados bioarqueológicos se ha basado en el actual paradigma en el que alimentos duros originan un mayor número de estrías y *pits* en las superficies dentales, mientras que alimentos correosos, conllevan tiempos más largos de masticación y con ello, la creación patrones de estriación más ordenados. En contraste, los alimentos blandos se caracterizarían por dejar menos microdesgaste en las superficies del esmalte dental. Sin embargo, tal y como se ha expuesto a lo largo de la discusión metodológica, este debate sigue abierto y es demasiado simplista reducir el microdesgaste dental a la acción de las partículas extrínsecas o intrínsecas del alimento, sino que hay más factores

implicados que deberían tenerse en consideración como, por ejemplo, las fuerzas de masticación (Teaford et al., 2020).

Recientes estudios experimentales *in vitro* con un simulador de masticación (ART) han mostrado que la carne sin partículas abrasivas añadidas, considerada previamente como “no lo suficientemente dura para rallar el esmalte” (Hua et al., 2015; Lucas et al., 2013; Romero et al., 2012), sí produce estrías asociadas a su consumo (Krueger et al., 2021). Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la carne empleada en el experimento al estar oreada (*dried meat*) demanda un mayor tiempo de masticación para poderla disgregar (lo que se traduce en un mayor número de ciclos masticatorios en la experimentación *in vitro*), y con ello una acumulación de rasgos del microdesgaste dental. Todo esto, nos lleva a concluir que hacen falta más estudios experimentales estandarizados para correlacionar el microdesgaste dental con las fuerzas masticatorias, y su implicación en la formación de estas facetas de desgaste.

Aunque somos conscientes de que esta simplificación, basada en el actual paradigma, puede afectar a la interpretación de las prácticas dietéticas de los grupos analizados en el presente trabajo. Los datos obtenidos de microdesgaste dental han sido contrastados con estudios publicados complementarios (como pueden ser las patologías, análisis de isótopos, o la cultura material presente) para obtener una visión más completa y sustentada del tipo de dieta y las estrategias de alimentación de estos grupos.

Una de las mayores incertidumbres en muchos estudios bioarqueológicos cuando se analizan sepulcros colectivos es la inherente posibilidad de la presencia de diferentes fases de enterramiento, lo que podría conllevar una gran variabilidad dentro de estos conjuntos. Este uso repetido del espacio sepulcral se ha documenta en varios de los yacimientos estudiados en la presente Tesis Doctoral, como es el caso de Cova Foradada (Moreno-Ibáñez et al., 2022; Oms et al., 2016b) o Cova del Trader (Morales et al., n.d.), entre otras. Una de las posibles soluciones implicaría la datación del conjunto total de individuos para obtener un marco cronocultural definido del uso de las cuevas y la historia de formación del conjunto bioarqueológico. Sin embargo, esto supone un coste económico muy elevado que no siempre se puede asumir. Además, en la mayoría de estas cuevas los conjuntos osteológicos se encuentran desarticulados lo que dificulta la diferenciación de los individuos.

Si bien hay que tener presente esta consideración a la hora de extrapolar los resultados obtenidos a la interpretación dietética, ya que este podría ser uno de los factores que podrían estar condicionando la variabilidad interna de cada grupo, los resultados presentados en este trabajo han mostrado, y corroborado cuantitativamente, diferencias significativas intergrupales, así como unas tendencias propias y en general consistentes de cada conjunto inhumado. Esto nos indica, por un lado, que existen factores atemporales que influirían en los patrones de subsistencia dietética de estos grupos, como podrían ser especializaciones en las prácticas de procesamiento del alimento condicionadas por los recursos disponibles en el hábitat, como por ejemplo la selección del tipo de materia prima de los molinos influida por el entorno en el que se encuentran. Pero, por otro lado, y sin ser excluyente, se evidencia que las grandes transformaciones culturales, económicas, tecnológicas y genéticas asociadas a la transición de estos periodos (Neolítico, Calcolítico y Edad del Bronce) han ejercido una influencia en estos grupos que se refleja en las diferentes características de microdesgaste dental intrínseca de un mismo grupo.

Por último, hay que tener en cuenta que el contexto económico-cultural de la Prehistoria Reciente es complejo y esto implica un reto al inferir dietas en grupos bioarqueológicos ya que las prácticas dietéticas tienden a solaparse (Schmidt et al., 2019). En este sentido, los grupos aquí estudiados representan una única especie con diferencias significativas a la hora de adquirir, preparar y consumir alimentos, pero en gran medida sutiles. Al contrario que estudios centrados en diferentes especies de primates no humanos, donde las diferentes estrategias de subsistencia se traducen en patrones de microdesgaste dental más específicos y diferenciados. Es decir, los patrones dietéticos observados en grupos holocenos no son entidades discretas debido a que en el contexto donde se integran existen grandes redes de intercambio tanto cultural, tecnológico como genéticos que conllevaría a una diversidad de prácticas alimenticias. Por estas razones, algunos estudios sugieren que el uso de terminología como “pastores” o “agricultores” sirve para organizar a grandes rasgos a las poblaciones en base a estrategias de subsistencia similares, pero no idénticas, lo que conlleva que las dietas no se muestren como un reflejo definido y restringido por unos parámetros asociados en exclusiva a su estilo de vida (Schmidt et al., 2019).

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

El principal objetivo de la presente Tesis Doctoral se ha centrado en la caracterización de las prácticas dietéticas de diferentes grupos Holocenos de la Península Ibérica. Este estudio pretende profundizar en la comprensión de la variedad de estrategias de subsistencia durante la Prehistoria Reciente (Neolítico-Calcolítico-Edad del Bronce) a través del estudio de los patrones de microdesgaste dental. Durante la realización de esta investigación se han empleado diferentes equipos de microscopía y técnicas de análisis de microdesgaste dental, desde los métodos tradicionales (SEM), hasta los más avanzados (DMTA), desarrollando además una nueva alternativa metodológica (OM a altos aumentos).

En este sentido, es fundamental contar con bases de datos de comparación con el fin de interpretar y relacionar los resultados obtenidos, además de imágenes de referencia para poder discernir entre superficies bien conservadas y las alteradas por procesos tafonómicos. La evolución de la técnica solo puede lograrse fortaleciendo la colaboración entre los diferentes equipos que investigan en esta temática. Por este motivo, hemos contribuido depositando nuestra base de datos junto con las micrografías en un repositorio de acceso libre con el objetivo de que pueda ser usada por otros investigadores en el futuro.

A continuación, para finalizar se van a presentar las principales conclusiones obtenidas en la presente Tesis Doctoral:

1. El análisis 3D de la microtextura dental (DMTA) con microscopía láser confocal es actualmente la aproximación que ofrece más ventajas para el estudio del microdesgaste dental en poblaciones humanas, debido a la cuantificación automática. Alternativamente, en el presente trabajo se ha desarrollado una aproximación eficaz y económica con el microscopio óptico a altos aumentos.

En este estudio hemos evaluado los diferentes microscopios utilizados para analizar el microdesgaste dental (SEM, OM, DMTA). En líneas generales, observamos una coherencia en los resultados indicando que todos los procedimientos metodológicos tienen capacidad de discernir entre diferentes tipos de dieta. No obstante, el análisis 3D de la microtextura dental (DMTA), gracias a la cuantificación automática, puede calificarse como el procedimiento más objetivo, consistente y eficiente.

Por otro lado, las limitaciones encontradas en la metodología de análisis tradicional (SEM) nos ha llevado a desarrollar una nueva propuesta metodológica con microscopio óptico a altos aumentos, favoreciendo el planteamiento de una metodología consistente y eficaz. Las ventajas más prometedoras son la amplia accesibilidad que posee este microscopio en entornos de investigación, junto a la reducción del tiempo dedicado tanto a la obtención como al procesamiento de las imágenes. Por último, la mejor calidad de la imagen y el aspecto tridimensional de la misma, ayudan a reducir la fatiga ocular del observador.

2. Tanto la superficie oclusal como la bucal están implicadas en la etiología del microdesgaste dental, y su combinación aporta una perspectiva más completa sobre las prácticas alimenticias de los grupos estudiados.

El trabajo realizado en la presente Tesis Doctoral es pionero en examinar el microdesgaste dental en ambas superficies de un mismo individuo empleando diferentes aproximaciones metodológicas. Se ha observado que ambas tienen potencial para caracterizar diferentes patrones dietéticos entre los grupos analizados, lo que conlleva ventajas de interpretación y reconstrucción de la dieta al ofrecer una imagen más global tanto de las propiedades de los alimentos como de su masticación.

Sin embargo, existe en la disciplina un debate sobre qué propiedades influyen en la formación del microdesgaste dental. Por ello, es necesario continuar con las recientes líneas de experimentación *in vitro* para comprender la formación de

los patrones de microdesgaste dental en los diferentes tipos de superficies dentales.

En este sentido, nuestros estudios sugieren que las integraciones de los datos de ambas superficies pueden ayudar a comprender la interacción entre la abrasión (contacto diente-alimento) y la atrición (contacto diente-diente) durante el proceso de masticación del alimento. El desarrollo futuro de diferentes líneas de investigación, como pueden ser experimentaciones *in vitro* junto con el continuo perfeccionamiento y desarrollo del DMTA, permitirán profundizar en la comprensión de la etiología del microdesgaste dental, el papel del *turnover* o las implicaciones masticatorias en la formación de patrones de microdesgaste dental.

3. Se han observado diferentes especializaciones dietéticas multicausales dentro del contexto de dietas mixtas esperado para las comunidades holocenas de la Península Ibérica estudiadas.

Los patrones del microdesgaste dental han permitido inferir dietas mixtas basadas en una explotación conjunta de recursos ganaderos y en el desarrollo de prácticas agrícolas. Entre las dietas de los grupos analizados se han observado variaciones de los patrones de microdesgaste dental que se han relacionado con diferentes factores como la paleoecología, la elección voluntaria de recursos, la tecnología usada por cada grupo y, a nivel general, influenciados por el factor cronocultural.

En este sentido, la transición del Calcolítico y la Edad del Bronce es un periodo que registra grandes cambios estructurales con la intensificación de las economías productoras y la consolidación de jerarquías sociales. Estas innovaciones tecnológicas y sociales conllevaron grandes movimientos poblacionales e intercambios genéticos y culturales que pudieron aportar nuevas técnicas de procesado del alimento. Futuros estudios con conjuntos más amplios permitirán profundizar en la relación entre la variabilidad en los patrones de microdesgaste y las estrategias de preparación del alimento.

Por otro lado, a un nivel intrapoblacional, los análisis de microdesgaste dental pueden proporcionar información acerca de las prácticas de alimentación de los individuos infantiles dentro de los conjuntos analizados. La variabilidad observada entre los grupos infantiles se ha asociado a una diferente madurez dietética debido a diversos factores tanto en la elección del alimento como en su preparación.

En definitiva, en esta Tesis Doctoral se ha constatado que el microdesgaste dental es una herramienta válida que ofrece la posibilidad de interpretar las estrategias de subsistencia de las sociedades del pasado. La caracterización de diferentes patrones de microdesgaste dental aporta evidencias de las prácticas de procesamiento previo del alimento y, por tanto, permite identificar las características de los alimentos ingeridos.

Además, la perspectiva ofrecida por el microdesgaste dental puede complementarse con otro tipo de enfoques analíticos para determinar la dieta de grupos del pasado, como son los análisis isotópicos y el estudio de las patologías dentales, que ofrecen evidencias más directas del tipo de alimentos ingeridos. La integración de diferentes aproximaciones posee un gran potencial al ofrecer una visión holística de los múltiples factores que incidieron en la elección de la dieta por parte de poblaciones humanas del pasado.

8.1. Conclusions and future perspectives

The main objective of this Doctoral dissertation has focused on the characterization of the dietary practices of different Holocene groups from the Iberian Peninsula. This work intends to profound in the understanding of the variability of the subsistence strategies during the Recent Prehistory (Neolithic-Chalcolithic-Bronze Age) through the study of dental microwear patterns. For this research we have employed different microscopes and dental microwear analysis techniques, from the traditional methods (SEM) to the most advanced ones (DMTA) and developing a new methodological alternative (OM at high magnifications).

In this regard, it is essential to have available comparative databases in order to interpret and relate the obtained results, as well as reference images to discern between well preserved surfaces and those affected by taphonomic processes. The evolution of the technique can only be achieved by strengthening the collaboration between the different teams investigating on this topic. For this reason, we have contributed by archiving our databases and micrographs in open-access repositories so they can be used by other researchers in the future.

To conclude, the main conclusions obtained in this Doctoral dissertation will be presented hereunder:

1. The analysis of Dental Microwear Texture (DMTA) through laser confocal microscopy is currently the methodological approach that offers more advantages for the study of dental microwear on human groups due to the automatic quantification. Alternatively, in this dissertation we have developed an efficient and cost-effective approach using the optical microscope at high magnifications.

In this work we have evaluated the different microscopic means used for the analysis of dental microwear (SEM, OM, DMTA). In general terms, we observe a coherence in the results indicating that all three methodological procedures hold the capacity to discern between different types of diets. However, Dental Microwear Texture Analysis (DMTA), thanks to the automatic quantification, can be considered the most objective, consistent and efficient procedure.

Additionally, the limitations found on the traditional methodology (SEM) led us to develop a new methodological proposal using the optical microscope at high magnifications, favoring the proposal of a consistent and efficient methodology. The most promising advantages of this new proposal are that this kind of microscope is more accessible for researchers, and the reduction in the time required for the obtaining and processing of the images. In addition, the better quality of the images and their three-dimensional appearance help reduce the observer eye fatigue.

2. Both occlusal and buccal surfaces are involved in the etiology of dental microwear, and their combination provides a more refined perspective about the dietary practices of the studied groups.

The research developed in the present Doctoral dissertation is pioneering in examining dental microwear in both surfaces in the same individual using different methodological approaches. We have observed that both have the potential for characterizing different dietary patterns among the analyzed groups. This brings advantages for the interpretation and reconstruction of the diet, providing a wider perspective of the properties of the foodstuffs and their mastication.

However, there is a debate within the discipline regarding which properties affect the formation of dental microwear. Thus, it is necessary to continue with the recent *in vitro* experimental research lines to understand the formation of dental microwear patterns on the different types of dental surfaces.

In this regard, our studies suggest that the integration of data from both surfaces can help understand the interaction between abrasion (tooth-to-foodstuff contact) and attrition (tooth-to-tooth contact) during the food mastication process. The future development of different research lines, such as *in vitro* experimentations, together with the continuous development and refinement of DMTA, will allow to deepening in the understanding of the etiology of dental

microwear, the role of the turnover or the implications of mastication in the formation of the dental microwear patterns.

3. We have observed different multicausal dietary specializations within the expected context of mixed diets for the studied Holocene groups from the Iberian Peninsula.

Dental microwear patterns allowed to infer mixed diets based on the combination of farming and agricultural practices. Among the diets of the studied groups, we have observed differences in the dental microwear patterns that have been related to different factors such as the palaeoecology, the voluntary choice of resources, the technology used by each group, and, broadly, influenced by the chrono-cultural factor.

In this regard, the transition from the Chalcolithic to the Bronze Age is a period that witnesses major structural changes with the intensification of production economies and the consolidation of social hierarchies. These technological and social innovations led to large population movements and genetic and cultural exchanges that might have contributed new foodstuff processing techniques. Future studies with larger assemblages will allow a deeper understanding of the relationship between the variability of dental microwear patterns and foodstuff preparation strategies.

In addition, at an intra-group level, dental microwear analyses can provide information about the feeding practices of infant individuals in the studied groups. The observed variability between the infant groups has been associated to a different dietary maturation due to different factors in the choice of the food and in its preparation.

To summarize, in this Doctoral dissertation we have attested that dental microwear is a valid method that offers the possibility of interpreting the subsistence strategies of the societies of the past. The characterization of different dental microwear patterns

provides information about the foodstuff processing techniques and, thus, allows to identify the characteristics of the consumed foodstuffs.

In addition, the perspective provided by dental microwear can be complemented with other analytical approaches for dietary determination on past human groups, such as isotope analyses or the study of dental pathologies, that provide more direct evidence of the kind of consumed foods. The integration of different approaches holds a great potential because it offers a holistic perspective of the multiple factors that influenced the diet choice by past human groups.

REFERENCIAS

- Ackermans, N.L., Winkler, D.E., Martin, L.F., Kaiser, T.M., Clauss, M., Hatt, J.-M., 2020. Dust and grit matter: abrasives of different size lead to opposing dental microwear textures in experimentally fed sheep (*Ovis aries*). *J. Exp. Biol.* 223, jeb220442. <https://doi.org/10.1242/jeb.220442>
- Albizuri, S., 2011. Animales sacrificados para el cortejo fúnebre durante el bronce inicial (2300-1300 cal BC). El asentamiento de Can Roqueta II (Sabadell, Barcelona). *Quad. prehistòria i Arqueol. Castelló* 7–26.
- Aliaga-Martínez, A., Romero, A., Galbany, J., Hernández-Aguilar, R.A., Pérez-Pérez, A., 2017. Buccal dental microwear texture and catarrhine diets. *Am. J. Phys. Anthropol.* 163, 462–473.
- AlQahtani, S.J., Hector, M.P., Liversidge, H.M., 2010. Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *Am. J. Phys. Anthropol.* 142, 481–490. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21258>
- Alvarado, V., 2017. Análisis isotópico para determinar la dieta en las poblaciones neolíticas de Can Sadurní y Can Tintorer [Master Thesis]. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Angelucci, D.E., Boschian, G., Fontanals, M., Pedrotti, A., Vergès, J.M., 2009. Shepherds and karst: the use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic. *World Archaeol.* 41, 191–214.
- Antolín, F., 2013. Of cereals, poppy, acorns and hazelnuts. Plant economy among early farmers (5500-2300 cal BC) in the NE of the Iberian Peninsula. An archaeobotanical approach [Doctoral Thesis]. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Antolín, F., Buxó, R., 2012. Chasing the traces of diffusion of agriculture during the early Neolithic in the Western Mediterranean Coast. *Rubricatum Rev. del Mus. Gavà* 95–102.

- Antolín, F., Jacomet, S., Buxó, R., 2015. The hard knock life. Archaeobotanical data on farming practices during the Neolithic (5400–2300 cal BC) in the NE of the Iberian Peninsula. *J. Archaeol. Sci.* 61, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.05.007>
- Arman, S.D., Ungar, P.S., Brown, C.A., DeSantis, L.R.G., Schmidt, C., Prideaux, G.J., 2016. Minimizing inter-microscope variability in dental microwear texture analysis. *Surf. Topogr. Metrol. Prop.* 4, 24007. <https://doi.org/10.1088/2051-672X/4/2/024007>
- Ashkenazi, D., Cvikel, D., 2020. A journey into the microstructure: Using a multifocal 3D digital light microscope to study archaeological artefacts retrieved from shipwrecks. *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.* 16, e00129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00129>
- Baker, G., Jones, L.H.P., Wardrop, I.D., 1959. Cause of wear in sheeps' teeth. *Nature* 184, 1583–1584.
- Barandiarán, I., Marí Oliver, B., del Rincón Martínez, M.Á., Maya González, J.L., 2012. *Prehistoria de la península Ibérica*. Ariel, Barcelona.
- Bas, M., Le Luyer, M., Kanz, F., Rebay-Salisbury, K., Queffelec, A., Souron, A., Willman, J., Bayle, P., 2020. Methodological implications of intra-and inter-facet microwear texture variation for human childhood paleo-dietary reconstruction: Insights from the deciduous molars of extant and medieval children from France. *J. Archaeol. Sci. Reports* 31, 102284. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102284>
- Bellmunt, J., 1957. Crónica de la seccion arqueológica. *Bol. la Bibl. - Mus. Balaguer*, Quinta Época V, 132–134.
- Bellmunt, J., 1955. Crónica de la sección de arqueología. *Boletín la Bibl. - Mus. Balaguer*, Quinta Época III, 57–60.
- Bergadà, M.M., Cebrià, A., Mestres, J., 2005. Prácticas de estabulación durante el Neolítico antiguo en Cataluña a través de la micromorfología: cueva de la Guineu (Font-Rubí, Alt Penedès, Barcelona), in: *Actas Del III Congreso Del Neolítico En La Península Ibérica*. Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria, Santander, pp. 187–198.

- Bergadà, M.M., Cervelló, J.M., Edo, M., Cebrià, A., Oms, X.F., Martínez, P., Antolín, F., Morales, J.I., Pedro, M., 2018. Chronostratigraphy in karst records from the Epipaleolithic to the Mid/Early Neolithic (c. 13.0–6.0 cal ka BP) in the Catalan Coastal Ranges of NE Iberia: Environmental changes, sedimentary processes and human activity. *Quat. Sci. Rev.* 184, 26–46. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.09.008>
- Bernabeu Aubán, J., Orozco Köhler, T., 2014. Hacia las sociedades complejas (IV y III milenio cal B.C.) en la “Iberia” mediterránea, in: Almagro Gorbea, M. (Ed.), *Protohistoria de La Península Ibérica: Del Neolítico a La Romanización*. Fundación Atapuerca, Universidad de Burgos., Burgos, pp. 83–94.
- Bernabeu, J., Orozco Köhler, T., Diez Castillo, A., Gómez Puche, M., Molina Hernández, F.J., 2003. Mas d’Is (Penàguila, Alicante): aldeas y recintos monumentales del Neolítico Inicial en el valle del Serpis.
- Bettencourt, A., Luz, S., Simões, P.P., Alves, M.I.C., Abad-Vidal, E., 2021. Bronze Age sea salt production in Northwest Iberian Peninsula, in: Marcigny, C., Mordant, C. (Eds.), *Bronze 2019: 20 Ans de Recherches (Suppléments N° 7 Au Bulletin de de l’Association Pour La Promotion Des Recherches Sur l’Âge Du Bronze - l’APRAB)*. OREP, Nonant, pp. 409–420.
- Bettencourt, A.M.S., 2010. La Edad del Bronce en el Noroeste de la Península Ibérica: un análisis a partir de las prácticas funerarias. *Trab. Prehist.* 67, 139–173. <https://doi.org/10.3989/tp.2010.10034>
- Bettencourt, A.M.S., Dinis, A., Figueiral, I., Rodrigues, A., Cruz, C., Azevedo, M., Barbosa, R., 2007. A ocupação do território e a exploração dos recursos durante a Pré-História Recente do Noroeste de Portugal, in: Soler, J., Bettencourt, A.M.S., Figueiral, I. (Eds.), *A Concepção Das Paisagens e Dos Espaços Na Arqueologia Da Península Ibérica*, *Actas Do IV Congresso de Arqueologia Peninsular*. Universidade do Algarve, Faro, pp. 149–164. <https://doi.org/978-972-99693-9-3>
- Blanco-González, A., Lillios, K.T., López-Sáez, J.A., Drake, B.L., 2018. Cultural, demographic and environmental dynamics of the Copper and Early Bronze Age in Iberia (3300–1500 BC): towards an interregional multiproxy comparison at the time

of the 4.2 ky BP event. *J. World Prehistory* 31, 1–79.
<https://doi.org/10.1007/s10963-018-9113-3>

Blanco-Lapaz, À., Vergès, J.M., 2016. Fish remains from the Neolithic site of El Mirador cave (Atapuerca, Spain): Seasonality and resource management. *Comptes Rendus Palevol* 15, 745–751. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2015.09.007>

Bland, J.M., Altman, D.G., 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat. Methods Med. Res.* 8, 135–160.
<https://doi.org/10.1177/096228029900800204>

Bland, J.M., Altman, D.G., 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 327, 307–310.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)

Blasco, C., Delibes, G., Baena, J., Liesau, C., Ríos, P., 2007. El poblado calcolítico de Camino de las Yeseras (San Fernando de Henares, Madrid): un escenario favorable para el estudio de la incidencia campaniforme en el interior peninsular. *Trab. Prehist.* 64, 151–163. <https://doi.org/10.3989/tp.2007.v64.i1.99>

Blasco, C., Ríos, P., 2010. La función del metal entre los grupos campaniformes. Oro versus cobre. El ejemplo de la Región de Madrid. *Trab. Prehist.* 67, 359–372.
<https://doi.org/10.3989/tp.2010.10044>

Borel, A., Ollé, A., Vergés, J.M., Sala, R., 2014. Scanning electron and optical light microscopy: two complementary approaches for the understanding and interpretation of usewear and residues on stone tools. *J. Archaeol. Sci.* 48, 46–59.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.06.031>

Borrell, F., Bosch, J., Majó, T., 2015. Life and death in the Neolithic variscite mines at Gavà (Barcelona, Spain). *Antiquity* 89, 72–90.
<https://doi.org/10.15184/aqy.2014.30>

Bouso, M.M., Esteve, X., Farré, J., Feliu, J.M., Mestres, J., Palomo, A., Rodríguez, A., Senabre, M.R., 2004. Anàlisi comparatiu de dos assentaments del bronze inicial a la depressió prelitoral catalana: Can Roqueta II (Sabadell, Vallès occidental) i Mas d'en Boixos-1 (Pacs del Penedès, Alt Penedès). *Cypsela* 15, 73–101.

- Brothwell, D., 1969. The Study of Archaeological Materials by means of the Scanning Electron Microscope, in: Brothwell, D., Higgs, E. (Eds.), *Science in Archaeology*. London, pp. 564–566.
- Brothwell, D.R., 1981. *Digging up bones: the excavation, treatment and study of human skeletal remains*. British Museum, London, Oxford.
- Bullington, J., 1991. Deciduous dental microwear of prehistoric juveniles from the lower Illinois River Valley. *Am. J. Phys. Anthropol.* 84, 59–73.
- Burguet-Coca, A., del Valle, H., Expósito, I., Herrejón, Á., Buitkuke, E., Cabanes, D., Cáceres, I., Carrancho, Á., Villalaín, J.J., 2022. The fumier sequences of El Mirador cave: an approach to fire as a sociocultural practice and taphonomic agent, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 89–110. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Burguet-Coca, A., Polo-Díaz, A., Martínez-Moreno, J., Benito-Calvo, A., Allué, E., Mora, R., Cabanes, D., 2020. Pen management and livestock activities based on phytoliths, dung spherulites, and minerals from Cova Gran de Santa Linya (Southeastern pre-Pyrenees). *Archaeol. Anthropol. Sci.* 12, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01101-6>
- Butler, P.M., 1952. The milk-molars of *Perissodactyla*, with remarks on molar occlusion. *Proc. Zool. Soc. London* 121, 777–817. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1952.tb00784.x>
- Buxó, R., 1997. *Arqueología de las plantas. Crítica (Grijalbo)*, Barcelona.
- Buxó, R., Piqué, R., 2008. *Arqueobotánica. Los usos de las plantas en la Península Ibérica*. Ariel, Barcelona.
- Cáceres, I., Lozano, M., Saladié, P., 2007. Evidence for Bronze Age cannibalism in El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Am. J. Phys. Anthropol.* 133, 899–917. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20610>

- Calandra, I., Merceron, G., 2016. Dental microwear texture analysis in mammalian ecology. *Mamm. Rev.* 46, 215–228. <https://doi.org/10.1111/mam.12063>
- Calandra, I., Schulz, E., Pinnow, M., Krohn, S., Kaiser, T.M., 2012. Teasing apart the contributions of hard dietary items on 3D dental microtextures in primates. *J. Hum. Evol.* 63, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2012.05.001>
- Camarós, E., Sánchez-Hernández, C., Rivals, F., 2016. Make it clear: molds, transparent casts and lightning techniques for stereomicroscopic analysis of taphonomic modifications on bone surfaces. *J. Anthr. Sci.* 94, 1–8. <https://doi.org/10.4436/jass.94023>
- Campillo, D., 2001. *Introducción a la paleopatología*. Ediciones Bellaterra, Bellaterra.
- Carmona Ballester, E., 2011. El registro funerario de Fuente Celada (Burgos): prácticas funerarias de las comunidades calcolíticas de la Meseta Norte. *Estrat crític* 5, 502–507.
- Carmona Ballester, E., Villanueva Martín, L., Delgado Arcero, M.E., 2013. El yacimiento de el púlpito (Villalonquéjar, Burgos) : nuevos datos sobre el calcolítico en la cuenca media del arlanzón, in: *Arqueología En El Valle Del Duero: Del Neolítico a La Antigüedad Tardía. Nuevas Perspectivas. Actas de La Primera Jornada de Jóvenes Investigadores En El Valle Del Duero*. Zamora, pp. 19–32.
- Cebrià, A., Fullola, J.M., López-Onaindia, D., Mangado, X., Nadal, J., Ollé, A., Oms, X.F., Pedro, M., Ruiz, J., Subirà, M.E., 2013. La cova sepulcral del pantà de Foix (Castellet i la Gornal). De jaciment arraconat a jaciment modèlic. III Monogr. del Foix. Comun. la III Trobada d'Estudiosos del Foix (Castellet i la Gorn. 2012). Doc. Treball. Sèrie Territ. 25, 184–194. <https://doi.org/10.3989/tp.2010.10034>
- Cebrià, A., Fullola, J.M., Oms, X.F., Pedro, M., 2015. Coves sepulcral (III mil·lenni aC) al Baix Foix. Un patrimoni oblidat i malmès, in: *Actes de Les IV Jornades d'Estudiosos Del Foix. Servei de Parcs de la Diputació Provincial de Barcelona*, pp. 105–115.
- Cebrià, A., Morales, J.I., Oms, X.F., Pedro, M., Solé, A., Subirà, M.E., 2011. La Cova Foradada (Calafell, Baix Penedès), la problemàtica de la convivència en el registre d'inhumacions i cremacions durant la prehistòria recent, in: *Blasco, A., Edo, M.,*

- Villalba, M.J. (Eds.), *La Cova de Can Sadurní i La Prehistòria Del Garraf*. Edar. Arqueologia y Patrimonio, Milano, pp. 411–419.
- Cebrià, A., Vilardell, A., Senabre, M.R., Fontanals, M., 2007. *La Cova Foradada (Calafell, Baix Penedès)*, in: *Jornades d'Arqueologia de Tortosa, 1999*. Generalitat de Catalunya, Tortosa, pp. 47–56.
- Childe, G. V, 1925. *The Dawn of European Civilization*. Routledge, New York.
- Clua Mercadal, M., Daura, J., Sanz, M., 2013. *El taller falsari de la Cova de l'Avi (Vallirana, Barcelona)*, in: *Estrada-Rius, A. (Ed.), La Falsificació de Moneda a La Catalunya Del Segle XIX*. Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, pp. 141–164.
- Correia, M.A., Foley, R., Mirazón Lahr, M., 2020. Applying dental microwear texture analysis to the living: Challenges and prospects. *Am. J. Phys. Anthropol.* 174, 542–554. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24133>
- d'Incau, E., Couture, C., Maureille, B., 2012. Human tooth wear in the past and the present: Tribological mechanisms, scoring systems, dental and skeletal compensations. *Arch. Oral Biol.* 57, 214–229. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2011.08.021>
- Daegling, D.J., Hua, L.-C., Ungar, P., 2016. The role of food stiffness in dental microwear feature formation. *Arch. Oral Biol.* 71, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2016.06.018>
- Dahlberg, A.A., Kinzey, W., 1962. Etude microscopique de l'abrasion et de l'attrition sur la surface des dents. *Bull Gr. Int Rech Sci Stomatol Odontol* 5, 242–251.
- Datta, D., 2017. blandr: a Bland-Altman method comparison package for R. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.824514>
- Daura, J., Sanz, M., 2011. Procedencia estratigráfica de los restos humanos neandertales de la cova del Gegant (Sitges, Barcelona). *Mainake* 215–232.
- Daura, J., Sanz, M., Demuro, M., Arnold, L.J., Costa, A.M., Moreno, J., da Conceição Freitas, M., Lopes, V., Égüez, N., Hoffmann, D.L., Benson, A., Cabanes, D., García-Targa, J., Fullola, J.M., 2021. A new chronological framework and site formation

history for Cova del Gegant (Barcelona): Implications for Neanderthal and Anatomically Modern Human occupation of NE Iberian Peninsula. *Quat. Sci. Rev.* 270, 107141. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107141>

Daura, J., Sanz, M., Oms, X.F., Pedro, M., Martínez, P., Mendiola, S., Oliva Poveda, M., Gibaja, J.F., Mozota, M., Alonso-Eguíluz, M., Albert, R.M., Allué, E., Bañuls-Cardona, S., López-García, J.M., Santos Arévalo, F.J., Fullola, J.M., 2019. Deciphering Neolithic activities from a Cardial burial site (Cova Bonica) on the western Mediterranean coast. *J. Archaeol. Sci. Reports* 23, 324–347. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.10.036>

Daura, J., Sanz, M., Oms, X.F., Pedro, M., Martínez, P., Rubio Salvador, Á., Tejero, J.-M., Mangado Llach, X., Vaquer, J., 2015. La Cova de l'Avi (Vallirana, Barcelona) y el inicio del Neolítico final en el Nordeste de la Península Ibérica. Inhumaciones colectivas y nuevas redes de intercambio. *Trab. Prehist.* 2015, vol. 72, num. 2, p. 327-341.

Daura, J., Sanz, M., Pike, A.W.G., Subirà, M.E., Fornós, J.J., Fullola, J.M., Julià, R., Zilhão, J., 2010. Stratigraphic context and direct dating of the Neandertal mandible from Cova del Gegant (Sitges, Barcelona). *J. Hum. Evol.* 59, 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2010.04.009>

Daura, J., Sanz, M., Soriano, I., Pedro, M., Rubio, Á., Oliva, M., Gibaja, J.F., Queralt, I., Álvarez, R., López-Cachero, F.J., 2017. Objetos de oro y epicampaniforme en la Cova del Gegant. Relaciones en la costa mediterránea de la Península Ibérica durante la Edad del Bronce. *Trab. Prehist.* 74, 149–167.

Daura, J., Sanz, M., Subirá, M.E., Quam, R., Fullola, J.M., Arsuaga, J.L., 2005. A neandertal mandible from the Cova del Gegant (Sitges, Barcelona, Spain). *J. Hum. Evol.* 49, 56–70.

Daura, J., Sanz, M., Vaquero, M., López-García, J.M., Blain, H.-A., Marco, A.S., 2022. Neanderthal Fossils, Mobile Toolkit and a Hyena Den: The Archaeological Assemblage of Lateral Gallery 1 in Cova Del Gegant (NE Iberian Peninsula). *Quaternary* 5, 12. <https://doi.org/10.3390/quat5010012>

De Menezes Oliveira, M.A.H., Torres, C.P., Gomes-Silva, J.M., Chinelatti, M.A., De

- Menezes, F.C.H., Palma-Dibb, R.G., Borsatto, M.C., 2010. Microstructure and mineral composition of dental enamel of permanent and deciduous teeth. *Microsc. Res. Tech.* 73, 572–577.
- Delibes de Castro, G., 2014. El Calcolítico en la Meseta y su orla atlántica: intensificación económica y avance de la vida sedentaria (3200-2500 cal. a.C.), in: Almagro Gorbea, M. (Ed.), *Protohistoria de La Península Ibérica: Del Neolítico a La Romanización*. Fundación Atapuerca, Universidad de Burgos, Burgos, pp. 95–112.
- DeSantis, L.R.G., Scott, J.R., Schubert, B.W., Donohue, S.L., McCray, B.M., Van Stolk, C.A., Winburn, A.A., Greshko, M.A., O'hara, M.C., 2013. Direct comparisons of 2D and 3D dental microwear proxies in extant herbivorous and carnivorous mammals. *PLoS One* 8, e71428.
- Díaz-Zorita Bonilla, M., Aranda Jiménez, G., Bocherens, H., Escudero Carrillo, J., Sánchez Romero, M., Lozano Medina, Á., Alarcón García, E., Milesi García, L., 2019. Multi-isotopic diet analysis of south-eastern Iberian megalithic populations: the cemeteries of El Barranquete and Panoría. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 3681–3698.
- Edo, M., Alonso, M., 1982. La Cova de Can Sadurní. Les excavacions arqueològiques a Catalunya en els darrers anys, in: *Excavacions Arqueològiques a Catalunya*. pp. 65–67.
- Edo, M., Antolín, F., Martínez, P., Castellana, C., Bardera, R., Saña, M., Bergadà, M., Fullola, J.M., Barrio, C., Fierro, E., Castillo, T., Fornell, E., 2017. Cova de Can Sadurní (Begues, Barcelona). Towards the definition of a multiple funerary model inside caves during the middle Neolithic I in the northeast of the Iberian Peninsula, in: Tomé, T., Díaz-Zorita Bonilla, M., Silva, A.M., Cunha, C., Boaventura, R. (Eds.), *Current Approaches to Collective Burials in the Late European Prehistory. Proceedings of the XVII UISPP World Congress (1-7 September 2014, Burgos, Spain)*. Archaeopress, Burgos, pp. 21–32.
- Edo, M., Antolín, F., Martínez, P., Castellana, C., Bardera, R., Saña, M., Mercè Bergadà, M., Barrio, J., Castillo, T., Fierro, E., Fornell, E., 2016. Cova de Can Sadurní, la transformació d'un jaciment. L'episodi sepulcral del neolític postcardial. *Trib. d'Arqueologia* 2013–2014, 61–80.

- Edo, M., Antolín, F., Martínez, P., Castellana, C., Bardera, R., Saña, M., Mercè Bergadà, M., Barrio, J., Fierro, E., Fullola, J.M., 2019a. La cueva de Can Sadurní (Begues, Barcelona): Hacia la definición del modelo funerario en cueva para el Neolítico Medio I del Noreste Peninsular, in: Gibaja, J.F., Mozota, M., Subirà, M.E., Martín, A. (Eds.), *Mirando a La Muerte. Las Prácticas Funerarias Durante El Neolítico En El Noreste Peninsular. Volumen 3.* e-Dit ARX, Barcelona, pp. 307–377.
- Edo, M., Antolín, F., Martínez, P., Villalba, M.J., Fullola, J.M., Mercè Bergadà, M., Saña, M., Verdún, E., Fernández Domínguez, E., Gamba, C., Arroyo Pardo, E., Ache, M., Gibaja, J.F., Palomo, A., Clop, X., Manen, C., Convertini, F., 2019b. La cueva de Can Sadurní (Begues, Barcelona): El episodio funerario del Neolítico Antiguo Cardial Pleno. Estado actual de la cuestión, in: Gibaja, J.F., Mozota, M., Subirà, M.E., Martín, A. (Eds.), *Mirando a La Muerte. Las Prácticas Funerarias Durante El Neolítico En El Noreste Peninsular. Volumen 3.* e-Dit ARX, Barcelona, pp. 207–377.
- Edo, M., Blasco, A., Villalba, M.J., 2011. La cova de Can Sadurní, guió sintètic de la prehistòria recent de Garraf. *La Cova Can Sadurní i la prehistòria Garraf. Recull 30*, 13–97.
- El-Zaatari, S., 2008. Occlusal molar microwear and the diets of the Ipiutak and Tigara populations (Point Hope) with comparisons to the Aleut and Arikara. *J. Archaeol. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.04.002>
- El-Zaatari, S., 2010. Occlusal microwear texture analysis and the diets of historical/prehistoric hunter-gatherers. *Int. J. Osteoarchaeol.* 20, 67–87.
- Estalrich, A., Alarcón, J.A., Rosas, A., 2017. Evidence of toothpick groove formation in Neandertal anterior and posterior teeth. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 747–756.
- Estalrich, A., Marín-Arroyo, A.B., 2021. Evidence of habitual behavior from non-alimentary dental wear on deciduous teeth from the Middle and Upper Paleolithic Cantabrian region, Northern Spain. *J. Hum. Evol.* 158, 103047.
- Esteve, X., Martín, P., Oms Arias, X.F., López, D., Jornet Niella, R., 2012. Intervencions arqueològiques als enllaços de l'autopista AP-7 de Vilafranca del Penedès: nous assentaments prehistòrics a l'aire lliure al Penedès. *Trib. d'Arqueologia 2010–2011*,

23–39.

- Expósito, I., Burjachs, F., Verges, J.M., 2017. Human trace on the landscape during the Holocene at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The palynological evidence. *The Holocene* 27, 1201–1213.
- Fábregas, R., 1988. Cronología y periodización del megalitismo en Galicia y norte de Portugal. *Espac. Tiempo y Forma, Ser. I, Prehist.* 279–291.
- Fábregas, R., Alonso, S., Lazuén, T., de Lombera Hermida, A., Pérez Alberi, A., Rodríguez, X.P., Rodríguez, C., Terradillos, M., Serna, M.R., Vaquero, M., 2008. Aportacións ó estudo da prehistoria da cunca media do Miño: os asentamentos en cova e ó aire libre. *Gall. Rev. Arqueol. e antigüidade* 63–88.
- Fábregas, R., de Lombera Hermida, A., Serna González, M.R., Vaquero, M., Pérez Rama, M., Grandal, A., Rodríguez, X.P., Alonso, S., Ameijenda Iglesias, A., 2012. Ocupacións prehistóricas e históricas nas cavidades das serras orientais galegas: Cova de Eirós (Triacastela) e Valdavara (Becerreá). *Gallaecia* 31, 17–45.
- Fábregas, R., Vázquez, X.I., 2003. El Neolítico y el Megalitismo en Galicia: problemas teórico-metodológicos y estado de la cuestión, in: Gonçalves, V. (Ed.), *Muitas Antas, Pouca Gente? Orígens, Espaços e Contextos Do Megalitismo. Actas Do II Colóquio Internacional Sobre Megalitismo*. Instituto Português de Arqueologia, Lisboa, pp. 281–304.
- Featherstone, J.D.B., 2008. Dental caries: a dynamic disease process. *Aust. Dent. J.* 53, 286–291.
- Ferembach, D., Schwindezyk, I., Stoukal, M., 1980. Recommendation for age and sex diagnoses of skeletons. *J. Hum. Evol.* 9, 517–549. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(80\)90061-5](https://doi.org/10.1016/0047-2484(80)90061-5)
- Fernández-Crespo, T., Mujika, J.A., Ordoño, J., 2016. Aproximación al patrón alimentario de los inhumados en la cista de la Edad del Bronce de Ondarre (Aralar, Guipúzcoa) a través del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno sobre colágeno óseo. *Trab. Prehist.* 73, 325–334.

- Fernández-Crespo, T., Ordoño, J., Schulting, R.J., 2021. Subsistence shift and socio-economic response to cultural and climate changes among north-central Iberian megalithic groups. *J. Archaeol. Sci.* 133, 105451.
- Fernández-Crespo, T., Schulting, R.J., Ordoño, J., Rojo-Guerra, M.A., Sesma-Sesma, J., García-Gazólaz, J., Altuna, J., Mariezkurrena, K., Arias, P., 2019. Isotopic evidence of strong reliance on animal foods and dietary heterogeneity among Early-Middle Neolithic communities of Iberia. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 5463–5481.
- Fernández-Domínguez, E., Katzeff, E., Petit, M.À., DiRenno, F., Martínez Grau, H., Martínez-Rodríguez, P., Fierro, E., Subirà, M.E., Edo, M., n.d. Genetics and mobility of the Garraf population during the Neolithic, in: *Proceedings of Early Neolithic in Europe (ENE2019)*. Barcelona.
- Fernández-Marchena, J.L., García-Argudo, G., Pedergnana, A., Valverde, I., 2018. Líneas, Manchas y Cía. Pautas Metodológicas para una Adecuada Interpretación Funcional, in: Agudo Pérez, L., Duarte, C., García Escárzaga, A., Geiling, J.M., Higuero Pliego, A., Nuñez de la Fuente, S., Rodríguez Santos, F.J., Suárez Revilla, R. (Eds.), *Actas de Las IX Jornada de Jóvenes En Investigación Arqueológica*. Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria, Santander, pp. 241–250.
- Fernández-Crespo, T., Czermak, A., Lee-Thorp, J.A., Schulting, R.J., 2018. Infant and childhood diet at the passage tomb of Alto de la Huesera (north-central Iberia) from bone collagen and sequential dentine isotope composition. *Int. J. Osteoarchaeol.* 28, 542–551.
- Fiorenza, L., Benazzi, S., Henry, A.G., Salazar-García, D.C., Blasco, R., Picin, A., Wroe, S., Kullmer, O., 2015a. To meat or not to meat? New perspectives on Neanderthal ecology. *Am. J. Phys. Anthropol.* 156, 43–71.
- Fiorenza, L., Benazzi, S., Kullmer, O., 2009. Do it yourself: Morphology, wear and 3D digital surface models: Materials and techniques to create high-resolution replicas of teeth. *J. Anthropol. Sci.* 87, 211–218.
- Fiorenza, L., Nguyen, H.N., Benazzi, S., 2015b. Stress Distribution and Molar Macrowear in Pongo pygmaeus: A New Approach through Finite Element and Occlusal

Fingerprint Analyses. *Hum. Evol.* 30, 215–226.

Fontanals-Coll, M., 2015. Estudi dels modes de subsistència de les comunitats neolítiques del nord-est de la Península Ibèrica: Reconstrucció paleodietètica a partir dels isòtops estables [Master Thesis]. Universitat Autònoma de Barcelona.

Fontanals-Coll, M., Eulàlia Subirà, M., Díaz-Zorita Bonilla, M., Gibaja, J.F., 2016. First insight into the Neolithic subsistence economy in the north-east Iberian Peninsula: paleodietary reconstruction through stable isotopes. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 36–50. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23083>

Fontanals, M., Euba, I., Morales, J.I., Oms, X.F., Vergès, J.M., 2008. El asentamiento litoral al aire libre del El Cavet (Cambrils, Tarragona), in: Hernández Pérez, M.S., Soler Díaz, J., López Padilla, J.A. (Eds.), IV Congreso Del Neolítico Peninsular. Museo Arqueológico de Alicante, Alicante, Alicante, pp. 1–8.

Forshaw, R., 2014. Dental indicators of ancient dietary patterns: dental analysis in archaeology. *Br. Dent. J.* 216, 529–535.

Francés-Negro, M., Iriarte, E., Galindo-Pellicena, M.A., Gerbault, P., Carrancho, A., Pérez-Romero, A., Arsuaga, J.L., Carretero, J.M., Roffet-Salque, M., 2021. Neolithic to Bronze Age economy and animal management revealed using analyses lipid residues of pottery vessels and faunal remains at El Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Spain). *J. Archaeol. Sci.* 131, 105380.

Fraser, D., Mallon, J.C., Furr, R., Theodor, J.M., 2009. Improving the repeatability of low magnification microwear methods using high dynamic range imaging. *Palaios* 24, 818–825.

Galbany, J., Estebaranz, F., Martínez, L.M., Romero, A., De Juan, J., Turbón, D., Pérez-Pérez, A., 2006. Comparative analysis of dental enamel polyvinylsiloxane impression and polyurethane casting methods for SEM research. *Microsc. Res. Tech.* 69, 246–252. <https://doi.org/10.1002/jemt.20296>

Galbany, J., Martínez, L.M., López-Amor, H.M., Espurz, V., Hiraldo, O., Romero, A., de Juan, J., Pérez-Pérez, A., 2005. Error rates in buccal-dental microwear quantification using scanning electron microscopy. *Scanning* 27, 23–29.

<https://doi.org/10.1002/sca.4950270105>

- Galbany, J., Martínez, L.M., Pérez-Pérez, A., 2004. Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: methodological obstacles. *Anthropologie* 42, 5–12.
- Galindo-Pellicena, M.A., Martín-Francés, L., Gracia, A., De Gaspar, I., Arsuaga, J.L., Carretero, J.M., 2017. Evidences of the use of cattle as draught animals in Chalcolithic of El Portalón (Sierra de Atapuerca, Burgos). *Quat. Int.* 438, 1–10.
- Gamarra, B., Lozano, M., Del Bove, A., Subirà, M.E., Edo, M., Castellana, C., Vergès, J.M., Morales, J.I., Cebrià, A., Oms, F.X., 2022. Identifying biological affinities of Holocene northern Iberian populations through the inner structures of the upper first molars. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 14, 1–16.
- García-González, R., Carretero, J.M., Richards, M.P., Rodríguez, L., Quam, R., García-González, R., Miguel Carretero, J., Richards, M.P., Rodríguez, L., Quam, R., 2015. Dietary inferences through dental microwear and isotope analyses of the Lower Magdalenian individual from El Mirón Cave (Cantabria, Spain). *J. Archaeol. Sci.* 60, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.03.020>
- García-González, R., Sánchez-Puente, Z., Arsuaga, J.L., Carretero, J.M., 2018. Dietary inferences from dental microwear patterns in Chalcolithic populations from the Iberian Peninsula: the case of El Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) and El Alto de la Huesera (Álava, Spain). *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 3811–3823. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0711-x>
- García-Martínez de Lagrán, Í., 2018. Review of the archaeological contexts and theoretical models of the Neolithisation of Spain: The North Meseta, The Ebro Valley and Catalonia as a case study. *Quat. Int.* 472, 172–194. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.12.043>
- Garrido-Pena, R., 2007. El fenómeno campaniforme: un siglo de debates sobre un enigma sin resolver, in: Cacho, C., Maicas, R., Martínez, M.I., Martos, J.A. (Eds.), *Acercándonos Al Pasado: Prehistoria En 4 Actos*. Museo Arqueológico Nacional, Madrid, pp. 1–16.

- Garrido-Pena, R., 2005. El Laberinto Campaniforme: breve historia de un reto intelectual, in: *El Campaniforme En La Península Ibérica y Su Contexto Europeo*. Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, pp. 29–44.
- Garrido-Pena, R., 2000. *El Campaniforme en la Meseta Central de la península ibérica (c. 2500-2000 AC.)*. British Archaeological Reports, Oxford.
- Garrido-Pena, R., Guerra, M.Á.R., Rodríguez, C.T., de Lagrán, I.G.-M., 2012. Las máscaras de la muerte: ritos funerarios en el Neolítico de la Península Ibérica, in: *El Neolítico En La Península Ibérica y Su Contexto Europeo*. Cátedra, pp. 143–174.
- Gassiot, E., Ramón, J.B., David, R.A., Bal-Serin, M.-C., Albert, P.M., Mazzucco, N., Ramon, P.O., 2014. La alta montaña durante la Prehistoria: 10 años de investigación en el Pirineo catalán occidental. *Trab. Prehist.* 71, 261–281.
- Gibaja, J.F., 2005. Los enterramientos neolíticos del Noreste de la Península Ibérica. *Anthropol. Præhistorica* 116, 165–178.
- Gibaja, J.F., Clop i García, X., 2012. Cataluña, in: Rojo Guerra, M.Á., Garrido Pena, R., García-Martínez de Lagrán, I. (Eds.), *El Neolítico En La Península Ibérica y Su Contexto Europeo*. Cátedra, España, pp. 333–370.
- Gibaja, J.F., Fontanals-Coll, M., Dubosq, S., Oms, F.X., Augé, A., Santos, F.J., Morell, B., Subirà, M.E., 2017. Human diet and the chronology of neolithic societies in the north-east of the Iberian Peninsula: the necropolises of Puig d'en Roca and Can Gelats (Girona, Spain). *Archaeol. Anthropol. Sci.* 9, 903–913.
- Gibaja, J.F., González, P., Martín, A., Palomo, A., Petit, M.À., Plasencia, X., Remolins, G., Terradas, X., 2014. New finds of obsidian blades at Neolithic sites in north-eastern Iberia. *Antiq. Proj. Gall.* 88.
- Gibaja, J.F., Léa, V., Luglie, C., Bosch, J., Gassin, B., Terradas, X., 2013. Between Sardinia and Catalonia: contacts and relationships during the Neolithic, in: Blasco Ferrer, E., Francalacci, P., Nocentini, A., Tanda, G. (Eds.), *GOROSTI U5b3. Le Monnier-Mondadori Education*, Milano, pp. 214–233.
- Gibaja, J.F., Majó, T., Ruíz, J., Subirà, M.E., 2010. Prácticas funerarias durante el

Neolítico. Los enterramientos infantiles en el noreste de la Península Ibérica.
Complutum 21, 47–68.

Goldstein, J., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Romig, A.D., Lyman, C.E., Fiori, C., Lifshin, E., 1992. Image formation and interpretation, in: Plenum Press (Ed.), *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists*. Springer Nature, New York, pp. 149–271.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0491-3>

González-Fortes, G., Tassi, F., Trucchi, E., Henneberger, K., Paijmans, J.L.A., Díez-del-Molino, D., Schroeder, H., Susca, R.R., Barroso-Ruíz, C., Bermúdez, F.J., 2019. A western route of prehistoric human migration from Africa into the Iberian Peninsula. *Proc. R. Soc. B* 286, 20182288. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2288>

González-Urquijo, J., Ibáñez Estévez, J.J., 1994. Metodología de análisis funcional de instrumentos tallados en sílex, *Cuadernos de arqueología*. Universidad de Deusto.

Goodall, R.H., Darras, L.P., Purnell, M.A., 2015. Accuracy and precision of silicon based impression media for quantitative areal texture analysis. *Sci. Rep.* 5, 1–14.

Gordon, K.D., 1988. A review of methodology and quantification in dental microwear analysis. *Scanning Microsc.* 2, 1139–1147.

Gordon, K.D., 1982. A study of microwear on chimpanzee molars: implications for dental microwear analysis. *Am. J. Phys. Anthropol.* 59, 195–215.

Gordon, K.R., 1984. Microfracture patterns of abrasive wear striations on teeth indicate directionality. *Am. J. Phys. Anthropol.* 63, 315–322.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.1330630308>

Green, J.L., Semprebon, G.M., Solounias, N., 2005. Reconstructing the palaeodiet of Florida *Mammot americanum* via low-magnification stereomicroscopy. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 223, 34–48.

Greenfield, H.J., 2010. The Secondary Products Revolution: the past, the present and the future. *World Archaeol.* 42, 29–54.

Grine, F.E., 1986. Dental evidence for dietary differences in *Australopithecus* and

- Paranthropus: a quantitative analysis of permanent molar microwear. *J. Hum. Evol.* 15, 783–822. [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(86\)80010-0](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(86)80010-0)
- Grine, F.E., Ungar, P.S., Teaford, M.F., 2002. Error rates in dental microwear quantification using scanning electron microscopy. *Scanning* 24, 144–153. <https://doi.org/10.1002/sca.4950240307>
- Guardiola, M., Urbina, E., 2022. The lithic technology from El Mirador cave: a diachronic study of the stone tools, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 345–358. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Gügel, I.L., Grupe, G., Kunzelmann, K., 2001. Simulation of dental microwear: characteristic traces by opal phytoliths give clues to ancient human dietary behavior. *Am. J. Phys. Anthropol.* 114, 124–138.
- Habelitz, S., Marshall, S.J., Marshall Jr, G.W., Balooch, M., 2001. Mechanical properties of human dental enamel on the nanometre scale. *Arch. Oral Biol.* 46, 173–183.
- Halcrow, S.E., Tayles, N., 2008. The Bioarchaeological Investigation of Childhood and Social Age : Problems and Prospects 190–215. <https://doi.org/10.1007/s10816-008-9052-x>
- Han, C.S., Martin, M.A., Dichosa, A.E.K., Daughton, A.R., Fietze, S., Kaplan, H., Gurven, M.D., Alcock, J., 2016. Salivary microbiomes of indigenous Tsimane mothers and infants are distinct despite frequent premastication. *PeerJ* 4, e2660.
- Hara, A.T., Livengood, S. V, Lippert, F., Eckert, G.J., Ungar, P.S., 2016. Dental Surface Texture Characterization Based on Erosive Tooth Wear Processes. *J. Dent. Res.* 95, 537–542. <https://doi.org/10.1177/0022034516629941>
- Hayek, L.-A.C., Bernor, R.L., Solounias, N., Steigerwald, P., 1991. Preliminary studies of hipparionine horse diet as measured by tooth microwear, in: *Annales Zoologici Fennici*. JSTOR, pp. 187–200.
- Hendy, J., Warinner, C., Bouwman, A., Collins, M.J., Fiddyment, S., Fischer, R., Hagan, R.,

- Hofman, C.A., Holst, M., Chaves, E., Klaus, L., Larson, G., Mackie, M., McGrath, K., Mundorff, A.Z., Radini, A., Rao, H., Trachsel, C., Velsko, I.M., Speller, C.F., 2018. Proteomic evidence of dietary sources in ancient dental calculus. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 285, 20180977. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0977>
- Hernando, R., Cano, N., Martín, P., Üstünkaya, C., Allué, E., Lozano, M., 2022a. The human diet at El Mirador cave, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 295–326. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Hernando, R., Fernández-Marchena, J.L., Willman, J.C., Ollé, A., Vergès, J.M., Lozano, M., 2020a. Exploring the utility of optical microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear. *Quat. Int.* 569–570, 5–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.022>
- Hernando, R., Gamarra, B., McCall, A., Cheronet, O., Fernandes, D., Sirak, K., Schmidt, R., Lozano, M., Szeniczey, T., Hajdu, T., 2021. Integrating buccal and occlusal dental microwear with isotope analyses for a complete paleodietary reconstruction of Holocene populations from Hungary. *Sci. Rep.* 11, 1–21. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86369-x>
- Hernando, R., Lozano Ruiz, M., Ceperuelo Sanchez, D., Alonso Alegre, S., Vaquero, M., 2019. Los niños de La Cova de Valdavara (Becerreá, Lugo): análisis morfológico, patológico y del microdesgaste dental. *Munibe Antropol.* 70, 207–218.
- Hernando, R., Willman, J.C., Souron, A., Cebrià, A., Oms, F.X., Morales, J.I., Lozano, M., 2022b. What about the buccal surfaces? Dental microwear texture analysis of buccal and occlusal surfaces refines paleodietary reconstructions. *Am. J. Biol. Anthropol.* 178, 347–359. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24509>
- Hernando, R., Willman, J.C., Vergès, J.M., Vaquero, M., Alonso, S., Oms, X.F., Cebrià, A., Morales, J.I., Lozano, M., 2020b. Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: a case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 12, 30. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00997-z>

- Hillson, S., 1996. *Dental anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139170697>
- Howcroft, R., 2013. *Weaned Upon A Time : Studies of the Infant Diet in Prehistory [Doctoral Thesis]*. Stockholm University.
- Hua, L., Brandt, E.T., Meullenet, J., Zhou, Z., Ungar, P.S., 2015. An in vitro study of dental microwear formation using the BITE Master II chewing machine. *Am. J. Phys. Anthropol.* 158, 769–775.
- Humphrey, L.T., De Groote, I., Morales, J., Barton, N., Collcutt, S., Bronk Ramsey, C., Bouzouggar, A., 2014. Earliest evidence for caries and exploitation of starchy plant foods in Pleistocene hunter-gatherers from Morocco. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 954–959. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318176111>
- Iglesias, J., Yustos, M., Etxebarria, F., 2022. Life and death in El Mirador cave. Anthropological and palaeopathological analysis of a collective burial, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 147–166. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Jardine, P.E., Janis, C.M., Sahney, S., Benton, M.J., 2012. Grit not grass: Concordant patterns of early origin of hypsodonty in Great Plains ungulates and Glires. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 365–366, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.09.001>
- Jones, J.R., Maeso, C.V., Ballesterio, E.C., Martín, L.V., Arceo, M.E.D., Marín-Arroyo, A.B., 2019. Investigating prehistoric diet and lifeways of early farmers in central northern Spain (3000–1500 CAL BC) using stable isotope techniques. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 3979–3994.
- Kaidonis, J.A., Ranjitkar, S., Lekkas, D., Townsend, G.C., 2012. An anthropological perspective: another dimension to modern dental wear concepts. *Int. J. Dent.* 2012.
<https://doi.org/10.1155/2012/741405>
- Kaiser, T.M., 2003. The dietary regimes of two contemporaneous populations of *Hippotherium primigenium* (Perissodactyla, Equidae) from the Vallesian (Upper

- Miocene) of Southern Germany. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 198, 381–402.
- Kaiser, T.M., Brinkmann, G., 2006. Measuring dental wear equilibriums—the use of industrial surface texture parameters to infer the diets of fossil mammals. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 239, 221–240.
- Kay, R.F., Hiiemae, K.M., 1974. Jaw movement and tooth use in recent and fossil primates. *Am. J. Phys. Anthropol.* 40, 227–256.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.1330400210>
- Keenleyside, A., 2008. Dental pathology and diet at Apollonia, a Greek colony on the Black Sea. *Int. J. Osteoarchaeol.* 18, 262–279.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/oa.934>
- Kelly, C.D., Schmidt, C.W., D’Anastasio, R., 2020. Dental microwear texture analysis in deciduous teeth, in: Schmidt, C., Watson, J.T. (Eds.), *Dental Wear in Evolutionary and Biocultural Contexts*. Academic Press, New York, pp. 169–186.
<https://doi.org/10.1016/C2017-0-03552-8>
- King, T., Andrews, P., Boz, B., 1999. Effect of taphonomic processes on dental microwear. *Am. J. Phys. Anthropol.* 108, 359–373.
- Knipper, C., Rihuete-Herrada, C., Voltas, J., Held, P., Lull, V., Micó, R., Risch, R., Alt, K.W., 2020. Reconstructing Bronze Age diets and farming strategies at the early Bronze Age sites of La Bastida and Gatas (southeast Iberia) using stable isotope analysis. *PLoS One* 15, e0229398.
- Krueger, K., Ungar, P., 2012. Anterior dental microwear texture analysis of the Krapina Neandertals. *Open Geosci.* 4, 651–662.
- Krueger, K.L., 2016a. Dentition, behavior, and diet determination, in: Irish, J.D., Scott, G.R. (Eds.), *A Companion to Dental Anthropology*. John Wiley & Sons, pp. 396–411.
- Krueger, K.L., 2016b. Dental microwear texture differences between permanent and deciduous enamel. *Am. J. Phys. Anthropol.* 159, 196–197.
- Krueger, K.L., Chwa, E., Peterson, A.S., Willman, J.C., Fok, A., van Heel, B., Heo, Y.,

- Weston, M., DeLong, R., 2021. Artificial Resynthesis Technology for the experimental formation of dental microwear textures. *Am. J. Phys. Anthropol.* 176, 703–712.
- Krueger, K.L., Scott, J.R., Kay, R.F., Ungar, P.S., 2008. Dental microwear textures of “Phase I” and “Phase II” facets. *Am. J. Phys. Anthropol.* 137, 485–490.
- Laborda, R., Villalba-Mouco, V., Lanau, P., Gisbert, M., Sebastián, M., Domingo, R., Montes, L., 2017. El Puerto Bajo de Góriz (Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido). Ocupación y explotación de un paisaje de alta montaña desde la prehistoria hasta el siglo XX. *Bolskan* 9–30.
- Lalueza-Fox, C., Pérez-Pérez, A., Turbon, D., 1996. Dietary inferences through buccal microwear analysis of Middle and Upper Pleistocene human fossils. *Am. J. Phys. Anthropol.* 100, 367–387.
- Larsen, C.S., Shavit, R., Griffin, M.C., 1991. Dental caries evidence for dietary change: an archaeological context. *Adv. Dent. Anthropol.* 179, 202.
- Liesau von Lettow-Vorbeck, C., Moreno, E., 2012. Marfiles campaniformes de Camino de Las Yeseras (San Fernando de Henares, Madrid), in: Banerjee, A., López Padilla, J.A., Schuhmacher, T.X. (Eds.), *Marfil y Elefantes En La Península Ibérica y El Mediterráneo Occidental: Actas Del Coloquio Internacional En Alicante*. Deutsches Archäologisches Institut, Museo Arqueológico de Alicante - MARQ, Alicante, pp. 83–94.
- Lieverse, A.R., 1999. Diet and the Aetiology of Dental Calculus. *Int. J. Osteoarchaeol.* Int. J. Osteoarchaeol 9, 219–232.
- Lingström, P., Borrmann, H., 1999. Distribution of dental caries in an early 17th century swedish population with special reference to diet. *Int. J. Osteoarchaeol.* 9, 395–403.
- López-Costas, O., Alexander, M., 2019. Paleodiet in the Iberian Peninsula: exploring the connections between diet, culture, disease and environment using isotopic and osteoarchaeological evidence. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 3653–3664. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00886-5>

- López-Costas, O., Müldner, G., Martínez Cortizas, A., 2015. Diet and lifestyle in Bronze Age Northwest Spain: the collective burial of Cova do Santo. *J. Archaeol. Sci.* 55, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.01.009>
- López-García, J.M., Blain, H.-A., Bennasar, M., Alcover, J.A., Bañuls-Cardona, S., Fernández García, M., Fontanals, M., Martín, P., Morales, J.I., Muñoz, L., 2014. Climate and landscape during Heinrich Event 3 in south-western Europe: the small-vertebrate association from Galls Carboners cave (Mont-ral, Tarragona, north-eastern Iberia). *J. Quat. Sci.* 29, 130–140.
- López Cachero, F.J., 2007. Sociedad y economía durante el Bronce Final y la primera Edad del Hierro en el Noreste Peninsular: una aproximación a partir de las evidencias arqueológicas. *Trab. Prehist.* 64, 99–120. <https://doi.org/10.3989/tp.2007.v64.i1.96>
- Lovejoy, C.O., 1985. Dental wear in the Libben population: Its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. *Am. J. Phys. Anthropol.* 68, 47–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330680105>
- Lozano, M., Gamarra, B., Hernando, R., Ceperuelo, D., 2022. Dental and oral pathologies at El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain), in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 167–185. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Lozano, M., Jiménez-Brobeil, S.A., Willman, J.C., Sánchez-Barba, L.P., Molina, F., Rubio, Á., 2021. Argaric craftswomen: Sex-based division of labor in the Bronze Age southeastern Iberia. *J. Archaeol. Sci.* 127, 105239.
- Lozano, M., Subirà, M.E., Aparicio, J., Lorenzo, C., Gómez-Merino, G., 2013. Toothpicking and Periodontal Disease in a Neanderthal Specimen from Cova Forad?? Site (Valencia, Spain). *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076852>
- Lucas, P.W., 2015. The masticatory system and its function, in: Irish, D.J., Scott, G.R. (Eds.), *A Companion to Dental Anthropology*. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, pp. 108–119.

- Lucas, P.W., Omar, R., Al-Fadhalah, K., Almusallam, A.S., Henry, A.G., Michael, S., Thai, L.A., Watzke, J., Strait, D.S., Atkins, A.G., 2013. Mechanisms and causes of wear in tooth enamel: implications for hominin diets. *J. R. Soc. Interface* 10, 20120923.
- Lull, V., Micó, R., Rihuete-Herrada, C., Risch, R., 2014a. La Edad del Bronce en la “Iberia” Mediterránea, in: Almagro Gorbea, M. (Ed.), *Protohistoria de La Península Ibérica: Del Neolítico a La Romanización*. Fundación Atapuerca, Universidad de Burgos, Burgos, pp. 127–146.
- Lull, V., Micó, R., Rihuete-Herrada, C., Risch, R., 2014b. Las Islas Baleares: desde la colonización humana estable hasta la conquista romana, in: Almagro Gorbea, M. (Ed.), *Protohistoria de La Península Ibérica: Del Neolítico a La Romanización*. Fundación Atapuerca, Universidad de Burgos, Burgos, pp. 147–159.
- Lull, V., Micó, R., Rihuete, C., Risch, R., 2011. El Argar and the Beginning of Class Society in the western Mediterranean, in: Hansen, S., Müller, J. (Eds.), *Sozialarchäologische Perspektiven: Gesellschaftlicher Wandel 5000-1500 v. Chr. Zwischen Atlantik Und Kaukasus*. Mainz: Philipp von Zabern, Mainz, pp. 381–414.
- Mahoney, P., 2007. Human dental microwear from Ohalo II (22,500-23,500 cal BP), southern Levant. *Am. J. Phys. Anthropol.* 132, 489–500. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20548>
- Mahoney, P., 2006. Dental microwear from Natufian hunter-gatherers and early neolithic farmers: Comparisons within and between samples. *Am. J. Phys. Anthropol.* 130, 308–319. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20311>
- Mahoney, P., Schmidt, C.W., Deter, C., Remy, A., Slavin, P., Johns, S.E., Miskiewicz, J.J., Nystrom, P., 2016. Deciduous enamel 3D microwear texture analysis as an indicator of childhood diet in medieval Canterbury, England. *J. Archaeol. Sci.* 66, 128–136.
- Maier, W., Schneck, G., 1982. Functional Morphology of Hominoid Dentitions. *J. Hum. Evol.* 11, 693–696.
- Mainland, I.L., 1998. Dental microwear and diet in domestic sheep (*Ovis aries*) and goats (*Capra hircus*): distinguishing grazing and fodder-fed ovicaprids using a quantitative analytical approach. *J. Archaeol. Sci.* 25, 1259–1271.

- Marginedas, F., Rodríguez-Hidalgo, A., Soto, M., Bello, S.M., Cáceres, I., Huguet, R., Saladié, P., 2020. Making skull cups: Butchering traces on cannibalised human skulls from five European archaeological sites. *J. Archaeol. Sci.* 114, 105076.
- Marginedas, F., Saladié, P., Rodríguez-Hidalgo, A., Moreno-Ibáñez, M.Á., 2022. Cannibalism at El Mirador Cave: Characterization of the Processing of Human Bodies, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 187–208. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Martí Rosell, M., Pou i Calvet, R., Carlús i Martín, X., 1997. La necròpolis del neolític mitjà i les restes romanes del Camí de Can Grau (La Roca del Vallès, Vallès Oriental), in: *Excavacions Arqueològiques a Catalunya*. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura, p. 235.
- Martín-Viveros, J.I., Ollé, A., 2020. Use-wear and residue mapping on experimental chert tools. A multi-scalar approach combining Digital 3D, Optical, and Scanning Electron Microscopy. *J. Archaeol. Sci. Reports* 30, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102236>
- Martín, A., 2003. Els grups del neolític final, calcolític i bronze antic : Els inicis de la metal·lúrgia. *Cota zero Rev. d'arqueologia i ciència* 76–105.
- Martin, F., Plastiras, C.-A., Merceron, G., Souron, A., Boisserie, J.-R., 2018. Dietary niches of terrestrial cercopithecines from the Plio-Pleistocene Shungura Formation, Ethiopia: evidence from dental microwear texture analysis. *Sci. Rep.* 8, 1–13.
- Martín, P., Allué, E., Vergès, Josep M, 2022a. El Mirador Cave Herders and Farmers, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, Josep Maria (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers: A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer International Publishing, Cham, pp. 361–385. https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1_18
- Martín, P., Expósito, I., Burguet-Coca, A., Lira-Garrido, J., Blanco-Lapaz, À., Tornero, C., 2022b. Husbandry and Wild Animal Exploitation. Characteristics and Evolution from

- a Multidisciplinary Perspective, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), Prehistoric Herders and Farmers: A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave. Springer International Publishing, Cham, pp. 225–250. https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1_12
- Martín, P., Rosell, J., Vergès, J.M., 2009. La gestión de los recursos faunísticos durante el Neolítico en la Sierra de Atapuerca (Burgos): los niveles 19 y 20 de la Cueva del Mirador. *Trab. Prehist.* 66, 77–92. <https://doi.org/10.3989/tp.2009.09024>
- Martínez-Pillado, V., Aranburu, A., Arsuaga, J.L., Ruiz-Zapata, B., Gil-García, M.J., Stoll, H., Yusta, I., Iriarte, E., Carretero, J.M., Edwards, R.L., 2014. Upper Pleistocene and Holocene palaeoenvironmental records in Cueva Mayor karst (Atapuerca, Spain) from different proxies: speleothem crystal fabrics, palynology and archaeology. *Int. J. Speleol.* 43, 1–14. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.1>
- Martínez, L.M., Pérez-Pérez, A., 2004. Post-mortem wear as indicator of taphonomic processes affecting enamel surfaces of hominin teeth from Laetoli and Olduvai (Tanzania): implications to dietary interpretations. *Anthropologie* 42, 37–42.
- Maya, J.L., Petit, M.À., 2000. Le peuplement du Bronze initial en Catalogne: La région côtière et la dépression occidentale, in: *Habitats, Économies et Sociétés Du Nordouest Méditerranéen de l'Age Du Bronze Au Premier Age Du Fer*. Société Préhistorique Française, Paris, pp. 103–113.
- McClure, S.B., García, O., de Togores, C.R., Culleton, B.J., Kennett, D.J., 2011. Osteological and paleodietary investigation of burials from Cova de la Pastora, Alicante, Spain. *J. Archaeol. Sci.* 38, 420–428.
- Mercadal, O., Agustí, B., 2006. Comportaments agressius a la prehistòria recent. La desmitificació del bon salvatge? *Cypsela* 16, 37–49.
- Merceron, G., Blondel, C., Brunet, M., Sen, S., Solounias, N., Viriot, L., Heintz, E., 2004. The Late Miocene paleoenvironment of Afghanistan as inferred from dental microwear in artiodactyls. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 207, 143–163. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.008>
- Merceron, G., Blondel, C., De Bonis, L., Koufos, G.D., Viriot, L., 2005. A new method of

- dental microwear analysis: application to extant primates and *Ouranopithecus macedoniensis* (Late Miocene of Greece). *Palaios* 20, 551–561.
- Merceron, G., Novello, A., Scott, R.S., 2016. Paleoenvironments inferred from phytoliths and dental microwear texture analyses of meso-herbivores. *Geobios* 49, 135–146.
- Mestres, J., 1989. Les sepultures neolítiques de l’Hort d’en Grimau (Castellví de la Marca, Alt Penedès), in: Sanmartí, J., Santacana, J. (Eds.), *Olerdulae*. Vilafranca Del Penedès: Museu de Vi-Lafranca, Anys XIII-XIV. Vilafranca del Penedès, pp. 97–129.
- Mestres, J., Nadal Lorenzo, J., Senabre, M.R., Socias, J., Moragas Segura, N., 1997. El Pujolet de Moja (Olèrdola, Alt Penedès), ocupació d’un territori durant el neolític i la primera edat del ferro. *Trib. d’Arqueologia*, 1997, vol. 1995-1996, p. 121-148.
- Mihlbachler, M.C., Beatty, B.L., Caldera-Siu, A., Chan, D., Lee, R., 2012. Error rates and observer bias in dental microwear analysis using light microscopy. *Palaeontol. Electron.* 15, 1–22.
- Mihlbachler, M.C., Foy, M., Beatty, B.L., 2019. Surface Replication, Fidelity and Data Loss in Traditional Dental Microwear and Dental Microwear Texture Analysis. *Sci. Rep.* 9, 1595. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37682-5>
- Molist, M., Clop, X., 2010. Los orígenes del megalitismo en Cataluña en el marco de las prácticas funerarias del Neolítico, in: *Actas Del Congreso Internacional Sobre Megalitismo y Otras Manifestaciones Funerarias Contemporáneas En Su Contexto Social, Económico y Cultural*. Munibe (Suplemento). pp. 212–224.
- Molleson, T., Jones, K., Jones, S., 1993. Dietary change and the effects of food preparation on microwear patterns in the Late Neolithic of Abu Hureyra, northern Syria. *J. Hum. Evol.* 24, 455–468.
- Montes, L., Domingo, R., 2014. La ocupación de las Sierras Exteriores durante el Calcolítico, in: Utrilla, P., Mazo, C. (Eds.), *La Peña de Las Forcas (Graus, Huesca)*. Un Asentamiento Estratégico En La Confluencia Del Ésera y El Isábena. *Monografías Arqueológicas. Prehistoria*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 409–426.
- Montes, L., Sánchez, P., Alcolea, M., Domingo, R., Bea Martínez, M., Sebastián, M., 2016.

La gestión prehistórica de un territorio en la montaña Prepirenaica: Tierra Bucho (Huesca, España). *Munibe Antropol.* 67, 349–362.

Mora-González, A., Delgado-Huertas, A., Granados-Torres, A., Contreras Cortés, F., Pavón Soldevila, I., Duque Espino, D., 2018. Complex agriculture during the second millennium bc: isotope composition of carbon studies ($\delta^{13}C$) in archaeological plants of the settlement Cerro del Castillo de Alange (SW Iberian Peninsula, Spain). *Veg. Hist. Archaeobot.* 27, 453–462.

Morales, J.I., Cebrià, A., Burguet-Coca, A., Fernández-Marchena, J.L., García-Argudo, G., Rodríguez-Hidalgo, A., Soto, M., Talamo, S., Tejero, J.-M., Vallverdú, J., 2019. The Middle-to-Upper Paleolithic transition occupations from Cova Foradada (Calafell, NE Iberia). *PLoS One* 14, e0215832.

Morales, J.I., Cebrià, A., Mestres, J., Oms, X.F., Allué, E., 2013. La Cova de la Guineu. 12.000 anys de presència humana a les capçaleres del Foix. III Monogr. del Foix 172–183.

Morales, J.I., Fontanals, M., Oms, X.F., Vergès, J.M., 2010. La chronologie du Néolithique ancien cardial du nord-est de la Péninsule Ibérique. *Datations, problématique et méthodologie. Anthropologie.* 114, 427–444.

Morales, J.I., Tejero, J.-M., Cebrià, A., Pedro, M., Rodríguez-Hidalgo, A., Oms, X.F., Soto, M., Vallverdú, J., Allué, E., Saladié, P., 2016. Expanding the geography of the Middle to Upper Palaeolithic transition: Foradada Cave (Calafell, Spain), a new site on the Iberian Mediterranean coastline. *Antiquity* 351, 1–4.

Morales, J.I., Vallverdú, J., Lozano, M., Hernando, R., Cebrià, A., n.d. La seqüència arqueològica de la Cova del Trader (Cubelles). *Excavacions 2016-2019 [Submitted]*, in: V Jornadas d'Estudiosos Del Foix. Diputació de Barcelona, Santa Margarida i els Monjos.

Moreno-Ibáñez, M.Á., 2019. Estudio tafonómico forense del conjunto sepulcral de Cova Foradada (Calafell, Tarragona). *Inhumación y cremación: las prácticas funerarias del Neolítico a la Edad del Bronce [Master Thesis]*. Universitat Rovira i Virgili.

Moreno-Ibáñez, M.Á., Saladié, P., Morales, J.I., Cebrià, A., Fullola, J.M., 2022.

Inhumation and cremation: identifying funerary practices and reuse of space through forensic taphonomy at Cova Foradada (Calafell, Spain). *Archaeol. Anthropol. Sci.* 14, 1–31.

Moreno-Larrazabal, A., Teira-Brión, A., Sopelana-Salcedo, I., Arranz-Otaegui, A., Zapata, L., 2015. Ethnobotany of millet cultivation in the north of the Iberian Peninsula. *Veg. Hist. Archaeobot.* 24, 541–554.

Moreno Gallo, M.A., Delibes de Castro, G., Villalobos, R., Basconillos, J., 2020. Tumbas de gigantes. Dólmenes y túmulos en la provincia de Burgos. Diputación de Burgos, Burgos.

Muñoz, A.M., 1965. La cultura neolítica catalana de los “Sepulcros de Fosa.” Instituto de Arqueología e Historia de la Universidad de Barcelona, Barcelona, Barcelona.

Nocete, F., 2014. Las sociedades complejas (IV y III milenio cal B.C) en la Iberia meridional, in: Almagro Gorbea, M. (Ed.), *Protohistoria de La Península Ibérica: Del Neolítico a La Romanización*. Fundación Atapuerca, Universidad de Burgos, Burgos, pp. 83–94.

Odrizola, C.P., Garrido-Cordero, J.A., Daura, J., Sanz, M., 2020. Resin-coated beads in Iberian Late Prehistory (3rd–2nd millennia BCE). *Mater. Manuf. Process.* 35, 1420–1423.

Odrizola, C.P., Garrido Cordero, J.Á., Daura, J., Sanz, M., Martínez-Blanes, J.M., Avilés, M.Á., 2019a. Amber imitation? Two unusual cases of Pinus resin-coated beads in Iberian Late Prehistory (3rd and 2nd millennia BC). *PLoS One* 14, e0215469.

Odrizola, C.P., Sousa, A.C., Mataloto, R., Boaventura, R., Andrade, M., Villalobos García, R., Garrido-Cordero, J.Á., Rodríguez, E., Martínez-Blanes, J.M., Avilés, M.Á., 2019b. Amber, beads and social interaction in the Late Prehistory of the Iberian Peninsula: an update. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 567–595.

Olalde, I., Lalueza-Fox, C., Reich, D., 2022. Genomic analysis of the individuals from El Mirador cave, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 209–221. <https://doi.org/10.1007/978-3->

031-12278-1

Olalde, I., Mallick, S., Patterson, N., Rohland, N., Villalba-Mouco, V., Silva, M., Dulias, K., Edwards, C.J., Gandini, F., Pala, M., Soares, P., Ferrando-Bernal, M., Adamski, N., Broomandkshobacht, N., Cheronet, O., Culleton, B.J., Fernandes, D., Lawson, A.M., Mah, M., Oppenheimer, J., Stewardson, K., Zhang, Z., Arenas, J.M.J., Moyano, I.J.T., Salazar-García, D.C., Castanyer, P., Santos, M., Tremoleda, J., Lozano, M., Borja, P.G., Fernández-Eraso, J., Mujika-Alustiza, J.A., Barroso, C., Bermúdez, F.J., Mínguez, E.V., Burch, J., Coromina, N., Vivó, D., Cebrià, A., Fullola, J.M., García-Puchol, O., Morales, J.I., Xavier Oms, F., Majó, T., Vergès, J.M., Díaz-Carvajal, A., Ollich-Castanyer, I., Javier López-Cachero, F., Silva, A.M., Alonso-Fernández, C., De Castro, G.D., Echevarría, J.J., Moreno-Márquez, A., Berlanga, G.P., Ramos-García, P., Ramos-Muñoz, J., Vila, E.V., Arzo, G.A., Arroyo, Á.E., Lillios, K.T., Mack, J., Velasco-Vázquez, J., Waterman, A., De Lugo Enrich, L.B., Sánchez, M.B., Agustí, B., Codina, F., De Prado, G., Estalrich, A., Flores, Á.F., Finlayson, C., Finlayson, G., Finlayson, S., Giles-Guzmán, F., Rosas, A., González, V.B., Atiénzar, G.G., Hernández Pérez, M.S., Llanos, A., Marco, Y.C., Beneyto, I.C., López-Serrano, D., Tormo, M.S., Valera, A.C., Blasco, C., Liesau, C., Ríos, P., Daura, J., De Pedro Michó, M.J., Diez-Castillo, A.A., Fernández, R.F., Farré, J.F., Garrido-Pena, R., Gonçalves, V.S., Guerra-Doce, E., Herrero-Corral, A.M., Juan-Cabanilles, J., López-Reyes, D., McClure, S.B., Pérez, M.M., Foix, A.O., Borràs, M.S., Sousa, A.C., Encinas, J.M.V., Kennett, D.J., Richards, M.B., Alt, K.W., Haak, W., Pinhasi, R., Lalueza-Fox, C., Reich, D., 2019. The genomic history of the Iberian Peninsula over the past 8000 years. *Science* (80-.). 363, 1230–1234. <https://doi.org/10.1126/science.aav4040>

Ollé, A., Pedergrana, A., Fernández-Marchena, J.L., Martín, S., Borel, A., Aranda, V., 2016. Microwear features on vein quartz, rock crystal and quartzite: A study combining Optical Light and Scanning Electron Microscopy. *Quat. Int.* 424, 154–170. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.005>

Olsen, S.L., 1988. Applications of scanning electron microscopy in archaeology, in: Hawkes, P.W. (Ed.), *Advances in Electronics and Electron Physics*. Academic Press, pp. 357–380.

- Oms, X.F., 2017. La neolitització del nord-est de la Península Ibèrica. Soc. Catalana d'Arqueologia.
- Oms, X.F., Cebrià, A., Mestres, J., Morales, J.I., Pedro, M., Vergès, J.M., 2016a. Campaniforme i metal·lúrgia en un espai sepulcral del III mil·lenni cal. BC: la Cova de la Guineu (Font-rubí, Alt Penedès). *Jornades d'Arqueologia del Penedès* 109–116.
- Oms, X.F., Cebrià, A., Morales, J.I., Pedro, M., 2016b. Una inhumació cardial a la cova Foradada (Calafell, Baix Penedès), in: Esteve, X., Miró, C., Molist, M., Sabaté, G. (Eds.), *Jornades d'Arqueologia Del Penedès*. Institut d'Estudis Penedesencs, Vilafranca del Penedès, pp. 117–124.
- Oms, X.F., Esteve, X., Mestres, J., Martín, P., Martins, H., 2014. La neolitización del nordeste de la Península Ibérica: datos radiocarbónicos y culturales de los asentamientos al aire libre del Penedès. *Trab. Prehist.* 71, 42–55.
- Oms, X.F., Marsal, R., Yubero, M., Rubio Campillo, X., 2022. Early Neolithic pottery at El Mirador cave, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 329–343. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Oms, X.F., Martín, A., Esteve, X., Mestres, J., Morell, B., Subirà, M.E., Gibaja, J.F., 2016c. The Neolithic in Northeast Iberia: Chronocultural Phases and 14C. *Radiocarbon* 58, 291–309. <https://doi.org/DOI: 10.1017/RDC.2015.14>
- Oms, X.F., Mestres, J., Cebrià, A., Morales, J.I., Nadal, J., Pedro, M., Mendiola, S., Martín, P., Fullola, J.M., 2016d. La cova de la Guineu (Font-Rubí, Barcelona) i les relacions plana-muntanya al Penedès durant el neolític inicial. Del neolític a l'edat del bronze en el Mediterrani Occident. *Estud. en homenatge a Bernat Martí Oliver.*, Serv. d'Investigació Prehistòrica. *Trab. Var.* 97–107.
- Oms, X.F., Morales, J.I., Cebrià, A., Mestres, J., Fullola, J.M., 2019. Nuevas intervenciones en la Cova Gran y la Cova Freda de Montserrat (Collbató, Barcelona) casi 100 años después. *Trab. Prehist.* 76, 335–344.

- Oms, X.F., Petit, M.À., Allué, E., Bargalló, A., Blain, H.A., López-García, J.M., Martín, P., Morales, J.I., Pedro, M., Rodríguez, A., 2009. Estudio transdisciplinar de la fosa EE1 de la Cova Colomera (Prepirineo de Lleida): implicaciones domésticas y paleoambientales en el Bronce Antiguo del noreste de la Península Ibérica. *Trab. Prehist.* 66, 123–144.
- Organ, J.M., Teaford, M.F., Larsen, C.S., 2005. Dietary inferences from dental occlusal microwear at mission San Luis de Apalachee. *Am. J. Phys. Anthropol.* 128, 801–811. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20277>
- Osaba, B., Ruiz de Erenchun, B., 1978. Las cuevas prehistóricas burgalesas en relación con el Museo Arqueológico. *Kaite I. Grup. Espeleològic Edelweis. Caja Ahorr. Munic. Burgos* 71–82.
- Pascual, I., López-Onaindia, D., Gibaja, J.F., Subirà, M.E., 2018. La població neolítica barcelonina des de la morfologia dental. Dades de la població de la serralada prelitoral. *Cypsela* 23–41.
- Pearson, J.A., Hedges, R.E.M., Molleson, T.I., Özbek, M., 2010. Exploring the relationship between weaning and infant mortality: An isotope case study from Aşıklı Höyük and Çayönü Tepesi. *Am. J. Phys. Anthropol.* 143, 448–457. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21335>
- Pedro Pascual, M., 2012. Memòria de la intervenció arqueològica d'urgència a la Cova de l'Avi (Vallirana. Baix Llobregat). Sant Boi de Llobregat.
- Peña-Chocarro, L., Jordà, G.P., Mateos, J.M., Zapata, L., 2013. Neolithic plant use in the Western Mediterranean region: preliminary results from the AGRIVESTMED project. *Ann. di Bot.* 3, 135–141.
- Percher, A.M., Merceron, G., Nsi Akoue, G., Galbany, J., Romero, A., Charpentier, M.J.E., 2018. Dental microwear textural analysis as an analytical tool to depict individual traits and reconstruct the diet of a primate. *Am. J. Phys. Anthropol.* 165, 123–138.
- Pérez-Pérez, A., Espurz, V., de Castro, J.M.B., de Lumley, M.A., Turbón, D., 2003. Non-occlusal dental microwear variability in a sample of Middle and Late Pleistocene human populations from Europe and the Near East. *J. Hum. Evol.* 44, 497–513.

[https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(03\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(03)00030-7)

Pérez-Pérez, A., Lozano, M., Romero, A., Martínez, L.M., Galbany, J., Pinilla, B., Estebaranz-Sánchez, F., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Arsuaga, J.L., 2017. The diet of the first Europeans from Atapuerca. *Sci. Rep.* 7, 43319. <https://doi.org/10.1038/srep43319>

Pérez-Romero, A., Iriarte, E., Galindo-Pellicena, M.Á., García-González, R., Rodríguez, L., Castilla, M., Francés-Negro, M., Santos, E., Valdiosera, C., Arsuaga, J.-L., 2017. An unusual Pre-bell beaker copper age cave burial context from El Portalón de Cueva Mayor site (Sierra de Atapuerca, Burgos). *Quat. Int.* 433, 142–155.

Pérez-Pérez, A., 2004. Why buccal microwear? *Anthropologie* XLII/1, 1–3.

Pérez-Pérez, A., Lalueza-Fox, C., Turbón, D., 1994. Intraindividual and intragroup variability of buccal tooth striation pattern. *Am. J. Phys. Anthropol.* 94, 175–187. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330940203>

Pétrequin, P., Errera, M., Martin, A., Fábregas, R., Vaquer, J., 2012. Les haches en jades alpins pendant les Ve et IVe millénaires. L'exemple de l'Espagne et du Portugal dans une perspective Européenne. *Rubricatum Rev. del Mus. Gavà* 213–222.

Piperno, D.R., 2006. *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. Rowman Altamira.

Plasencia, F.J., 2016. *Bòbila Madurell-Mas Duran formas de vida en el Neolítico medio y final del nordeste peninsular*. Universitat Autònoma de Barcelona. <https://doi.org/9788449066696>

Plisson, H., Zotkina, L. V, 2015. From 2D to 3D at macro-and microscopic scale in rock art studies. *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.* 2, 102–119. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.06.002>

Polo-Cerdá, M., Romero, A., Casabó, J., De Juan, J., 2007. The Bronze Age burials from Cova Dels Blaus (Vall d'Uixó, Castelló, Spain): An approach to palaeodietary reconstruction through dental pathology, occlusal wear and buccal microwear patterns. *HOMO* 58, 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2006.10.005>

- Puech, P.-F., 1979. The Diet of Early Man: Evidence From Abrasion of Teeth and Tools. *Curr. Anthropol.* 20, 590–592. <https://doi.org/10.1086/202335>
- Puech, P.F., Prone, A., 1979. Experimental reproduction of the mechanical process of dental attrition by abrasion: paleoecological implications to fossil man. *C. R. Seances Acad. Sci. D.* 289, 895–898.
- Purnell, M., Seehausen, O., Galis, F., 2012. Quantitative three-dimensional microtextural analyses of tooth wear as a tool for dietary discrimination in fishes. *J. R. Soc. Interface* 9, 2225–2233. <https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0140>
- Purnell, M.A., Hart, P.J.B., Baines, D.C., Bell, M.A., 2006. Quantitative analysis of dental microwear in threespine stickleback: a new approach to analysis of trophic ecology in aquatic vertebrates. *J. Anim. Ecol.* 75, 967–977.
- Quam, R., Sanz, M., Daura, J., Robson Brown, K., García-González, R., Rodríguez, L., Dawson, H., Rodríguez, R.F., Gómez, S., Villaescusa, L., Rubio, Á., Yagüe, A., Ortega Martínez, M.C., Fullola, J.M., Zilhão, J., Arsuaga, J.L., 2015. The Neandertals of northeastern Iberia: New remains from the Cova del Gegant (Sitges, Barcelona). *J. Hum. Evol.* 81, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2015.02.002>
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Radini, A., Nikita, E., Buckley, S., Copeland, L., Hardy, K., 2017. Beyond food: The multiple pathways for inclusion of materials into ancient dental calculus. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 71–83. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23147>
- Ramdarshan, A., Blondel, C., Brunetière, N., Francisco, A., Gautier, D., Surault, J., Merceron, G., 2016. Seeds, browse, and tooth wear: a sheep perspective. *Ecol. Evol.* 6, 5559–5569.
- Ramírez-Pedraza, I., Díez-Canseco, C., Carbonell, E., Tornero, C., 2020. Roc de les Orenetes: reobertura 47 anys després, in: Burch, J., Buxó, R., Frigola, J., Fuertes, M., Manzano, S., Mataró, M. (Eds.), *Quinzenes Jornades D'Arqueologia de Les Comarques de Girona*. Generalitat de Catalunya, Museu d'Arqueologia de Catalunya, Universitat de Girona, Castelló d'Empúries, pp. 71–76.

- Ranjitkar, S., Turan, A., Mann, C., Gully, G.A., Marsman, M., Edwards, S., Kaidonis, J.A., Hall, C., Lekkas, D., Wetselaar, P., Brook, A.H., Lobbezoo, F., Townsend, G.C., 2017. Surface-Sensitive Microwear Texture Analysis of Attrition and Erosion. *J. Dent. Res.* 96, 300–307. <https://doi.org/10.1177/0022034516680585>
- Remolins, G., Gibaja, J.F., Allières, F., Fontanals, M., Martin, P., Masclans, A., Mazzucco, N., Mozota, M., Oliva, M., Oms, X., 2016. The Neolithic necropolis of La Feixa del Moro (Juberri, Andorra): new data on the first farming communities in the Pyrenees. *Comptes Rendus Palevol* 15, 537–554.
- Rensberger, J.M., 1978. Scanning electron microscopy of wear and occlusal events in some small herbivores. *Dev. Funct. Evol. Teeth* 415–438.
- Riera, S., Esteve, X., Nadal, J., 2007. Systèmes d’exploitation et anthropisation du paysage méditerranéen du Néolithique ancien au premier âge du Fer: le cas de la dépression de Penedès (nord-est de la péninsule ibérique). *Environnements Cult. à l’âge du Bronze en Eur. Occident.* 121–141.
- Rivals, F., Semperebon, G.M., 2006. A comparison of the dietary habits of a large sample of the Pleistocene pronghorn *Stockoceros onusrosagris* from the Papago Springs Cave in Arizona to the modern *Antilocapra americana*. *J. Vertebr. Paleontol.* 26, 495–500.
- Roca, N., 2012. Aproximació a les pràctiques funeràries al Neolític Final-Calcolític. Estudi de les peces dentàries de les capes 8 i 9 de Can Sadurní. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Rodríguez-Hidalgo, A., Morales, J.I., Cebrià, A., Courtenay, L.A., Fernández-Marchena, J.L., García-Argudo, G., Marín, J., Saladié, P., Soto, M., Tejero, J.-M., 2019. The Châtelperronian Neanderthals of Cova Foradada (Calafell, Spain) used imperial eagle phalanges for symbolic purposes. *Sci. Adv.* 5, eaax1984.
- Rodríguez-Rojas, F., Borrero-Lopez, O., Constantino, P.J., Henry, A.G., Lawn, B.R., 2020. Phytoliths can cause tooth wear. *J. R. Soc. Interface* 17, 20200613.
- Rodríguez García, L., García-González, R., Sanz, M., Daura, J., Quam, R., Fullola, J.M., Arsuaga, J.-L., 2011. A Neanderthal Lower Incisor from Cova del Gegant (Sitges,

- Barcelona, Spain). *Boletín la Real Soc. Española Hist. Nat. Sección geológica* 105, 25–30.
- Roig, J., Coll, J.M., Gibaja, J.F., Chambon, P., Villar, V., Ruiz, J., Terradas, X., Subirà, M.E., 2010. La necrópolis de Can Gambús-1 (Sabadell, Barcelona). Nuevos conocimientos sobre las prácticas funerarias durante el Neolítico medio en el Noreste de la Península Ibérica. *Trab. Prehist.* 67, 59–84.
- Rojo-Guerra, M., Peña-Chocarro, L., Royo, J.I., Tejedor-Rodríguez, C., García Martínez de Lagrán, Í., Arcusa, H., Garrido Pena, R., Moreno García, M., Mazzucco, N., Gibaja, J.F., 2013. Pastores trashumantes del Neolítico Antiguo en un entorno de alta montaña: secuencia crono-cultural de la Cova de Els Trocs (San Feliú de Veri, Huesca). *Boletín del Semin. Estud. Arte y Arqueol.* LXXIX 9–55.
- Rojo-Guerra, M., Royo, J.I., Garrido Pena, R., García Martínez de Lagrán, Í., Tejedor-Rodríguez, C., Arcusa, H., Peña-Chocarro, L., Moreno García, M., 2015. La Cueva de Els Trocs: un asentamiento del Neolítico antiguo junto al Pirineo axial, in: *Actas 5º Congreso Do Neolítico Peninsular. Universidade de Lisboa. Unidade de Arqueologia, Lisboa*, pp. 189–197.
- Rojo-Guerra, M.Á., Garrido-Pena, R., García-Martínez de Lagrán, I., Kunst, M., 2008. Los recintos del poblado del Neolítico Antiguo de la Revilla del Campo (Ambrona, Soria), in: *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006. Museo Arqueológico de Alicante-MARQ*, pp. 252–258.
- Rojo Guerra, M.Á., 2014. El Neolítico en las tierras del interior y septentrionales, in: *Almagro Gorbea, M. (Ed.), Protohistoria de La Península Ibérica: Del Neolítico a La Romanización. Fundación Atapuerca, Universidad de Burgos, Burgos*, pp. 43–70.
- Romero, A., 2005. *Ecología y subsistencia de las comunidades humanas prehistoricas en el Valle del Vinalopó (Alicante, España): El patrón de microdesgaste dental en la reconstrucción de la dieta [Doctoral Thesis]. Universidad de Alicante.*
- Romero, A., De Juan, J., 2012. SEM, teeth, and palaeoanthropology: the secret of ancient human diets, in: *Schatten, H. (Ed.), Scanning Electron Microscopy for the Life Sciences. Cambridge University Press*, pp. 236–256.

- Romero, A., De Juan, J., 2007. Intra-and interpopulation human buccal tooth surface microwear analysis: inferences about diet and formation processes. *Anthropologie* 45, 61–70.
- Romero, A., Galbany, J., Juan, D., Pe, A., De Juan, J., Pérez-Pérez, A., 2012. Brief communication: Short- and long-term In Vivo human buccal-dental microwear turnover. *Am. J. Phys. Anthropol.* 148, 467–472.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.22054>
- Romero, A., Martínez-Ruiz, N., Amorós, A., De Juan, J., 2004a. Microdesgaste dental in vivo: modelo preliminar para interpretar su formación y variabilidad en grupos humanos antiguos. *Rev. Española Antropol. Física* 24, 5–18.
- Romero, A., Martínez-Ruiz, N., De Juan, J., 2004b. Non-occlusal dental microwear in a Bronze-Age human sample from east Spain. *Anthropologie* 42, 65–70.
- Romero, A., Ramírez-Rozzi, F. V., De Juan, J., Pérez-Pérez, A., 2013. Diet-Related Buccal Dental Microwear Patterns in Central African Pygmy Foragers and Bantu-Speaking Farmer and Pastoralist Populations. *PLoS One* 8, e84804.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084804>
- Rose, J.C., Ungar, P.S., 1998. Gross dental wear and dental microwear in historical perspective, in: *Dental Anthropology*. Springer, pp. 349–386.
- Ruiz-Gálvez Priego, M., 2014. La “Iberia” Atlántica, in: Almagro Gorbea, M. (Ed.), *El Neolítico En La Península Ibérica y Su Contexto Europeo: Del Neolítico a La Romanización*. Fundación Atapuerca, Universidad de Burgos, Burgos, pp. 164–180.
- Ruiz-Zapatero, G., 1983. *Los campos de urnas del NE. de la Península Ibérica*. Universidad Complutense de Madrid.
- Ryan, A.S., 1979. Wear striation direction on primate teeth: A scanning electron microscope examination. *Am. J. Phys. Anthropol.* 50, 155–167.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.1330500204>
- Salazar-García, D.C., Fontanals-Coll, M., Goude, G., Subirà, M.E., 2018. “To ‘seafood’ or not to ‘seafood’?” An isotopic perspective on dietary preferences at the Mesolithic-

Neolithic transition in the Western Mediterranean. *Quat. Int.* 470, 497–510.

Saña, M., 2013. Domestication of animals in the Iberian Peninsula, in: Colledge, S., Conolly, J., Dobney, K., Manning, K., Shennan, S. (Eds.), *The Origins and Spread of Domestic Animals in Southwest Asia and Europe*. Routledge, New York, pp. 195–220. <https://doi.org/10.4324/9781315417653>

Saña, M., 1998. Arqueozoologia i faunes neolítiques a Catalunya. Problemàtica plantejada entorn a la dinàmica del procés de domesticació animal. *Cypsela Rev. prehistòria i protohistòria* 99–110.

Sánchez, J.C., Lloret, A.B., i Galter, J.T., 1999. La Draga, un poblado del Neolítico Antiguo en el lago de Banyoles (Girona, Catalunya). *SAGVNTVM Extra* 2, 315–321.

Sanjuán, L.G., Triviño, M.L., Schuhmacher, T.X., Wheatley, D., Banerjee, A., 2013. Ivory craftsmanship, trade and social significance in the southern Iberian Copper Age: the evidence from the PP4-Montelirio sector of Valencina de la Concepción (Seville, Spain). *Eur. J. Archaeol.* 16, 610–635.

Sanson, G.D., Kerr, S.A., Gross, K.A., 2007. Do silica phytoliths really wear mammalian teeth? *J. Archaeol. Sci.* 34, 526–531.

Sawaura, R., Kimura, Y., Kubo, M.O., 2022. Accuracy of dental microwear impressions by physical properties of silicone materials. *Front. Ecol. Evol.* 10, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.975283>

Scharlotta, I., Goude, G., Herrscher, E., Bazaliiskii, V.I., Weber, A.W., 2018. Shifting weaning practices in Early Neolithic Cis-Baikal, Siberia: New insights from stable isotope analysis of molar micro-samples 28, 579–598. <https://doi.org/10.1002/oa.2708>

Schmidt, C.W., 2001. Dental microwear evidence for a dietary shift between two nonmaize-reliant prehistoric human populations from Indiana. *Am. J. Phys. Anthropol.* 114, 139–145.

Schmidt, C.W., Beach, J.J., McKinley, J.I., Eng, J.T., 2015. Distinguishing dietary indicators of pastoralists and agriculturists via dental microwear texture analysis. *Surf.*

Topogr. Metrol. Prop. 4, 14008. <https://doi.org/10.1088/2051-672x/4/1/014008>

Schmidt, C.W., El Zaatari, S., Van Sessen, R., 2020. Dental microwear texture analysis in bioarchaeology, in: Schmidt, C., Watson, J.T. (Eds.), *Dental Wear in Evolutionary and Biocultural Contexts*. Academic Press, New York, pp. 143–168. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03552-8>

Schmidt, C.W., Remy, A., Van Sessen, R., Willman, J., Krueger, K., Scott, R., Mahoney, P., Beach, J., McKinley, J., D’Anastasio, R., 2019. Dental microwear texture analysis of *Homo sapiens sapiens*: Foragers, farmers, and pastoralists. *Am. J. Phys. Anthropol.* 169, 207–226. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23815>

Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods* 9, 671.

Schour, J., Massler, M., 1941. The development of human dentition. *J. Amer. Dent. Assoc.* 28.

Schuhmacher, T.X., Banerjee, A., 2012. Procedencia e intercambio de marfil en el Calcolítico de la Península Ibérica. *Rubricatum Rev. del Mus. Gavà* 289–298.

Schulz-Kornas, E., Stuhlträger, J., Clauss, M., Wittig, R.M., Kupczik, K., 2019. Dust affects chewing efficiency and tooth wear in forest dwelling Western chimpanzees (*Pan troglodytes verus*). *Am. J. Phys. Anthropol.* 169, 66–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.23808>

Schulz, E., Calandra, I., Kaiser, T.M., 2013. Feeding ecology and chewing mechanics in hoofed mammals: 3D tribology of enamel wear. *Wear* 300, 169–179.

Schulz, E., Calandra, I., Kaiser, T.M., 2010. Applying tribology to teeth of hoofed mammals. *Scanning* 32, 162–182.

Schulz, E., Kaiser, T.M., Calandra, I., Winkler, D.E., 2020. A brief history of quantitative wear analyses with an appeal for a holistic view on dental wear processes, in: Martin, T., Koenigswald, W. v. (Eds.), *Mammalian Teeth - Form and Function*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich, pp. 44–53.

Scott, R.M., Halcrow, S.E., 2017. Investigating weaning using dental microwear analysis:

- A review. *J. Archaeol. Sci. Reports* 11, 1–11.
- Scott, R.S., Teaford, M.F., Ungar, P.S., 2012. Dental microwear texture and anthropoid diets. *Am. J. Phys. Anthropol.* 147, 551–579. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22007>
- Scott, R.S., Ungar, P.S., Bergstrom, T.S., Brown, C.A., Childs, B.E., Teaford, M.F., Walker, A., 2006. Dental microwear texture analysis: technical considerations. *J. Hum. Evol.* 51, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2006.04.006>
- Scott, R.S., Ungar, P.S., Bergstrom, T.S., Brown, C.A., Grine, F.E., Teaford, M.F., Walker, A., 2005. Dental microwear texture analysis shows within-species diet variability in fossil hominins. *Nature* 436, 693–695.
- Sellen, D.W., Smay, D.B., 2001. Relationship between subsistence and age at weaning in “preindustrial” societies. *Hum. Nat.* 12, 47–87.
- Semprebon, G.M., Godfrey, L.R., Solounias, N., Sutherland, M.R., Jungers, W.L., 2004. Can low-magnification stereomicroscopy reveal diet? *J. Hum. Evol.* 47, 115–144. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2004.06.004>
- Shellis, R.P., Addy, M., 2014. The interactions between attrition, abrasion and erosion in tooth wear. *Erosive Tooth Wear* 25, 32–45.
- Sherratt, A., 1981. Plough and pastoralism: aspects of the secondary products revolution., in: Hodder, I., Isaac, G., Hammond, N. (Eds.), *Pattern of the Past: Studies in Honour of David Clarke*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 261–305.
- Simpson, G., 1933. Paleobiology of Jurassic mammals. *Palaeobiologica* 5, 127–158.
- Smith, R.J., 2018. The continuing misuse of null hypothesis significance testing in biological anthropology. *Am. J. Phys. Anthropol.* 166, 236–245.
- Solounias, N., Hayek, L.C., 1993. New methods of tooth microwear analysis and application to dietary determination of two extinct antelopes. *J. Zool.* 229, 421–445.
- Solounias, N., Semprebon, G., 2002. Advances in the reconstruction of ungulate ecomorphology with application to early fossil equids. *Am. Museum Novit.* 2002,

1–49.

Soriano, I., 2016. Les pràctiques funeràries durant el calcolític i el bronze antic i mitjà, in: Bosch, J., Borrel, M., Garrido, A.M. (Eds.), *La Fi És El Principi. Pràctiques Funeràries a La Catalunya Prehistòrica*. Museu d'Arqueologia de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Museu de Gavà, Gavà, pp. 79–101.

Soriano, I., 2013. *Metalurgia y Sociedad en el Nordeste de la Península Ibérica:(finales del IV–II milenio cal ANE)*. BAR Publishing.
<https://doi.org/10.30861/9781407311180>

Soriano, I., Amorós i Gurrera, J., 2014. El vaso geminado de Camp Cinzano (Vilafranca del Penedès, Barcelona) y las relaciones nordeste–levante–Valle del Ebro durante la Edad del Bronce. *Rev. d'arqueologia Ponent* 24, 9–25.

Sperber, G.H., 2020. Dental enamel. *South African Dent. J.* 75, 384–386.

Stojanowski, C.M., Johnson, K.M., Paul, K.S., Carver, C.L., 2015. Indicators of idiosyncratic behavior in the dentition. *A companion to Dent. Anthropol.* 377–395.

Strait, S.G., 1993. Molar microwear in extant small-bodied faunivorous mammals: An analysis of feature density and pit frequency. *Am. J. Phys. Anthropol.* 92, 63–79.

Szécsényi-Nagy, A., Roth, C., Brandt, G., Rihuete-Herrada, C., Tejedor-Rodríguez, C., Held, P., García-Martínez-de-Lagrán, Í., Arcusa Magallón, H., Zesch, S., Knipper, C., Bánffy, E., Friederich, S., Meller, H., Bueno Ramírez, P., Barroso Bermejo, R., de Balbín Behrmann, R., Herrero-Corral, A.M., Flores Fernández, R., Alonso Fernández, C., Jiménez Echevarria, J., Rindlisbacher, L., Oliart, C., Fregeiro, M.-I., Soriano, I., Vicente, O., Micó, R., Lull, V., Soler Díaz, J., López Padilla, J.A., Roca de Togores Muñoz, C., Hernández Pérez, M.S., Jover Maestre, F.J., Lomba Maurandi, J., Avilés Fernández, A., Lillios, K.T., Silva, A.M., Magalhães Ramalho, M., Oosterbeek, L.M., Cunha, C., Waterman, A.J., Roig Buxó, J., Martínez, A., Ponce Martínez, J., Hunt Ortiz, M., Mejías-García, J.C., Pecero Espín, J.C., Cruz-Auñón Briones, R., Tomé, T., Carmona Ballester, E., Cardoso, J.L., Araújo, A.C., Liesau von Lettow-Vorbeck, C., Blasco Bosqued, C., Ríos Mendoza, P., Pujante, A., Royo-Guillén, J.I., Esquembre Beviá, M.A., Dos Santos Goncalves, V.M., Parreira, R., Morán Hernández, E.,

- Méndez Izquierdo, E., Vega y Miguel, J., Menduiña García, R., Martínez Calvo, V., López Jiménez, O., Krause, J., Pichler, S.L., Garrido-Pena, R., Kunst, M., Risch, R., Rojo-Guerra, M.A., Haak, W., Alt, K.W., 2017. The maternal genetic make-up of the Iberian Peninsula between the Neolithic and the Early Bronze Age. *Sci. Rep.* 7, 15644. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15480-9>
- Tarrús i Galter, J., 2008. La Draga (Banyoles, Catalonia), an Early Neolithic Lakeside Village in Mediterranean Europe. *Catalan Hist. Rev.* 17–33.
- Tausch, J., Kullmer, O., Bromage, T.G., 2015. A new method for determining the 3D spatial orientation of molar microwear. *Scanning* 37, 446–457.
- Teaford, M.F., 2007. Dental microwear and paleoanthropology: cautions and possibilities, in: *Dental Perspectives on Human Evolution: State of the Art Research in Dental Paleoanthropology*. Springer, pp. 345–368.
- Teaford, M.F., 1994. Dental microwear and dental function. *Evol. Anthropol. Issues, News, Rev.* 3, 17–30. <https://doi.org/10.1002/evan.1360030107>
- Teaford, M.F., Glander, K.E., 1996. Dental Microwear and Diet in a Wild Population of Mantled Howling Monkeys (*Alouatta palliata*), in: Norconk, M.A., Rosenberger, A.L., Garber, P.A. (Eds.), *Adaptive Radiations of Neotropical Primates*. Springer US, Boston, MA, pp. 433–449. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8770-9_25
- Teaford, M.F., Larsen, C.S., Pastor, R.F., Noble, V.E., 2001. Pits and scratches: microscopic evidence of tooth use and masticatory behavior in La Florida, in: Larsen, C.S. (Ed.), *Bioarchaeology of Spanish Florida: The Impact of Colonialism*. University Press of Florida, pp. 82–112.
- Teaford, M.F., Lytle, J.D., 1996. Brief communication: Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: A case study involving stone-ground maize. *Am. J. Phys. Anthropol.* 100, 143–147. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199605\)100:1<143::AID-AJPA13>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199605)100:1<143::AID-AJPA13>3.0.CO;2-0)
- Teaford, M.F., Oyen, O.J., 1989. In vivo and in vitro turnover in dental microwear. *Am. J. Phys. Anthropol.* 80, 447–460.

- Teaford, M.F., Robinson, J.G., 1989. Seasonal or ecological differences in diet and molar microwear in *Cebus nigrivittatus*. *Am. J. Phys. Anthropol.* 80, 391–401.
- Teaford, M.F., Ross, C.F., Ungar, P.S., Vinyard, C.J., Laird, M.F., 2021. Grit your teeth and chew your food: Implications of food material properties and abrasives for rates of dental microwear formation in laboratory *Sapajus apella* (Primates). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 583, 110644.
- Teaford, M.F., Tylenda, C.A., 1991. A New Approach to the Study of Tooth Wear. *J. Dent. Res.* 70, 204–207. <https://doi.org/10.1177/00220345910700030901>
- Teaford, M.F., Ungar, P.S., Taylor, A.B., Ross, C.F., Vinyard, C.J., 2020. The dental microwear of hard-object feeding in laboratory *Sapajus apella* and its implications for dental microwear formation. *Am. J. Phys. Anthropol.* 171, 439–455.
- Teaford, M.F., Ungar, P.S., Taylor, A.B., Ross, C.F., Vinyard, C.J., 2017. In Vivo Rates of Dental Microwear Formation in Laboratory Primates Fed Different Food Items. *Biosurface and Biotribology* 3, 166.
- Teira Brión, A., Amado, E., 2014. Molinos fuera de lugar. Fronteras y contextos de la molienda en la arqueología de la Edad del Hierro del noroeste ibérico.
- Tejedor-Rodríguez, C., Moreno-García, M., Tornero, C., Hoffmann, A., García-Martínez de Lagrán, Í., Arcusa-Magallón, H., Garrido-Pena, R., Royo-Guillén, J.I., Díaz-Navarro, S., Peña-Chocarro, L., Alt, K.W., Rojo-Guerra, M., 2021. Investigating Neolithic caprine husbandry in the Central Pyrenees: Insights from a multi-proxy study at Els Trocs cave (Bisaurri, Spain). *PLoS One* 16, e0244139.
- Tereso, J.P., Bettencourt, A.M.S., Ramil-Rego, P., Teira-Brión, A., López-Dóriga, I., Lima, A., Almeida, R., 2016. Agriculture in NW Iberia during the Bronze Age: A review of archaeobotanical data. *J. Archaeol. Sci. Reports* 10, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.011>
- Turner, C.G., 1979. Dental anthropological indications of agriculture among the Jomon people of central Japan. X. Peopling of the Pacific. *Am. J. Phys. Anthropol.* 51, 619–635.

- Ungar, P., 1994. Incisor microwear of Sumatran anthropoid primates. *Am. J. Phys. Anthropol.* 94, 339–363. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330940305>
- Ungar, P.S., 2018. Dental microwear, in: Wenda, T., Cartmill, M., Dufour, D.L., Larsen, C.S., O'Rourke, D.H., Rosenberg, K., Strier, K.B. (Eds.), *The International Encyclopedia of Biological Anthropology*. John Wiley & Sons, pp. 1–4.
- Ungar, P.S., 2015. Mammalian dental function and wear: a review. *Biosurface and Biotribology* 1, 25–41.
- Ungar, P.S., 2011. Dental evidence for the diets of Plio-Pleistocene hominins. *Am. J. Phys. Anthropol.* 146, 47–62. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21610>
- Ungar, P.S., 1995. A semiautomated image analysis procedure for the quantification of dental microwear II. *Scanning* 17, 57–59.
- Ungar, P.S., Brown, C.A., Bergstrom, T.S., Walker, A., 2003. Quantification of Dental Microwear by Tandem Scanning Confocal Microscopy and Scale-Sensitive Fractal Analyses. *Scanning J. Scanning Microsc.* 25, 185–193. <https://doi.org/10.1002/sca.4950250405>
- Ungar, P.S., Grine, F.E., Teaford, M.F., 2008a. Dental microwear and diet of the Plio-Pleistocene hominin *Paranthropus boisei*. *PLoS One* 3, e2044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002044>
- Ungar, P.S., Livengood, S. V, Crittenden, A.N., 2019. Dental microwear of living Hadza foragers. *Am. J. Phys. Anthropol.* 169, 356–367.
- Ungar, P.S., Scott, R.S., Scott, J.R., Teaford, M., 2008b. Dental microwear analysis: historical perspectives and new approaches, in: Irish, J.D., Nelson, G.C. (Eds.), *Technique and Application in Dental Anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 389. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542442>
- Ungar, P.S., Sponheimer, M., 2011. The diets of early hominins. *Science (80-.)*. 334, 190–193.
- Ungar, P.S., Teaford, M.F., 1996. Preliminary examination of non-occlusal dental microwear in anthropoids: Implications for the study of fossil primates. *Am. J. Phys.*

Anthropol. 100, 101–113. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199605\)100:1<101::AID-AJPA10>3.0.CO;2-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199605)100:1<101::AID-AJPA10>3.0.CO;2-4)

Utrilla, P., Lorenzo, J.I., Baldellou, V., Sopena, M.C., Ayuso, P., 2008. Enterramiento masculino en fosa, cubierto de cantos rodados, en el Neolítico antiguo de la Cueva de Chaves, in: Hernández Pérez, M.S., Soler Díaz, J., López Padilla, J.A. (Eds.), IV Congreso Del Neolítico Peninsular. Museo Arqueológico de Alicante, Alicante, pp. 131–140.

Valdiosera, C., Günther, T., Vera-Rodríguez, J.C., Ureña, I., Iriarte, E., Rodríguez-Varela, R., Simões, L.G., Martínez-Sánchez, R.M., Svensson, E.M., Malmström, H., Rodríguez, L., Bermúdez de Castro, J.-M., Carbonell, E., Alday, A., Hernández Vera, J.A., Götherström, A., Carretero, J.-M., Arsuaga, J.L., Smith, C.I., Jakobsson, M., 2018. Four millennia of Iberian biomolecular prehistory illustrate the impact of prehistoric migrations at the far end of Eurasia. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 3428–3433. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717762115>

Valera, A.C., Silva, A.M., Romero, J.E.M., 2014. The temporality of Perdigões enclosures: absolute chronology of the structures and social practices. *SPAL-Revista Prehist. y Arqueol.* 11–26.

Valkenburgh, B. van, Teaford, M.F., Walker, A., 1990. Molar microwear and diet in large carnivores: inferences concerning diet in the sabretooth cat, *Smilodon fatalis*. *J. Zool.* 222, 319–340.

van Casteren, A., Lucas, P.W., Strait, D.S., Michael, S., Bierwisch, N., Schwarzer, N., Al-Fadhlah, K.J., Almusallam, A.S., Thai, L.A., Saji, S., 2018. Evidence that metallic proxies are unsuitable for assessing the mechanics of microwear formation and a new theory of the meaning of microwear. *R. Soc. Open Sci.* 5, 171699.

van Casteren, A., Strait, D.S., Swain, M. V., Michael, S., Thai, L.A., Philip, S.M., Saji, S., Al-Fadhlah, K., Almusallam, A.S., Shekeban, A., 2020. Hard plant tissues do not contribute meaningfully to dental microwear: evolutionary implications. *Sci. Rep.* 10, 1–9.

Vaquer, J., Martín, A., Pétrequin, P., Pétrequin, A.-M., Errera, M., 2012. Les haches

alpines dans les sépultures du Néolithique moyen pyrénéen: importations et influences. *JADE. Gd. Haches Alpines Du Néolithique Eur. Ve IVE Millénaires Av. J.-C.*

Vaquero, M., Alonso-Fernández, E.S., 2020. Technological changes and chrono-cultural boundaries: The role of expedient technologies in the upper paleolithic. *J. Archaeol. Sci. Reports* 31, 102346.

Vaquero, M., Fernández, S.A., Fernández, C.A., Iglesias, A.A., Blain, H.A., Fábregas, R., Merino, G.G., de Lombera Hermida, A., López-García, J.M., Merino, C.L., 2009. Nuevas fechas radiométricas para la Prehistoria del noroeste de la Península Ibérica: la cueva de Valdavara (Becerreá, Lugo). *Trab. Prehist.* 66, 99–113.

Ventresca Miller, A., Hanks, B.K., Judd, M., Epimakhov, A., Razhev, D., 2017. Weaning practices among pastoralists: New evidence of infant feeding patterns from Bronze Age Eurasia. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 409–422. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23126>

Vera, J.A., 2004. *Geología de España*. Instituto Geológico y Minero de España. Sociedad Geológica de España, Madrid.

Vergès, J.M., 2022. Funerary practices at El Mirador cave, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 131–146. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>

Vergès, J.M., Allué, E., Angelucci, D., Burjachs, F., Carrancho, A., Cebrià, A., Expósito, I., Fontanals, M., Moral, S., Rodríguez, A., 2008. Los niveles neolíticos de la cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): nuevos datos sobre la implantación y el desarrollo de la economía agropecuaria en la submeseta norte, in: Hernández Pérez, M.S., Soler Díaz, J., López Padilla, J.A. (Eds.), *IV Congreso Del Neolítico Peninsular*. Museo Arqueológico de Alicante, Alicante, pp. 418–427.

Vergès, J.M., Allué, E., Angelucci, D.E., Cebrià, A., Díez, C., Fontanals, M., Manyanós, A., Montero, S., Moral, S., Vaquero, M., 2002. La Sierra de Atapuerca durante el Holoceno: datos preliminares sobre las ocupaciones de la Edad del Bronce en la

- Cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos). *Trab. Prehist.* 59, 107–126.
- Vergès, J.M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J.I., Martín, P., Carrancho, Á., Expósito, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., 2016. El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. *Quat. Int.* 414, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.044>
- Vergès, J.M., Fontanalls, M., Vaquero, M., Zaragiza, J., Angelucci, D.E., Moral, S., Cebrià, A., Morales, J.I., Rodríguez, A., Martín, P., Allué, E., 2022. El Mirador cave: biogeographical setting and site description, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave*. Springer Nature, Switzerland, pp. 13–34. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>
- Vergès, J.M., Morales, J.I., 2014. The gigapixel image concept for graphic SEM documentation. Applications in archeological use-wear studies. *Micron* 65, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2014.04.009>
- Vergès, J.M., Munoz, L., Pedro, M., Bargalló, A., Fontanals, M., Morales, J.I., Ollé, A., Alcover, J.A., Allué, E., Blain, H.A., 2017. La cova dels Galls Carboners (Mont-ral, Alt Camp). *Bulletin la R. Soc. Arqueol. Tarragona* 38–39, 17–43.
- Villalba-Mouco, V., Bea, M., Montes, L., Salazar-García, D.C., 2020. Mobility across the pre-Pyrenean mountain ranges during the Chalcolithic through strontium isotopes in human enamel: La Cueva de los Cristales (Sarsa de Surta, Huesca, Spain). *J. Archaeol. Sci. Reports* 31, 102343.
- Villalba-Mouco, V., Sarasketa-Gartzia, I., Utrilla, P., Oms, X.F., Mazo, C., Mendiola, S., Cebrià, A., Salazar-García, D.C., 2018a. Stable isotope ratio analysis of bone collagen as indicator of different dietary habits and environmental conditions in northeastern Iberia during the 4th and 3rd millennium cal BC. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 3931–3947. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0657-z>
- Villalba-Mouco, V., Utrilla, P., Laborda, R., Lorenzo, J.I., Martínez-Labarga, C., Salazar-García, D.C., 2018b. Reconstruction of human subsistence and husbandry strategies from the Iberian Early Neolithic: A stable isotope approach. *Am. J. Phys.*

Anthropol. 167, 257–271. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23622>

Villalobos García, R., Odriozola, C.P., 2017. Circulación de hachas prehistóricas de jade alpino en el centro-occidente de la Península Ibérica. ¿ Modelo “directional tradeoff “down-the-line/prestige chain”? Munibe Antropol. 68, 197–216.

Villalobos García, R., Odriozola, C.P., 2016. Organizing the production of variscite personal ornaments in later prehistoric Iberia: the mines of Aliste and the production sites of Quiruelas de Vidriales (Zamora, Spain). Eur. J. Archaeol. 19, 631–651.

Viñas-Caron, L.C., Aguilera, I., Jakob, T., Walser, J.W., Spindler, L., Fontanals-Coll, M., Alexander, M., 2022. Human and animal subsistence in northern Iberia during the Late Chalcolithic-Bronze Age: biomolecular insights from Muela de Borja, Ebro Valley. Archaeol. Anthropol. Sci. 14, 1–20.

Walker, A., 1979. SEM analysis of microwear and its correlation with dietary patterns. Am. J. Phys. Anthropol. 50, 489.

Walker, A., Hoeck, H.N., Perez, L., 1978. Microwear of mammalian teeth as an indicator of diet. Science (80-). 201, 908–910.

Walker, A., Teaford, M., 1989. Inferences from quantitative analysis of dental microwear. Folia Primatol. 53, 177–189.

Walker, P.L., 1976. Wear striations on the incisors of cercopithecoid monkeys as an index of diet and habitat preference. Am. J. Phys. Anthropol. 45, 299–307.

Waterman, A.J., 2012. Marked in life and death: identifying biological markers of social differentiation in Late Prehistoric Portugal. Iowa.

Waterman, A.J., Tykot, R.H., Silva, A.M., 2016. Stable isotope analysis of diet-based social differentiation at late Prehistoric collective burials in south-western Portugal. Archaeometry 58, 131–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/arcm.12159>

Weber, K., Winkler, D.E., Schulz-Kornas, E., Kaiser, T.M., Tütken, T., 2022. Post-mortem enamel surface texture alteration during taphonomic processes—do experimental approaches reflect natural phenomena? PeerJ 10, e12635.

- Weber, K., Winkler, D.E., Schulz-Kornas, E., Kaiser, T.M., Tütken, T., 2021. The good, the bad and the ugly—A visual guide for common post-mortem wear patterns in vertebrate teeth. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 578, 110577.
- White, T., Black, M., Folkens, P., 2011. *Human Osteology*, 3rd editio. ed. Academic Press, Burlington.
- Wickham, H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Williams, F.L., Schmidt, C.W., Droke, J.L., 2020. The diet of Late Neolithic farmers of the Belgian Meuse basin inferred using dental microwear texture analysis. *Anthropol. Praehist.* 129/2018, 73–86.
- Willman, J.C., Ginter, B., Hernando, R., Lozano, M., Sobczyk, K., Stefański, D., Szczepanek, A., Wertz, K., Wojtal, P., Zając, M., 2019. Paleobiology and Taphonomy of a Middle Paleolithic Neandertal Tooth from Ciemna Cave, Southern Poland. *J. Paleolit. Archaeol.* 2, 359–377. <https://doi.org/10.1007/s41982-019-00029-1>
- Willman, John C, Hernando, R., Matu, M., Crevecoeur, I., 2020. Biocultural diversity in Late Pleistocene/Early Holocene Africa: Olduvai Hominid 1 (Tanzania) biological affinity and intentional body modification. *Am. J. Phys. Anthropol.* 172, 664–681. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24007>
- Willman, John Charles, Lozano, M., Hernando, R., Vergès, J.M., 2020. Gigapixel-like imaging strategies for dental anthropology: Applications for scientific communication and training in digital image analysis. *Quat. Int.* 569, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.027>
- Winkler, D.E., Schulz-Kornas, E., Kaiser, T.M., De Cuyper, A., Clauss, M., Tütken, T., 2019. Forage silica and water content control dental surface texture in guinea pigs and provide implications for dietary reconstruction. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 116, 1325–1330.
- Wood, B., 2013. Gritting their teeth. *Nature* 493, 486–487. <https://doi.org/10.1038/493486a>

Xia, J., Zheng, J., Huang, D., Tian, Z.R., Chen, L., Zhou, Z., Ungar, P.S., Qian, L., 2015. New model to explain tooth wear with implications for microwear formation and diet reconstruction. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 10669–10672.

Yustos, M., Lozano, M., Morales, J.I., Iglesias-Bexiga, J., Vergès, J.M., 2021. Degenerative joint disease in the Chalcolithic population of El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The vertebral column. *Int. J. Osteoarchaeol.* 31, 162–175.

Zapata, L., Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordá, G., Stika, H.-P., 2004. Early Neolithic Agriculture in the Iberian Peninsula. *J. World Prehistory* 18, 283–325.
<https://doi.org/10.1007/s10963-004-5621-4>

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Fases del ciclo masticatorio. a) Primer ciclo constituido por mordidas incisales. b) Masticación rotatoria usando la dentición posterior. c) Durante la masticación, el bolo alimenticio se reduce a trozos más pequeños mediante tres procesos masticatorios diferentes: Cizallamiento (fase I); Machacamiento (fase I) y Trituración (fase II). Figuras a) y b) modificadas de www.keeptalkingspeech.com; c) adaptada de Fiorenza et al., (2015b)..... 8

Figura 2.2 Ilustración simplificada de los movimientos masticatorios junto con las facetas de desgaste implicadas. El ciclo comienza en la figura inferior derecha, continúa con la oclusión céntrica (faceta 9) en la figura superior para finalizar con la figura inferior izquierda. La fase I incluye las facetas bucales (3 y 4) y linguales (5 y 6), mientras que la fase II consiste en la faceta 9 oclusal. Figura modificada de (Tausch et al., 2015). 9

Figura 2.3 Descripción topográfica del análisis fractal sensible a escala (SSFA). En a, b, c se visualiza la comparación de la rugosidad de una superficie mediante las reconstrucciones con mosaicos virtuales utilizando triángulos a diferentes escalas. Créditos: (Scott et al., 2006). 16

Figura 2.4 Modelo de formación del microdesgaste dental según (Ungar and Sponheimer, 2011). Los alimentos duros son aplastados entre los dientes opuestos creando pits que causan superficies complejas e isotrópicas. Mientras que los alimentos blandos se deslizan entre los dientes causando estrías paralelas que crean superficies más simples y anisotrópicas. 18

Figura 2.5 Causas de la formación del microdesgaste dental según el enfoque de las propiedades mecánicas del alimento. Una partícula rígida produce abrasión o frotamiento dependiendo del ángulo de ataque (β). a) Frotamiento la superficie que no produce pérdida de esmalte, b) Abrasión elimina el esmalte y c) Cuando la partícula se desliza por la faceta del esmalte, la fuerza de deslizamiento (F) causa abrasión cuando $\beta > 40^\circ$ y causa frotamiento cuando $\beta < 40^\circ$. Créditos: (Lucas et al., 2013). 19

Figura 2.6 Fases cronoculturales del Holoceno en el Noreste de la Península Ibérica. * Las cronologías en cal. BC han sido definidas según (Oms et al., 2016c; Soriano, 2013). 25

Figura 4.1 Mapa geográfico de la Península Ibérica mostrando la localización de los yacimientos incluidos en este estudio. Yacimientos arqueológicos: 1. Cova de l'Avi; 2. Can Sadurní; 3. Cova de la Guineu; 4. Cova Foradada; 5. Cueva de El Mirador; 6. Cova del Trader; 7. Roc de les Orenetes; 8. Cova del Gegant; 9. Galls Carboners; 10. Cova de Valdavara. 39

- Figura 4.2** Planta y secciones transversales de la Cova de l'Avi (a) con la zona de procedencia de los restos humanos (en azul). b) Sección longitudinal de la cueva. c) Caverna vista desde el exterior. Imágenes: J. Daura. 42
- Figura 4.3** Superficie de excavación de la Cova de Can Sadurní (a) junto con la planta de la cueva, señalando la zona de excavación en extensión y el sondeo estratigráfico. Imágenes: Ayuntamiento de Begues (a), Manuel Edo (b)..... 45
- Figura 4.4** Entrada de la Cova de la Guineu (a) junto con la planta y la sección estratigráfica de la cueva (b) y (c). En azul, el nivel perteneciente a los restos humanos del sepulcro colectivo. Imágenes: a) Raquel Hernando; b) y c) Xavier Oms. 50
- Figura 4.5** a) Vista de la entrada inferior de la Cova Foradada; b) Vista frontal de la morfología interna de la cueva a partir de un modelo de fotogrametría coloreado por la elevación relativa. Se muestran las dos entradas separadas por la rampa de travertino y los dos sectores excavados; c) Perfil estratigráfico del yacimiento (Morales et al., 2019). 54
- Figura 4.6** a) Localización de la entrada a la cueva de El Mirador; b) Vista superior de la planta de la cueva donde se señalan los tres sondeos y c) estratigrafía del sector MIR con las principales unidades cronoculturales. Imágenes: J.M. Vergès. 58
- Figura 4.7** Fotografía de los restos humanos del sepulcro colectivo Calcolítico del sector 200; b) Detalle de una concha de *Mytilus* asociado al sepulcro colectivo como ajuar; c) Enterramiento individual del Bronce Medio situado en el saliente rocoso de la pared de la cueva (sector 100); d) Restos canibalizados del Bronce Inicial. Fotografías: J. M. Vergès. 61
- Figura 4.8** a) Vista de la Cova del Trader; b) Perfil estratigráfico del yacimiento. Imágenes: J.I. Morales. 64
- Figura 4.9** a) Entrada a la cueva Roc de les Orenetes; b) Vista de la planta de la excavación durante los años 2019, 2020 y 2021. Imágenes: I. Ramírez..... 68
- Figura 4.10** a) Vista frontal de la entrada de la Cova del Gegant; b) Planta de la cueva mostrando los diferentes sectores (Cuadro indicando la zona de procedencia de los restos humanos) ; c) Detalle de la planta indicando la procedencia de los restos humanos estudiados en esta tesis (nivel XXV). Imágenes: J. Daura..... 71
- Figura 4.11** Perfil estratigráfico de la Cova del Gegant. Figura: Daura et al., (2021)..... 74
- Figura 4.12** a) y b) Vista de la entrada a la Cova de Galls Carboners y dentro de la caverna; c) Planta de la cueva con los sectores excavados (en azul, el nivel II-2-c con la procedencia de los restos humanos); d) Detalle de los restos humanos; e) Detalle de las cuentas de collar. Imágenes: J. M. Vergès. 77
- Figura 4.13** Vista de la entrada a Cova de Valdavara con sus diferentes sectores: Valdavara 1, Valdavara 1-2 y Valdavara 2. Fotografía: M. Vaquero. 82

Figura 5.1 Atlas del desarrollo y erupción de los dientes humanos. La flecha indica el punto de partida. Los dientes deciduos en gris y los permanentes en verde (AlQahtani et al., 2010).	87
Figura 5.2 Tres imágenes de la misma superficie de esmalte dental (GN89-D1-343) tratado con diferentes tipos de limpiezas al microscopio óptico. a) Esmalte dental con restos de grasa; b) Esmalte dental tratado con alcohol al 95%; c) Esmalte dental tratado con acetona al 99%.....	88
Figura 5.3 Proceso de realización de moldes de las mandíbulas de Roc de les Orenetes (a). Detalle del proceso en la superficie bucal (b) y el la oclusal (c).....	90
Figura 5.4 Micrografías obtenidas con el microscopio óptico mostrando la misma superficie dental (M1LR Individuo 9 El Mirador) de réplicas de alta resolución hechas con Feropur (a) y epoxy (b).	91
Figura 5.5 Proceso de preparación de las réplicas de epoxy de alta resolución. a) y b) Pesado de las cantidades de los componentes A y B; c) Mezclado de ambas; d) Vertido de la epoxy al molde dentro de la campana extractora.....	92
Figura 5.6 Microscopio electrónico de barrido ambiental FEI Quanta 600, ubicado en el Servicio de Recursos Científicos y Técnicos de la Universidad Rovira i Virgili (Tarragona). Créditos: Marina Lozano.....	94
Figura 5.7 Microscopio óptico ZEISS Axioscope A1, ubicado en las instalaciones del Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES), en Tarragona. Créditos: Miguel Ángel Moreno.	96
Figura 5.8 Esquema de la distribución de las estrías en la superficie bucal del diente dependiendo de su orientación, categorizadas en ángulos de 45°: horizontales (H), mesiodistales (MD), verticales (V) y distomesiales (DM). Imagen modificada de (Pérez-Pérez et al., 1994).	98
Figura 5.9 Microscopio láser confocal Sensofar S Neox junto con el software SensoSCAN® 6.2, ubicado en el PACEA (Universidad de Burdeos, Francia).....	100
Figura 5.10 Representaciones esquemáticas de superficies con diferentes texturas dentales. Imagen adaptada de Scott et al (2006).	102
Figura 5.11 Imágenes obtenidas a través del microscopio electrónico de barrido de las superficies dentales no aptas para el estudio del microdesgaste dental: a) Superficie dental sucia; b) Réplica defectuosa; c) Daño postdeposicional: superficie craquelada y d) Superficie con periquimatias.	104
Figura 5.12 Imágenes obtenidas a través del microscopio óptico de las superficies dentales no aptas para el estudio del microdesgaste dental: a) Superficie dental sucia; b) Réplica defectuosa; c) Daño postdeposicional y d) Superficie con periquimatias. Escala 100 µm.....	105

Figura 5.13 Imágenes obtenidas a través del microscopio láser confocal de las superficies dentales no aptas para el estudio del microdesgaste dental: a) Superficie dental sucia; b) Réplica defectuosa; c) Daño postdeposicional y d) Superficie con periquimatis. . 106

Figura 6.1 Imágenes ilustrativas del microdesgaste bucal y el posterior conteo de estrías de diferentes individuos de Cova de l'Avi, Can Sadurní y Cova de la Guineu . Los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 μm) con un objetivo de 10x. Escala 100 μm 172

Figura 6.2 Imágenes ilustrativas del microdesgaste bucal y su posterior conteo de estrías de diferentes individuos de Cova Foradada, El Mirador y Cova del Trader. Los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 μm) con un objetivo de 10x. Escala 100 μm 173

Figura 6.3 Imágenes ilustrativas del microdesgaste bucal y su posterior conteo de estrías de diferentes individuos de Roc de les Orenetes, Cova del Gegant y Galls Carboners. Los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 μm) con un objetivo de 10x. Escala 100 μm 174

Figura 6.4 Boxplot con la distribución de las variables a) BTN: Número total de estrías y b) XT: Longitud de las estrías (μm) para los grupos analizados. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. Los triángulos rojos muestran las medias y las líneas horizontales muestran la mediana. 178

Figura 6.5 Boxplot con la distribución de a) los Índices verticales (NV/BTN) y b) los índices horizontales (NH/BTN) para los grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. Los triángulos rojos muestran las medias y las líneas horizontales muestran la mediana. 179

Figura 6.6 Boxplot con la distribución de la anchura de las estrías (W) para los grupos estudiados. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. Los triángulos rojos muestran las medias y las líneas horizontales muestran la mediana. 180

Figura 6.7 Análisis de componentes principales (PCA) representando las variables con diferencias significativas (BTN, XT, W) para los diferentes grupos. El componente 1 explica un 45.8% de la varianza, mientras que el componente 2 explica el 30.3% de la varianza. Las elipses muestran el 95% de confianza. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners 183

Figura 7.1 Figura comparativa del patrón de microdesgaste dental del individuo de Mas Trader (MT17-I17-197) a través de a) microscopio electrónico de barrido y b) microscopio óptico. Los aumentos del SEM son de 100x en el modo de pantalla múltiple

(campo de visión horizontal: 1490 μm), los aumentos del OM son de 100x (campo de visión horizontal: 1467 μm) con un objetivo de 10x. 187

Figura 7.2 Vistas 3D y fotosimulaciones de DMTA en la superficie bucal (a) del individuo de Cova de la Guineu (GN90-D1-1564) y oclusal (b) de un individuo de Cova de la Guineu (GN89-REM-3592). 191

Figura 7.3 Comparación del patrón de microdesgaste bucal del individuo de Cova de la Guineu (GN89-D1-343) a través de diferentes tipos de microscopía. 193

Figura 7.4 Imágenes mostrando dos casos extremos de la anchura de las estrías. a) Estrías finas en un Individuo de Cova de la Guineu y b) Estrías anchas en un Individuo de Cova del Gegant..... 202

Figura 7.5 Imágenes de microdesgaste en la superficie bucal. a) Individuo de El Mirador con un alto número de estrías, b) Individuo de Galls Carboners con un bajo número de estrías. 203

Figura 7.6 Ortofoto de la Sierra del Garraf (Barcelona) con la localización de la Cova de l'Avi (1) y la Cova de Can Sadurní (2). Escala 1:22000..... 214

Figura 7.7 Ortofoto de la Sierra de Atapuerca (Burgos) con la localización de El Portalón de Cueva Mayor (1) y la Cueva de El Mirador (2). Escala 1:22000..... 215

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Dataciones radiocarbónicas de los conjuntos estudiados en esta trabajo (cal. BP: Dataciones calibrada antes del presente (Before Present); cal. BC: Dataciones calibrada antes de Cristo (Before Christ).....	41
Tabla 6.1 Número de individuos analizados totales de cada grupo y su muestra final con preservación del microdesgaste bucal. Entre paréntesis se muestra la selección de dientes para cada grupo.	171
Tabla 6.2 Estadística descriptiva para las variables de microdesgaste bucal por grupo (CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners). BTN: Número total de estrías; XT: Longitud de las estrías; NV/BTN: Índice vertical; NH/BTN: Índice Horizontal; W: Anchura de las estrías. RIQ: Rango intercuartil; SE: Error estándar; SD: Desviación estándar.	177
Tabla 6.3 Test estadístico Shapiro-Wilk para testar la normalidad de cada grupo analizado. W: Shapiro-Wilk value; p: p-valor. BTN: Número total de estrías; XT: Longitud de las estrías; NV/BTN: Índice vertical; NH/BTN: Índice Horizontal; W: Anchura de las estrías. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.....	180
Tabla 6.4 Test poshoc Dunn con el ajuste de Holm para las comparaciones múltiples de la variable BTN entre grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.....	181
Tabla 6.5 Test poshoc Dunn con el ajuste de Holm para las comparaciones múltiples de la variable XT entre grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.....	182
Tabla 6.6 Test poshoc Dunn con el ajuste de Holm para las comparaciones múltiples de la variable W entre grupos. CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. * indica que la muestra no tiene una distribución normal.....	182

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

ANEXOS

Anexo I: Micrografías OM

En el siguiente enlace se puede acceder al repositorio donde están alojados las micrografías de las superficies bucales obtenidas con el microscopio óptico de cada conjunto analizado, junto con las imágenes de su posterior conteo de estrías.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7267736>



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

Anexo II: Datos de microdesgaste dental

En el siguiente anexo se incluye la lista detallada de todos los individuos incluidos en el estudio de microdesgaste dental para la superficie bucal a través del microscopio óptico

Grupo	Sigla	Individuo	Sexo	Molar	BTN	XT	sd	DM	H	MD	V	XDM	XH	XMD	XV	sdDM	sdH	sdMD	sdV	VI	HI	W	sdW
MIR	MIR203-R37-79	Individuo 1	fem	M1LL	160	212.77	152.19	36	8	22	94	271.96	211.35	185.69	214.61	147.00	246.00	108.58	154.17	0.59	0.05	6.24	1.50
MIR	MIR201-R37-147	Individuo 10	masc	M1LR	143	222.89	145.00	21	7	39	76	195.08	247.09	217.59	231.07	113.43	187.29	146.08	149.69	0.53	0.05	7.27	1.28
MIR	MIR201-REM-10	Individuo 11	masc	M1LL	159	256.83	185.60	46	22	26	65	271.84	239.64	191.10	278.31	206.90	192.32	118.26	186.71	0.41	0.14	7.56	1.86
MIR	MIR201-Q36-43	Individuo 13	masc	M1LL	117	209.75	141.20	34	17	17	49	198.00	291.71	166.27	204.55	100.51	256.42	91.76	115.51	0.42	0.15	6.32	2.42
MIR	MIR201-REM-517	Individuo 18	masc	M1LR	121	245.11	155.00	13	13	32	63	305.17	332.88	193.80	240.66	233.49	233.00	88.16	133.44	0.52	0.11	6.30	0.76
MIR	MIR203-Q36-91	Individuo 19	Indet	M1LL	147	232.34	127.83	24	11	19	93	248.13	148.04	222.65	240.22	135.00	62.31	101.57	133.94	0.63	0.07	7.84	2.66
MIR	MIR203-R37-19	Individuo 2	fem	M2LL	98	263.57	168.00	13	8	24	53	250.57	164.27	263.06	281.98	230.10	48.78	150.76	167.78	0.54	0.08	9.91	2.45
MIR	MIR202-Q38-15	Individuo 20	masc	M1LR	138	215.98	145.38	15	9	58	56	168.77	257.61	234.80	202.44	118.10	243.24	145.72	130.51	0.41	0.07	10.51	3.75
MIR	MIR202-Q38-30	Individuo 21	masc	M2LR	140	211.37	120.44	9	11	30	90	217.54	198.92	214.26	211.31	105.36	114.10	127.65	121.90	0.64	0.08	7.83	0.55
MIR	MIR203-R37-26	Individuo 3	fem	M1LR	146	218.67	154.14	14	8	33	91	180.65	157.99	208.72	233.46	139.79	72.21	153.63	160.78	0.62	0.05	10.77	2.05
MIR	MIR203-R37-61	Individuo 5	Indet	dm2LR	134	254.89	163.90	28	12	31	63	206.57	346.58	255.44	258.63	114.33	189.70	192.91	157.64	0.47	0.09	5.62	1.39
MIR	MIR202-T34-17	Individuo 6	masc	M2LR	126	237.33	136.49	8	25	27	65	367.84	258.88	193.70	231.10	231.37	185.33	97.17	101.84	0.52	0.20	3.56	2.25
MIR	MIR203-R36-66	Individuo 7	masc	P4LL	150	209.35	123.06	59	10	11	70	192.16	261.18	110.20	232.01	99.39	215.71	46.58	123.62	0.47	0.07	6.53	1.23
MIR	MIR201-REM-7	Individuo 8	masc	M2LR	208	214.93	134.22	26	18	104	60	222.61	209.79	217.44	208.80	169.11	93.38	134.81	129.50	0.29	0.09	8.07	2.04
MIR	MIR201-S36-60	Individuo 9	Indet	M1LR	117	283.23	178.71	14	7	32	64	304.54	387.95	231.35	293.05	190.94	313.66	138.23	172.40	0.55	0.06	8.35	2.81
CA	CA-1	Individuo 1	Indet	M2LL	160	215.31	145.52	46	22	20	72	192.71	253.41	210.14	219.55	139.74	214.18	129.50	127.21	0.45	0.14	9.43	1.55
CA	CA-2	Individuo 2	Indet	M2LL	141	219.62	139.38	24	14	24	79	185.72	229.56	194.72	235.72	109.48	204.04	106.40	142.25	0.56	0.10	9.04	1.09
CA	CA-4	Individuo 4	Indet	M2LL	107	194.94	131.08	21	12	19	55	160.47	224.66	140.51	220.42	104.37	180.45	70.88	137.92	0.51	0.11	8.77	2.31
CA	CA-6	Individuo 6	Indet	M2LL	142	244.72	143.99	9	10	30	93	225.56	405.76	217.36	238.08	173.14	231.08	126.68	125.48	0.65	0.07	10.09	3.78
CA	CA-7	Individuo 7	Indet	M2LL	117	251.81	186.97	19	10	11	77	194.01	318.05	195.03	265.57	130.58	303.75	88.55	187.85	0.66	0.09	10.29	1.65
CA	CA-8	Individuo 8	Indet	M2LL	149	239.31	147.35	35	27	21	66	197.13	293.58	237.66	240.00	125.17	209.35	148.18	121.53	0.44	0.18	11.62	3.30
CA	CA-20	Individuo 20	Indet	M2LL	135	232.66	136.81	19	10	26	80	201.74	211.49	214.71	248.49	179.61	76.71	99.29	141.28	0.59	0.07	8.16	3.59
CG	CG-XXV-I	Individuo 12	masc	P4UL	102	211.13	129.36	17	14	23	48	168.09	207.82	185.57	239.59	77.99	123.69	88.42	155.50	0.47	0.14	27.29	7.06
CG	CG-XXV-II	Individuo 13	masc	P3LL	121	182.20	87.78	23	11	34	53	171.04	191.59	168.11	194.13	83.88	106.75	98.93	77.80	0.44	0.09	8.39	2.22
CG	CG-XXV-III	Individuo 14	fem	M1LR	119	225.64	128.27	16	10	34	59	190.50	242.16	224.64	232.95	67.49	90.16	153.16	131.32	0.50	0.08	12.45	6.74

Grupo	Sigla	Individuo	Sexo	Molar	BTN	XT	sd	DM	H	MD	V	XDM	XH	XMD	XV	sdDM	sdH	sdMD	sdV	VI	HI	W	sdW
CG	CG-XXV-IV	Individuo 15	masc	M2LL	101	246.18	133.70	21	10	12	58	231.20	238.41	206.21	261.22	91.05	137.75	121.08	148.21	0.57	0.10	19.10	5.59
CG	CG-XXV-V	Individuo 16	masc	P3LR	116	175.43	111.51	14	3	35	64	118.34	228.24	157.61	195.19	52.05	160.65	89.07	124.94	0.55	0.03	12.28	3.96
CG	CG-Ib2d-VII	Individuo 18	Indet	P3UR	126	148.02	90.11	37	18	28	43	146.09	111.32	148.83	164.52	76.92	42.28	96.14	107.56	0.34	0.14	9.09	3.74
GC	GC-2200-220	Indet	Indet	M2LR	108	238.02	166.39	24	15	21	48	233.31	189.71	184.84	278.74	114.50	167.39	108.40	198.88	0.44	0.14	9.24	1.42
GC	CG-2199-219	Indet	Indet	M2LR	95	208.22	130.80	21	13	13	48	209.98	316.41	147.91	194.49	120.40	244.16	47.46	88.41	0.51	0.14	4.24	0.44
GC	CG-2215-235	Indet	Indet	M2LR	94	235.19	145.67	13	16	31	34	161.01	263.78	270.60	217.81	69.60	193.52	143.39	135.19	0.36	0.17	7.59	2.95
GC	CG-2218-238	Indet	Indet	M2LR	84	248.98	175.29	7	12	17	48	203.22	281.64	282.41	235.65	104.59	251.55	128.51	176.82	0.57	0.14	7.62	3.51
MT	MT17-I16-197	Indet	Indet	M3LR	101	286.34	190.49	16	14	21	50	252.22	286.27	292.29	294.77	138.66	244.43	219.00	179.65	0.50	0.14	13.41	1.57
GN	GN95-REM-5	Indet	Indet	M2LL	122	240.40	165.94	32	6	19	65	247.46	250.62	213.36	243.88	204.28	216.53	102.84	157.95	0.53	0.05	10.05	1.57
GN	GN95-REM-9	Indet	Indet	M2LL	128	256.49	166.90	44	14	11	59	247.56	296.30	203.61	263.57	139.27	219.98	101.37	181.58	0.46	0.11	4.17	0.83
GN	GN95-REM-15	Indet	Indet	M2LL	114	196.74	122.89	19	5	29	61	155.34	210.66	221.16	196.88	110.77	121.76	135.29	119.94	0.54	0.04	5.89	1.43
GN	GN-REM-16	Indet	Indet	M2LL	121	213.40	134.63	27	21	31	42	203.46	243.98	180.02	229.14	128.72	196.93	100.73	120.64	0.35	0.17	5.32	1.50
GN	GN-REM-21	Indet	Indet	M2LL	137	215.56	122.93	22	19	20	76	156.63	238.58	216.06	227.76	57.71	208.10	88.02	113.18	0.55	0.14	7.98	3.20
GN	GN95-REM-33	Indet	Indet	M2LL	106	213.67	164.50	11	6	39	50	239.05	183.71	204.60	218.75	246.00	136.70	158.34	154.73	0.47	0.06	6.48	1.69
GN	GN88-D3-REM-40	Indet	Indet	M2LL	132	219.92	126.50	19	16	38	59	183.43	205.39	193.52	252.61	96.09	127.60	112.52	137.67	0.45	0.12	9.69	2.45
GN	GN94-REM-43	Indet	Indet	M2LL	164	219.36	135.79	29	21	35	79	192.41	204.63	189.93	246.21	110.80	101.79	133.33	149.24	0.48	0.13	8.05	1.87
GN	GN95-REM-49	Indet	Indet	M2LL	139	223.94	131.29	11	16	39	73	225.39	212.86	189.44	244.58	124.89	166.25	75.69	144.87	0.53	0.12	5.71	1.89
GN	GN95-REM-55	Indet	Indet	M2LL	118	215.53	113.91	23	10	24	61	201.47	187.93	187.48	236.39	111.33	149.94	100.59	112.01	0.52	0.08	6.47	2.11
GN	GN82-81	Indet	Indet	M2LL	141	251.16	162.85	32	14	22	73	213.31	463.22	174.42	250.21	96.11	243.02	79.63	154.59	0.52	0.10	5.49	0.55
GN	GN-B6-113	Indet	Indet	M2LL	137	225.18	140.48	25	15	30	67	230.22	209.71	212.08	232.62	175.70	121.23	163.23	120.07	0.49	0.11	6.26	0.84
GN	GN-D4-140	Indet	Indet	M2LL	125	226.44	128.22	23	6	30	66	206.74	198.36	187.72	253.45	120.04	149.56	75.60	143.44	0.53	0.05	7.48	2.18
GN	GN95-B6-161	Indet	Indet	M2LL	120	281.19	205.33	19	10	19	72	306.85	316.39	150.40	304.05	187.73	278.96	99.79	209.47	0.60	0.08	6.28	1.93
GN	GN88-D3-201	Indet	Indet	M2LL	147	246.88	148.30	30	12	34	71	267.35	305.42	192.94	254.18	172.57	185.94	108.55	142.52	0.48	0.08	7.48	1.36
GN	GN89-D1-343	Indet	Indet	M2LL	135	234.68	134.25	16	17	23	79	237.61	155.43	218.11	255.96	140.67	87.45	130.21	137.47	0.59	0.13	6.40	2.20
GN	GN97-B3-556	Indet	Indet	M2LL	112	224.17	108.92	11	2	16	83	190.65	170.12	186.72	237.13	112.60	24.71	112.26	107.40	0.74	0.02	10.72	3.55
GN	GN89-D1-668	Indet	Indet	M2LL	110	284.95	169.18	24	1	13	72	333.53	112.11	229.25	281.22	218.20	NA	103.90	157.78	0.65	0.01	6.49	1.31
GN	GN96-B6-955	Indet	Indet	M2LL	110	210.01	140.74	23	14	34	39	199.99	216.11	210.84	213.01	149.15	183.06	123.06	138.69	0.35	0.13	5.85	1.42

Grupo	Sigla	Individuo	Sexo	Molar	BTN	XT	sd	DM	H	MD	V	XDM	XH	XMD	XV	sdDM	sdH	sdMD	sdV	VI	HI	W	sdW
GN	GN90-D1-1564	Indet	Indet	M2LL	119	290.86	158.18	30	17	27	45	323.62	357.40	265.82	258.91	195.00	177.87	144.30	119.82	0.38	0.14	9.81	1.65
GN	GN91-REM-3301	Indet	Indet	M2LL	126	192.26	107.74	33	15	27	51	192.50	154.36	209.83	193.95	95.37	83.30	156.45	89.03	0.40	0.12	5.68	2.31
GN	GN-REM-3580	Indet	Indet	M2LL	155	256.69	166.66	62	24	20	49	282.30	249.26	195.84	252.75	178.12	197.30	89.68	156.61	0.32	0.15	4.97	1.66
GN	GN89-REM-3610	Indet	Indet	M2LL	107	233.90	152.80	25	17	17	48	231.28	308.53	183.96	226.51	150.86	170.50	139.67	146.70	0.45	0.16	9.67	0.88
GN	GN-684B	Indet	Indet	M2LL	144	205.95	139.01	33	15	25	71	176.36	231.08	190.68	219.77	121.86	187.24	133.78	136.80	0.49	0.10	5.82	2.47
GN	GN-M-63	Indet	Indet	M2LL	98	244.72	147.22	44	9	12	33	240.73	278.42	195.48	258.74	129.08	214.00	83.39	167.39	0.34	0.09	7.57	1.62
GN	GN-Mandible-1	Indet	Indet	M2LL	141	230.03	151.58	30	11	17	83	195.30	225.53	222.51	244.72	90.98	238.49	163.97	153.12	0.59	0.08	6.34	1.75
GN	GN-5	Indet	Indet	M2LL	106	235.56	139.03	12	24	40	30	223.28	292.87	196.68	246.46	116.32	161.52	110.65	150.69	0.28	0.23	5.79	0.58
GN	GN-2	Indet	Indet	M2LL	117	218.54	128.74	26	11	8	72	209.94	198.29	126.13	235.00	139.72	105.37	49.58	130.66	0.62	0.09	7.05	1.89
GN	GN-3	Indet	Indet	M2LL	116	217.24	131.79	13	4	32	67	148.54	160.76	200.29	242.04	114.11	33.03	106.69	143.57	0.58	0.03	6.38	1.15
FO	FO07-lb-C6-18	Indet	Indet	p3LL	101	191.34	138.90	23	12	23	43	148.39	212.76	179.63	214.61	69.45	109.74	155.93	160.46	0.43	0.12	10.58	4.59
FO	FO13-la-G10-401	Indet	Indet	p3LL	117	227.90	124.14	24	3	19	71	220.31	307.72	176.72	240.78	132.38	219.00	87.79	123.52	0.61	0.03	8.62	0.77
FO	FO07-la-D7-785	Indet	Indet	p3LL	130	240.75	159.41	26	4	10	90	181.52	121.37	163.39	271.77	90.33	24.78	117.03	172.69	0.69	0.03	6.91	1.82
FO	FO06-la-f9-1011	Indet	Indet	p3LL	128	232.96	158.48	11	13	37	67	212.45	171.01	197.89	267.72	125.31	121.31	124.68	179.02	0.52	0.10	8.46	1.24
FO	FO07-la-F9-1041	Indet	Indet	p3LL	129	212.39	121.19	29	11	25	64	209.78	167.65	183.53	232.53	141.20	74.55	104.46	121.85	0.50	0.09	7.85	1.38
CS	CS-1	Indet	Indet	M1LR	104	238.62	150.48	15	8	39	42	190.24	236.81	223.17	270.59	103.71	212.66	131.48	165.34	0.40	0.08	7.35	1.10
CS	02CS-E6-le-9.116	Indet	Indet	M1LR	104	232.37	156.38	10	5	24	65	174.53	94.83	225.44	254.41	88.78	31.95	157.41	163.61	0.63	0.05	6.77	1.58
CS	06CS-D10-lf-9.164	Indet	Indet	M1LR	96	266.55	155.83	10	16	40	30	208.28	296.38	267.27	269.12	95.61	185.63	120.08	194.49	0.31	0.17	8.37	1.73
CS	02CS-E7-le-9.165	Indet	Indet	M1LR	112	243.05	126.35	8	13	40	51	221.86	189.70	213.76	282.95	144.76	75.46	103.91	139.98	0.46	0.12	7.05	1.18
CS	03CS-D7-lf-9.193	Indet	Indet	M1LR	106	260.53	167.01	20	11	26	49	287.52	228.84	242.65	266.11	184.47	212.97	103.34	178.31	0.46	0.10	4.46	0.45
CS	02CS_E9_IE_9.319	Indet	Indet	M1LR	111	221.85	131.91	11	11	23	66	146.32	132.18	222.46	249.17	94.73	85.79	108.63	140.91	0.59	0.10	7.73	1.77
CS	02CS-E7-le-9.333	Indet	Indet	M1LR	104	276.34	155.17	14	17	30	43	222.54	246.47	267.97	311.51	132.80	137.38	168.40	155.48	0.41	0.16	7.66	1.43
CS	03CS-D8-lf-9.339	Indet	Indet	M1LR	114	227.34	127.28	17	14	21	62	213.64	191.98	222.67	240.67	86.72	85.24	121.52	146.25	0.54	0.12	6.60	2.42
CS	02CS-E7-le-9.351	Indet	Indet	M1LR	110	220.16	135.82	13	16	38	43	174.32	224.67	217.47	234.71	43.61	130.02	137.85	153.85	0.39	0.15	9.54	1.45
CS	02CS-D6-lf-9.5	Indet	Indet	M1LR	117	211.19	120.64	21	19	30	47	183.78	199.33	191.61	240.73	107.62	94.48	117.93	133.65	0.40	0.16	6.83	1.53
CS	02CS-D7-le-9.92	Indet	Indet	M1LR	124	237.33	140.76	17	12	25	70	188.90	160.14	209.79	272.15	118.43	77.97	102.27	156.01	0.56	0.10	8.60	1.10
CS	02CS-D7-lf-9.95	Indet	Indet	M1LR	100	279.38	191.40	12	13	23	52	195.91	221.09	266.93	318.72	134.46	126.74	169.71	216.46	0.52	0.13	10.68	2.59

Grupo	Sigla	Individuo	Sexo	Molar	BTN	XT	sd	DM	H	MD	V	XDM	XH	XMD	XV	sdDM	sdH	sdMD	sdV	VI	HI	W	sdW
CS	O2CS-E6-le-9.98	Indet	Indet	M1LR	111	254.16	153.34	9	15	35	52	113.12	263.08	274.82	262.09	25.35	182.42	172.98	132.81	0.47	0.14	8.74	2.81
CS	CS_13	Indet	Indet	M1LR	80	270.70	182.27	17	7	23	33	307.68	159.90	238.26	297.76	255.96	42.36	132.76	178.57	0.41	0.09	6.91	2.56
CS	O5CS-SE-R2-37	Indet	Indet	M1LR	112	241.93	172.15	6	14	37	55	246.47	241.79	253.08	233.96	245.37	220.61	152.71	167.11	0.49	0.13	4.74	0.40
CS	O5CS-E5-If-9k1-53	Indet	Indet	M1LR	91	250.73	149.06	6	5	17	63	84.39	402.99	238.84	257.69	23.14	146.50	128.68	148.04	0.69	0.05	5.58	1.42
CS	O2CS_F7_IE_933	Indet	Indet	M1LR	105	253.73	150.46	16	0	31	58	233.16	NA	242.75	265.27	103.17	NA	148.12	163.22	0.55	0.00	8.67	1.10
CS	O7CS-D7-Ig-9b-4	Indet	Indet	M1LR	97	209.71	112.90	11	4	23	59	126.63	192.88	167.75	242.69	48.69	93.46	67.69	123.96	0.61	0.04	6.43	1.36
CS	O7CS-D9-Ig-9b.41	Indet	Indet	M1LR	97	204.13	131.99	9	17	25	46	163.59	184.35	180.51	232.21	49.24	98.11	116.13	156.61	0.47	0.18	4.24	1.30
CS	CS-EX2-I23-118	Indet	Indet	M1LR	93	184.65	95.89	7	1	23	62	168.92	219.38	178.64	188.09	88.76	NA	99.08	97.36	0.67	0.01	4.69	0.95
CS	O2CS-938	Indet	Indet	M1LR	100	281.11	173.44	17	15	31	37	234.70	316.23	327.69	249.18	134.38	205.56	175.87	167.47	0.37	0.15	8.06	3.80
RO	RO19-631	Indet	Indet	M1LR	95	261.33	183.99	11	9	18	57	167.66	428.55	223.32	265.01	63.61	253.82	185.02	172.66	0.60	0.09	3.21	1.23
RO	RO20-1547	Indet	Indet	M1LL	108	235.39	141.85	20	19	24	45	194.61	248.50	195.27	269.37	104.64	121.42	89.75	176.27	0.42	0.18	6.52	1.59
RO	RO20-2006	Indet	Indet	M2LR	104	310.34	185.30	12	22	36	34	296.94	337.91	290.39	318.36	186.99	226.21	177.63	168.58	0.33	0.21	4.99	3.21
RO	RO73-6775	Indet	Indet	M2LR	94	262.18	173.19	8	5	18	64	269.41	239.99	200.42	280.38	221.55	65.12	96.74	187.17	0.68	0.05	5.60	1.22
RO	RO73-6779	Indet	Indet	M1LL	86	238.52	123.73	21	11	10	44	234.42	215.67	219.84	250.44	143.76	155.30	87.35	114.35	0.51	0.13	4.84	1.66
RO	RO73-6785	Indet	Indet	M1LR	94	271.48	158.22	4	10	37	43	322.81	237.89	240.94	300.80	365.39	103.83	136.33	159.48	0.46	0.11	3.47	0.85
RO	RO73-6786	Indet	Indet	M1LL	98	265.55	164.04	3	7	26	62	453.94	201.77	274.91	259.72	82.85	180.68	157.09	164.18	0.63	0.07	5.15	0.98
RO	RO73-6789	Indet	Indet	M2LL	88	250.54	149.87	17	8	21	42	197.16	241.26	260.07	269.14	101.26	170.81	145.36	163.62	0.48	0.09	4.58	1.54
RO	RO73-6797	Indet	Indet	M1LR	94	226.88	136.46	4	4	39	47	150.92	140.10	262.86	210.88	75.64	20.88	173.93	98.70	0.50	0.04	3.65	0.92
RO	RO73-6798	Indet	Indet	M2LL	96	269.44	149.31	23	14	10	49	234.06	258.83	312.01	280.39	123.85	162.77	222.86	139.54	0.51	0.15	5.91	2.18
RO	RO73-6799	Indet	Indet	M1LL	105	269.93	130.66	17	8	19	61	320.07	170.13	238.90	278.71	173.32	66.70	126.01	117.79	0.58	0.08	3.70	0.61
RO	RO73-6800	Indet	Indet	M2LL	106	213.72	133.16	12	4	35	55	195.06	228.37	181.68	237.12	83.52	253.71	96.98	149.14	0.52	0.04	3.41	0.68
RO	RO73-6802	Indet	Indet	M2LL	97	269.37	159.26	17	7	19	54	236.94	252.31	263.59	283.82	153.28	175.20	142.68	166.91	0.56	0.07	3.78	0.95
RO	RO73-6878.4	Indet	Indet	M1LR	100	287.90	192.24	15	2	26	57	214.98	127.18	232.41	338.03	95.50	39.67	151.63	215.47	0.57	0.02	3.44	0.83
RO	RO21-2969	Indet	Indet	M1LL	93	272.30	170.04	15	5	19	54	260.74	221.44	276.48	278.76	217.12	109.42	158.89	167.11	0.58	0.05	5.34	1.64

Tabla S1. Lista de todos los individuos incluidos en el estudio del microdesgaste bucal a través del microscopio óptico. Grupos: CA: Cova de l'Avi, CS: Can Sadurní, GN: Cova de la Guineu, FO: Cova Foradada, MIR: El Mirador, RO: Roc de les Orenetes, CG: Cova del Gegant, GC: Galls Carboners. Las abreviaturas de los tipos de dientes corresponden, al maxilar (U) o mandíbula (L), al lado (izquierdo o derecho: L o R) y a la posición en la fila de dientes (primero o segundo: 1 o 2). Variables: BTN, Número total de estrías; XT, Longitud de las estrías en μm ; SD, desviación estándar; W, anchura de las estrías y VI o HI, índices de orientación (vertical y horizontal). Las variables dependen de la orientación (MD: mesiodistal; V: vertical; H: horizontal; DM: disto-mesial).

Anexo III: Error intraobservador

Error intraobservador	BTN	XT	NV/BTN	NH/BTN
GC2200-220-M2LR-BUC-1º	108	238.02	0.44	0.14
GC2200-220-M2LR-BUC-2º	98	233.27	0.46	0.13
GC2200-220-M2LR-BUC-3º	101	223.07	0.45	0.14
<i>Desviación estándar</i>	<i>5.13</i>	<i>7.64</i>	<i>0.01</i>	<i>0.00</i>
Error intraobservador	BTN	XT	NV/BTN	NH/BTN
GN88-D3-201-BUC-1º	147	246.88	0.48	0.08
GN88-D3-201-BUC-2º	141	253.43	0.48	0.09
GN88-D3-201-BUC-3º	142	232.04	0.45	0.08
<i>Desviación estándar</i>	<i>3.21</i>	<i>10.96</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>
Error intraobservador	BTN	XT	NV/BTN	NH/BTN
IND9-ATA12-201-S36-60-BUC-1º	117	283.23	0.55	0.06
IND9-ATA12-201-S36-60-BUC-2º	112	268.39	0.48	0.03
IND9-ATA12-201-S36-60-BUC-3º	109	258.52	0.51	0.06
<i>Desviación estándar</i>	<i>4.04</i>	<i>12.44</i>	<i>0.03</i>	<i>0.02</i>

Tabla S2: Resultados de la prueba del error intraobservador, basado en la documentación en tres días diferentes de los rasgos de microdesgaste en tres individuos seleccionados aleatoriamente. BTN: Número total de estrías; XT: Longitud de las estrías; NV/TN: Índice vertical; NH/TN: Índice Horizontal.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

Anexo IV: Publicaciones adicionales

En Este anexo se incluyen las siguientes publicaciones adicionales realizadas durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral:

Hernando, R., Cano, N., Martín, P., Üstünkaya, C., Allué, E., Lozano, M., 2022. The human diet at El Mirador cave, in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave. Springer Nature, Switzerland, pp. 295–326. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>

Lozano, M., Gamarra, B., Hernando, R., Ceperuelo, D., 2022. Dental and oral pathologies at El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain), in: Allué, E., Martín, P., Vergès, J.M. (Eds.), Prehistoric Herders and Farmers. A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave. Springer Nature, Switzerland, pp. 167–185. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1>

Lozano, M., Gamarra, B., Hernando, R., Ceperuelo, D., 2022. Microscopic and virtual approaches to oral pathology: A case study from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Ann. Anat. - Anat. Anzeiger* 239, 151827. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aanat.2021.151827>

Hernando, R., Gamarra, B., McCall, A., Cheronet, O., Fernandes, D., Sirak, K., Schmidt, R., Lozano, M., Szeniczey, T., Hajdu, T., 2021. Integrating buccal and occlusal dental microwear with isotope analyses for a complete paleodietary reconstruction of Holocene populations from Hungary. *Sci. Rep.* 11, 1–21. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86369-x>

Hernando, R., Lozano, M., 2021. Desgast dental dels individus de la cista del Camp de la Bruna (Lladurs, el Solsonès), in: Espejo Blanco, J.M., Fàbregas Solé, L. (Eds.), La Cista Del Camp de La Bruna (Lladurs, El Solsonès). Un Enterrament Inèdit Del Neolític Mitjà. Museu Diocesà i Comarcal de Solsona, Solsona, pp. 41–49.

Willman, J.C., Lozano, M., Hernando, R., Vergès, J.M., 2020. Gigapixel-like imaging strategies for dental anthropology: Applications for scientific communication and training in digital image analysis. *Quat. Int.* 569, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.027>.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

Chapter 15

Human Diet at El Mirador Cave



Raquel Hernando, Nit Cano-Cano, Patricia Martín ,
M. Cemre Üstünkaya, Ethel Allué , and Marina Lozano

Abstract This work presents the results of a combination of different proxies, such as animal and plant remains, isotope analysis, and dental microwear, for the different chrono-cultural phases recorded at El Mirador cave. Together, they offer an overview of the economic and dietary practices of the groups that made use of the cave, which are especially interesting in foraging communities with sociocultural complexity. Evidence of milling or pounding of cereals, together with cooking and processing of animal carcasses, suggest that food processing and consumption occurred inside the cave. The isotope analysis of individuals from the Chalcolithic burial evidence a diet based mainly on animal products complemented with plant material. The dental microwear pattern shows the same trend for the individuals ascribed to the Bronze Age, a relatively low abrasive diet in comparison with other populations from the same period. This could be related to either the inclusion of soft food in their diets (e.g., meat, animal by-products) or the food processing methods they employed. Indeed, the use of pottery vessels for cooking or flour production changed the physical composition of food, making it softer and easier to eat.

Keywords Diet · Food processing · Plants · Animals · Isotopes · Tooth wear · Zooarcheology · Archeobotany

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1_15.

R. Hernando (✉)

Departament d'Història i Història de l'Art, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain

Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Tarragona, Spain

e-mail: r.hernando90@gmail.com

N. Cano-Cano · P. Martín · E. Allué · M. Lozano (✉)

Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Tarragona, Spain

Departament d'Història i Història de l'Art, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain

e-mail: ncano@iphes.cat; patrim9@gmail.com; eallue@iphes.cat; mlozano@iphes.cat

M. C. Üstünkaya

Independent Researcher, Tarragona, Spain

e-mail: mcu22@cantab.ac.uk

© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2022

E. Allué et al. (eds.), *Prehistoric Herders and Farmers*, Interdisciplinary

Contributions to Archaeology, https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1_15

295

15.1 Introduction

Reconstructing the diets of the past populations is one of the most important interdisciplinary topics in prehistory studies. Diet reflects not only the subsistence strategies of a human group but also provides information on cultural and social aspects, allowing us to gain a holistic understanding of past lifestyles (see Gumerman, 1997; Atalay & Hastorf, 2006; Hastorf, 2016; López-Costas & Alexander, 2019; Fernández-Crespo et al., 2019). The diet of a population depends on a series of factors, including the environment and climate conditions, the availability of resources, subsistence strategies, social and cultural factors that determine the inclusion or not of certain resources in the diet, and the processing and preparation of foodstuffs (Hastorf, 2016; Kubiak-Martens et al., 2015; Valamoti, 2011). In addition, diet affects the wellbeing of individuals and has further implications related to demography, gender, inequality, division of labor/activities, and the anthropogenic impact on the landscape (Fugita et al., 2007; Atalay & Hastorf, 2006). Farming communities exhibit degrees of complexity deriving from specific cultural traditions and technological development in terms of food acquisition, transformation, and preservation.

In line with the complexity of the topic, here we present a holistic analysis of the diet of the inhabitants of El Mirador cave, combining data from disciplines such as zooarcheology, archeobotany, human dental microwear, and stable isotope analysis of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) in human bone collagen. El Mirador cave preserves a continuous sequence from the Neolithic to the Bronze Age, providing accurate data on food availability and processing (Martín et al., [this volume](#); Cano-Cano et al., [this volume](#)). This information constitutes indirect evidence of what these human groups ate. Additionally, dental microwear and isotope analyses provide direct evidence of diet from the human remains themselves.

15.2 Multidisciplinary Approaches for Studying Human Diet

15.2.1 *Animal Remains*

The study of the animal remains that formed part of the diet of the herders from El Mirador cave is based on zooarcheology and taphonomy. The sample analyzed comes from the Neolithic and Bronze Age levels, from the test pit (levels MIR3-MIR24) and Sector 100 (levels MIR103-MIR105) (Martín et al., [this volume](#)).

The zooarcheological study was based on the taxonomic and anatomical identification of the remains using morphological criteria (Halstead et al., 2002; Schmidt, 1972), as well as the age at death of the domestic caprines and cattle (Payne, 1987; Hillson, 2005; Martín and García González, 2015). Mortality profiles have been

interpreted based on the guidelines established by Payne (1973) for sheep and goats, and by Vigne and Helmer (2007) for cattle. Human modifications were analyzed to determine the role of specific animals in the diet of the population. The morphology and location of cut marks was documented to reconstruct the butchering process (Binford, 1981; Nilssen, 2000).

The breakage of animal bones by humans was documented considering the percussion marks present on each piece (e.g., impact points, percussion abrasions, scars, and notches) (Blumenshine, 1994). Human tooth marks were identified using morphological criteria determined by actualistic and ethnoarcheological observations (Binford, 1981; Fernández-Jalvo & Andrews, 2011; Pickering et al., 2013; Saladié et al., 2013). Human chewing marks were determined according to morphological criteria, as well as the location and co-occurrence of the bone modifications. Boiled bones were identified using macroscopic and microscopic criteria; these have smoother and lighter surfaces and are more transparent (Bosch et al., 2011; Solari et al., 2015; Trujillo-Mederos et al., 2012). Microscopic analyses were carried out using an environmental scanning electron microscope (ESEM), an FEI Quanta 600 housed in the Scientific and Technical Resources Service of Rovira i Virgili University, at 5000x and 10,000x magnification. Although burnt bones have also been identified at El Mirador cave, they were not included in this study as it is unclear whether the cremation has a culinary origin (Burguet-Coca et al., [this volume](#)).

15.2.2 *Plant Remains*

The evidence used to study the plant diet consumed at El Mirador cave comprises mainly seed and fruit remains. As indirect evidence, the charcoal assemblage allows us to discuss the presence of woody plants with edible parts and their uses. The archeobotanical evidence has been recovered from three sectors, the test pit (levels MIR3 to MIR24), Sector 100 (levels MIR105, MIR107, MIR108, and MIR109) and Sector 200 (levels MIR205, MIR207, MIR208). The assemblage has yielded 20 plant taxa with edible parts (Cano-Cano et al., [this volume](#)).

At El Mirador cave, all the sediment recovered was wet sieved apart from that from burrows, which was dry sieved on site and discarded for archeobotanical studies (Vergès et al., [this volume](#)). Flotation was used to recover the archeobotanical materials. Sediment from the test pit was floated using a flotation machine with three different meshes: 4, 2 and 0.5 mm (Rodríguez et al., 2016). The sediment from Sectors 100 and 200 was floated using bucket flotation with a single mesh of 0.2 mm. These samples were later dry sieved to separate them into different sizes to facilitate sorting. The samples from the 0.5 mm fraction were sorted using a binocular microscope (CETI Steddy-B) at x10 to x40 magnification.

The charcoal analysis was conducted on materials from the 4 mm flotation fraction, using a reflected-light microscope (Olympus BX41) at x50, x100, x200,

and x500 magnification. Each piece of charcoal was fragmented by hand to observe the three anatomical sections that characterize each taxon. The Schweingruber (1990) atlas and a reference collection helped us identify each fragment. The taxa were identified according to different categories, including species, genus, or family. Other categories, or taxonomic regroupings such as type or cf. have been used when necessary. The quantification was based on the number of fragments and relative values according to the anthracology method (Chabal et al., 1999; Kabukcu & Chabal, 2021).

Seeds and fruits from all the fractions were identified using a stereomicroscope. The criterion followed for determining the carbonized remains was based on the principles of comparative anatomy. All the plant remains were identified using scientific reference literature (Cappers et al., 2012; Jacomet, 2006) and by comparing them with the reference collections of modern seeds from the archeobotany laboratories at IPHES-CERCA and MNHN (Paris). Seed and fruit remains were systematically counted, taking into account their anatomical part and taxonomy. The minimum numbers of remains in the case of cereal caryopses was obtained following Antolín and Buxó (2011), taking into account the different states of grain fragmentation.

15.3 Human Remains

15.3.1 Dental Remains

Dental microwear analysis, based on the assumed physical properties of foodstuffs and their abrasiveness, provides valuable information on the dietary patterns of prehistoric populations (El-Zaatari, 2010; Grine, 1986; Nystrom, 2008; Teaford et al., 1996, 2001; Schmidt et al., 2015, 2019). The size of both hard food particles and extrinsic contaminant particles (mainly grit), as well as chewing direction and masticatory forces, leave recognizable marks on buccal and occlusal enamel surfaces. The quantity of these marks, along with other variables, are strongly dependent on the characteristics of different diets and ways of processing food items (Daegling et al., 2016; Teaford & Lytle, 1996). Specifically, buccal microwear studies of modern human hunter-gatherer populations show a significant variability in striation patterns related to dietary habits and the ecological conditions of different groups (Lalueza et al., 1996; Pérez-Pérez et al., 1994, 2003, 2017; Romero et al., 2013).

The assemblage of Bronze Age human remains recovered from El Mirador cave comprises 106 remains (dental, cranial and post-cranial) belonging to at least six individuals from MIR4 (Vergès [this volume](#)). The bones are highly fractured, especially the long bones. Cranial and dental remains are the most well-represented elements. Initially, the scarcity of hand and feet bones is notable; however, this is the result of the secondary positioning of the bones (Cáceres et al., 2007). The ages at death of the six individuals were estimated using Brothwell's pattern of tooth wear based on dentine exposure (Brothwell, 1981). The individuals are labelled from I to

VI on the basis of the age assigned to them, with Individual I being the youngest (aged ca. eight years old at death), and Individual VI being the oldest (aged 40 at death). Individuals II, III and IV were adults aged between 20 and 30 at time of death. From the dental evidence, none can be considered old. The degree of occlusal dental attrition was recorded according to the stages proposed by Smith (1984). The morphological indicators on the jawbone lead us to consider that individual V is a female and individual VI is a male (Cáceres et al., 2007; Iscan & Steyn, 2013). For the dental microwear analysis, we chose six molars, each representing a single individual. Whenever available, the lower left M1 was selected (Individuals I, II and IV). In the other cases, the upper left M1 was chosen (Individuals III and V).

For the dental microwear analysis, we worked with an environmental scanning electron microscope (ESEM), an FEI Quanta 600 housed in the Scientific and Technical Resources Service of Rovira i Virgili University. The teeth were placed at zero degrees of tilt in the ESEM chamber. The ESEM parameters were fixed at 20 kV acceleration voltage and low vacuum mode, with a spot size of 4.5. Under low ESEM magnifications, we verified that all the enamel surfaces were well preserved, and showed no post-mortem handling or storage damage.

ESEM digital images (1024×832 pixels) of the enamel surfaces were obtained for the middle third of the buccal surface, avoiding the occlusal and cervical thirds of the tooth (Galbany et al., 2004). Each buccal image was taken at $\times 100$ magnification. Next, the digitized images were enhanced with GIMP (<https://www.gimp.org/>). A high-pass filter (50 pixels) and automatic level adjustment were used to normalize the grey level frequency histogram and increase the contrast to facilitate scratch characterization and measurement (Galbany et al., 2004). From each digital picture an area of 0.56 mm^2 was selected for counting buccal microwear features.

All the striation angles were classified into groups as horizontal (H), vertical (V), mesiodistal (MD), or distomesial (DM), according to their orientation (Pérez-Pérez et al., 1994), and these were measured using open-source image-processing software, ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>). All the striations measured both start and end within the field of view. A striation was defined as a linear mark on the enamel surface, at least four times longer than it was wide, with a minimum length of $15 \mu\text{m}$ (4:1) (Gordon, 1984; Grine, 1986). For each orientation category (H, V, MD, DM), as well as the total number of striations (TN), the length and standard deviation of the length of all the striations were computed. Two indexes were calculated: the number of horizontal striations/total number of striations (NH/TN); and the number of vertical striations/total number of striations (NV/TN) (Lalueza et al., 1996). The statistical procedure was performed, and the scatterplots and boxplots generated, using R ggplot2 packages (R Core Team, 2020; Wickham, 2016). The non-parametric and post hoc tests were performed due to the small sample size (Hernando et al., 2020).

15.3.2 *Isotopes*

Stable isotope analysis is a powerful tool to support archeobotanical and zooarcheological analysis, as it provides a quantitative understanding of what past people relied on for their subsistence. Chemical differences in the food consumed during the lifetime of an individual are reflected in their skeletal chemistry through different quantities of isotopes, such as carbon, nitrogen, oxygen, and strontium. In this study, stable carbon and nitrogen isotopes in bone collagen were measured to help clarify which plants and animals were consumed during the lifespan of the inhabitants of El Mirador cave. Stable carbon isotope ratios are used to distinguish between plants that use two different photosynthetic pathways (C3 and C4) (Farquhar, 1983; Lightfoot et al., 2019), while nitrogen stable isotope ratios are mainly to distinguish protein consumption. This includes not only the animal proteins but also plant and seafood proteins, especially legumes (Fraser et al., 2013; Lightfoot et al., 2011).

Human bone samples were taken from 25 individuals from the Chalcolithic collective burial (see Vergès, [this volume](#); Iglesias-Bexiga et al., [this volume](#)). While our initial intention was to sample ribs, the preservation of the skeletal material allowed us to select long bones for this study. Collagen extraction was performed on all the long bones without any failures. The full sample details are presented in the Supplementary Information 15.1.

Collagen was extracted from the bones following the method described in Privat et al. (2002). All the collagen samples were analyzed in triplicate using a Costech elemental analyzer coupled in continuous-flow mode to a Thermo Finnigan MAT253 mass spectrometer. The carbon and nitrogen stable isotope values are expressed as delta values (for example $\delta^{13}\text{C}$) relative to international standards (VPDB and AIR, respectively) in units of per mille (parts per thousand, ‰; Hoefs, 2004). Repeated measurements on international and in-house standards shows that the analytical error was less than $<0.1\text{‰}$ for both carbon and nitrogen.

The collagen measured is deemed to be of good quality if it fulfills the following criteria: an atomic C:N ratio of 2.9 to 3.6 (De Niro, 1985); a 'collagen' yield of $>1\%$ by mass; final carbon yields of $>13\%$; and final nitrogen yields of $>4.8\%$ (Ambrose, 1990).

It is also important to run an isotope analysis on wild fauna from the region, to establish the background signal for animals as this not only allows a nuanced interpretation of the isotope analysis, but also prevents a circular argument bias from the archeobotanical and zooarcheological datasets.

15.4 Results

15.4.1 *Animal*

The high percentage of fragmented remains (more than 50% of the total remains from each level), together with the presence of alterations associated with human processing and consumption, and the low incidence of post-depositional alteration,

indicate that the faunal assemblage at El Mirador cave is predominantly food waste. A total of 3141 remains have been taxonomically identified at this site, 11 species of mammals (Table 15.1), 3 species of birds (*Columba palumbus*, *Corvus* sp., *Strix aluco*), and 1 species of fish (*Salmo trutta*). All the mammal species, both domestic and wild herbivores and carnivores, documented at El Mirador cave show signs of processing and/or consumption (Table 15.1). There are no such marks on the bird remains, probably because these represent only 0.7 of the total NISP. However, the absence of evidence of carnivore digestion or bite marks allows us to speculate on a possible anthropic origin to explain the presence of these remains in the cave.

A study of the fish accumulation from the Neolithic level MIR19 has been carried out. Although no anthropic processing and consumption marks have been documented, there are several factors that seem to indicate that these animals were part of the human diet: (1) the presence of a single species, *Salmo trutta*; (2) the absence of digestion marks; (3) the homogeneous size of the individuals; (4) the predominance of postcranial elements (Blanco-Lapaz & Vergès, 2016).

Cut marks were documented on 149 faunal remains (4.7% of the total NISP). The morphology, orientation, and specific location of these marks on the anatomical elements indicate the removal of the meat, even from carnivores and fetal domestic caprines (Table 15.1). They also reveal the removal of viscera from domestic animals, such as the tongue, cheeks and red offal (e.g., gizzard or heart); although the removal of the red viscera may be related to consumption it could also be to clean the carcass for subsequent defleshing. The systematic fracturing of long bones suggests that marrow was another source of nutrition for the El Mirador cave pastoral groups. This breakage makes it possible to consume the marrow either directly, or in soups. Related to this, the culinary processing of a significant percentage of the remains culminated in boiling (39.3% of the total NISP). Finally, the direct consumption of most of the mammal taxa has been identified through human tooth marks (Table 15.1). The mortality profiles of sheep and goats, with peak mortality being of individuals less than one year old in most levels, could be related to the use of both tender meat and dairy products. Most of the cattle found in El Mirador cave were slaughtered after the age of weaning (5–9 months), which could be indirect evidence of the use of both meat and milk.

15.4.2 Plants

The results of the anthracological analyses show that the majority of the assemblage comprises deciduous and evergreen *Quercus* species. Among the remaining plant taxa, several have edible parts: *Cornus* sp., *Corylus avellana* (hazel), *Juglans regia* (walnut), Maloideae (pomes), *Prunus* sp. (plums), *Sambucus* sp. (elderberry) (Expósito et al., [this volume](#); Cano-Cano et al., [this volume](#)). These species are not abundant in the assemblage. Some show a continuous presence throughout the sequence, while others appear in only a few levels. *Prunus* sp. and Maloideae are both within the Rosaceae family and show little variability in their wood anatomy

Table 15.1 Processing and consumption phases identified for each taxon from the analysis of cut marks, fracture marks, and boiling modifications

	Taxa	Evisceration	Disarticulation	Defleshing	Fracturation	Boiling	Consumption	Levels
Middle bronze age	Cattle	X	X	X	X	X	X	MIR3, MIR4, MIR103, MIR105
	Sheep and goat	X	X	X	X	X	X	MIR3, MIR4, MIR103, MIR105
	Suids	X		X	X	X		MIR4, MIR103, MIR105
	Equids	X	X		X		X	MIR4, MIR105
	Red deer				X	X		MIR3, MIR4
	Roe deer			X		X	X	MIR4, MIR103
	Dogs			X		X	X	MIR4, MIR103, MIR105
	Foxes			X		X	X	MIR103
	Carnivores		X			X		MIR4, MIR105
	Rabbits				X		X	MIR3, MIR4, MIR103, MIR105
4th millennium	Cattle			X		X		MIR9, MIR10
	Sheep and goat			X	X	X	X	MIR6, MIR7, MIR8, MIR9, MIR10
	Suids				X	X		MIR7, MIR9
	Equids				X	X		MIR10
	Red deer				X	X		MIR6, MIR9, MIR10
	Mustelid				X	X		MIR10
	Rabbits				X	X		MIR6, MIR7
	Cattle		X	X	X	X	X	MIR11, MIR12, MIR13, MIR16
	Sheep and goat	X		X	X	X	X	MIR11-MIR17
	Suids			X	X	X		MIR13, MIR16, MIR17
Equids		X		X	X		MIR11, MIR16	

6th millennium	Red deer										X			MIR11, MIR12, MIR16
	Roe deer							X			X			MIR13, MIR14
	Foxes										X			MIR11, MIR16
	Wild cats										X			MIR17
	Rabbits								X		X			MIR16
	Cattle			X				X			X			MIR18-MIR22
	Sheep and goat	X						X			X			MIR18-MIR24
	Suids			X							X			MIR18-MIR24
	Equids			X				X			X			MIR19-MIR22
	Red deer							X			X			MIR18, MIR19, MIR21
	Roe deer			X							X			MIR19, MIR21
	Dogs										X			MIR19
	Foxes										X			MIR21
	Canids			X							X			MIR18, MIR19
Wild cat										X			MIR20	
Badger										X			MIR24	
Rabbits							X			X			MIR19, MIR20, MIR21, MIR23, MIR24	

(Allué et al., 2018; Schweingruber, 1990). On the basis of the wood anatomy, several types of *Prunus* sp. have been identified in the assemblage, including *Prunus avium/padus* and *Prunus spinosa/mahaleb* types.

The three main groups of plants have been identified through the study of seed and fruit remains. The group with the largest number of documented remains are the crop plants, consisting of cereals and pulses. Among the cereals, *Triticum dicoccum* (emmer wheat) and *Triticum aestivum/durum* (bread wheat) are the most well-represented. The other cereals are secondary, mainly represented by *Hordeum* sp., but also including hull-less or “naked” barley (*Hordeum vulgare nudum*), einkorn wheat (*Triticum monococcum*) and oats (*Avena* sp.), which are documented in much lower proportions. Spikelet forks and rachis fragments are abundant in those levels, with a high concentration of emmer and bread wheat caryopses. The group of pulses predominantly comprises *Pisum sativum* (pea), and *Vicia* sp. (vetches), both present in low quantities.

Woodland species are present throughout the entire seed assemblage, although they are not abundant. Identified taxa belonging to this group include *Cornus* cf. *mas* (Cornelian cherry), *Corylus avellana* (hazel), *Pinus* sp. (pine), *Quercus* sp. (acorn) and *Sambucus ebulus* (dwarf elderberry). The Rosaceae family is also present, represented by *Rubus* sp., *Rubus fruticosus* (blackberry), *Rubus idaeus* (raspberry) and, in a lower proportion, *Prunus* sp., *Prunus avium* (wild cherry), *Prunus cerasus* (sour cherry) and *Prunus spinosa* (blackthorn). Some seeds ascribed to the Rosaceae have only been identified to the family level.

Finally, the most taxonomically diverse assemblage is that of the synanthropic plants. Forty-six different taxa have been identified corresponding to this group, mainly weed species such as *Chenopodium album* (fat-hen), *Chenopodium/Amaranthus*, *Melilotus* sp. (melilot), *Polygonum* sp. (knotweed), and *Trifolium* sp. (clover) (Table 15.2).

15.4.3 Humans

15.4.3.1 Teeth

The Bronze Age individuals from El Mirador cave show mild to moderate occlusal attrition. Individual I has exposed dentine on their deciduous molars, corresponding with age at death. The adult individuals do not show high levels of dental attrition and dentine exposure. Individual II shows stage 2 occlusal wear. The teeth of Individuals III and IV have some small areas of exposed dentine corresponding to stage 3. Individual V displays more occlusal wear, corresponding to stage 5, and Individual VI, the oldest, shows the greatest degree of attrition, with stage 6 wear and exposed dentine on all the teeth.

The teeth from all the individuals from El Mirador cave have dental microwear features on the buccal surface; the microwear results are shown in Table 15.3,

Table 15.2 Possible uses of the synanthropic identified taxa

Taxa	Edible		Medicinal	Fodder	Other	PPAF rating (x/5)		Reference
	Seeds, fruits, flowers	Leaves, shoots				Edibility	Medicinal value	
<i>Ajuga chamaepitys</i>			x			0	2	PPAF database (2021); Israili & Lyoussi (2009)
<i>Ajuga reptans</i>		x	x			2	3	PPAF database (2021); Israili & Lyoussi (2009)
<i>Astragalus</i> sp.	x		x	x		Np	Np	Amiri et al. (2020)
<i>Bromus mollis</i>	x			x		Np	Np	CABI database (2021)
<i>Chenopodium album</i>	x	x	-	x		3	2	PPAF database (2021); Mueller-Bieniek et al. (2019)
<i>Chenopodium hybridum</i>	x	x	-			2	1	PPAF database (2021)
<i>Fumaria officinalis</i>		-	x		Yellow dye from flowers	1	3	PPAF database (2021)
<i>Galium aparine</i>	x	x	x	x	Red dye from the roots	2	3	CABI database (2021)
<i>Lathyrus</i> sp. (<i>L. sativus</i>)	x			x		2	1	Peña-Chocarro & Zapata 1999a, b)
<i>Lithospermum arvense</i>	-		-			1	1	PPAF database (2021)
<i>Lithospermum officinale</i>		x	x		Purple dye from the roots	1	2	PPAF database (2021)
<i>Lolium</i> sp. (<i>L. perenne</i>)	-		-	x		1	1	PPAF database (2021)
<i>Malva</i> sp. (<i>M. sylvestris</i>)	x	x	x	x	Cream, yellow and green dyes. As fibre for cordage and textiles	3	3	Azab (2017)

(continued)

Table 15.2 (continued)

	Edible		Medicinal	Fodder	Other	PPAF rating (x/5)		Reference
	Seeds, fruits, flowers	Leaves, shoots				Edibility	Medicinal value	
	<i>Medicago</i> sp. (<i>M. sativa</i>)	x						
<i>Melilotus</i> sp.	x	x	-	x	Np	Np	Wallace et al. (2019)	
<i>Papaver</i> sp. (<i>P. rhoeas</i>)	x	x	x		2	3	PPAF database (2021); Benítez et al. (2010)	
<i>Plantago lanceolata</i>	x	x	x	x	2	3	CABI database (2021)	
<i>Polygonum aviculare</i>	x	x			2	3	Bigga et al. (2015)	
<i>Polygonum convolvulus</i>	x			x	1	0	PPAF database (2021)	
<i>Polygonum lapathifolium</i>	x	x	x		1	1	PPAF and CABI databases (2021)	
<i>Polygonum persicaria</i>	-	-	x		1	2	PPAF database (2021)	
<i>Rumex</i> sp.	x	x	x	x	Np	Np	Vasas et al. (2015)	
<i>Scleranthus annuus</i>			-		0	1	PPAF database (2021)	
<i>Stellaria media</i>	x	x	x	x	2	3	Chandra & Rawat (2015)	
<i>Trifolium repens</i>	x	x	x	x	3	2	Berihuete-Azorín et al. (2018); PPAF database (2021)	
<i>Veronica hederifolia</i>			x		0	1	Salehi et al. (2019)	

x Widely recognised use; - Occasionally/rarely recognised use

Table 15.3 Descriptive statistics for buccal microwear by site (El Mirador cave sample and other Spanish Bronze Age populations)

Columal Group	Columal Site	N	TN		XT		NV/TN		NH/TN	
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
El Mirador	Sierra de Atapuerca, Burgos	6	101.44	12.58	186.30	25.68	0.31	0.32	0.26	0.27
Cabezo Redondo	Villena, Alicante	16	110.06	6.86	93.33	9.26	0.37	0.10	0.27	0.07
Tabaïà	Elche, Alicante	8	135	15.71	127.88	25.80	0.39	0.09	0.18	0.10
Cova dels Blaus	Vall d'Uixó, Castellón	6	114.66	4.42	97.15	21.41	0.41	0.09	0.12	0.06
El Cuchillo	Almansa, Albacete	5	193.4	10.88	144.47	8.56	0.45	0.11	0.17	0.03

N number of individuals, SD standard deviation, TN total number of scratches, XT total length of scratches in μm , NV/TN vertical index, NH/TN horizontal index

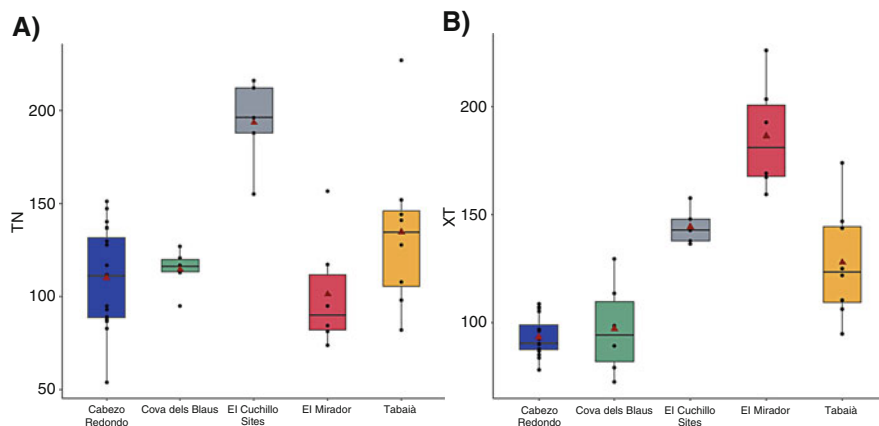


Fig. 15.1 Boxplot showing (a) the total number (TN), and (b) the length of the buccal striations (XT) for the El Mirador cave and the Bronze Age comparison groups

together with a comparison sample of other Spanish Bronze Age populations (Romero et al., 2004).

We calculated whether there were differences in the total number of striations (TN) within the El Mirador cave inhabitants and the other populations, and the results show significant differences after a non-parametric Kruskal-Wallis test ($F = 14.27$; p -value = 0.006). However, after a post-hoc test we can see that the differences are between the El Cuchillo population and the others (Fig. 15.1a). In the case of XT, the results show significant differences after a Kruskal-Wallis test ($F = 28.46$; p -value = $1.00e^{-05}$) and the El Mirador cave sample does present differences from all the others (Fig. 15.1b). As can be seen in Table 15.3, both indexes from the El Mirador cave sample have a high deviation standard, meaning the six individuals have high intra-sample variation.

15.4.3.2 Isotopes

All 25 bone samples from El Mirador showed lower atomic C:N ratios (2.6–2.8) than the range 2.9–3.6 deemed good by De Niro (1985). On the other hand, the collagen yield of >1% by mass, the final carbon yield of >13%, and final nitrogen yield of >4.8% were easily achieved. A lower C:N ratio value indicates preservation issues.

Carbon isotope ratios ranged between -19.6‰ and -18.3‰ , while the nitrogen isotope ratios ranged between 8.2‰ and 11.7‰ .

The results of the bone collagen extraction for carbon and nitrogen stable isotope measurements showed that the diet of all 25 humans in the sample were within a carnivore habit range that used all the subsistence resources in the landscape (Fig. 15.2). This would be principally C3 pathway plants (grains like wheat and barley), terrestrial animals, and possibly marine shellfish. Only one of the samples,

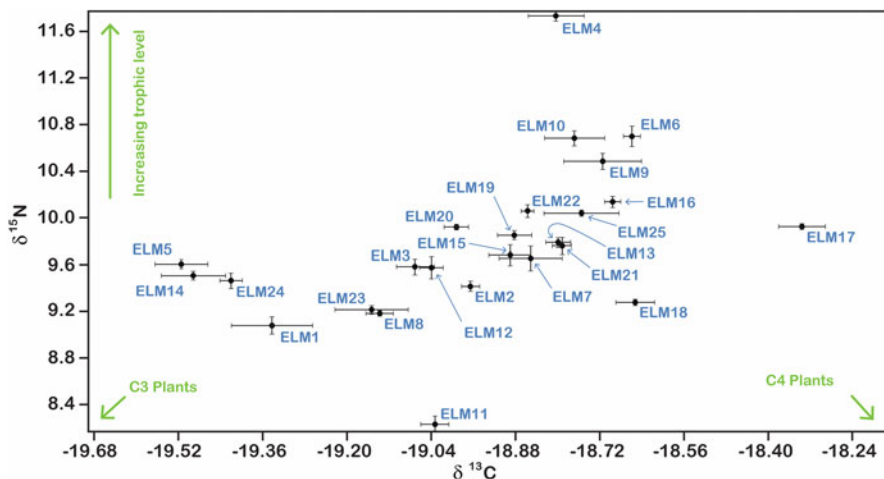


Fig. 15.2 Graphs showing the results of the carbon and nitrogen stable isotope analyses

ELM4, showed a higher $\text{N}\%$ which may be due to freshwater and/or marine fish consumption. However, the quantity of nitrogen is not high enough to identify a clear distinction.

The archeobotanical analysis is in-line with the isotope analysis where a C3 pathway plant-based diet was established for the El Mirador populations. Furthermore, the presence of fish in the cave is reflected in the isotope results, although brown trout remains have only been identified in a different level, fish might have been part of the diet. Similarly, the high number of faunal remains found at the site supports the isotope values suggesting a carnivorous eating habit.

15.5 Discussion

15.5.1 Plant and Animal Food Availability

The closest environment to the cave was a mosaic of woody areas (oaks and riverside taxa), crop fields and open prairies (Rodríguez et al., 2016; Euba et al., 2016; Bañuls-Cardona et al., 2017; Expósito et al., 2017; Bañuls-Cardona and Bisbal-Chinesta, [this volume](#); Expósito et al., [this volume](#); Cano-Cano et al., [this volume](#)), optimal for breeding domestic animals but also providing a habitat for the wild species identified. The occupants of El Mirador cave therefore had access to a broad spectrum of plant foodstuffs in the close vicinity, relying on several procurement strategies, mainly agricultural activities and wild plant gathering. El Mirador cave and its immediate surroundings were favorable for obtaining animal foodstuffs. Domestic animals, especially sheep and goats, would have been kept inside the cave, as

documented by the *fumier* sequence, phytolith, and faunal studies (Burguet-Coca et al., [this volume](#); Martín et al., [this volume](#)). Wooded areas combined with grasslands are the habitat of wild cats, red deer, and roe deer (Salvador & Barja, 2017), whereas the latter are also adapted to the more open, degraded areas, documented in Bronze Age levels (Euba et al., 2016; Expósito et al., 2017; Rodríguez et al., 2016). Wild boar, rabbits, badgers, and foxes show great habitat plasticity, while tawny owls are also adapted to forested areas, as are pigeons and corvids (Salvador & Barja, 2017). Finally, open landscapes are suitable habitats for wild horses (Sommer et al., 2011). The Arlanzón River, a traditional trout river, located a few hundred meters from the El Mirador cave, was probably the source of the trout recovered from the cave (Blanco-Lapaz & Vergès, 2016).

15.5.2 Food Acquisition

The plant and animal diet of the El Mirador cave populations was based on the consumption of domestic species. Livestock rearing and hunting were the main methods for obtaining animal foodstuffs, whereas agriculture and wild plant gathering contributed to plant foods. The consumption of domestic plants was particularly based on winter cereals, such as the hulled wheats *Triticum dicocum* (emmer) and *T. monocum* (einkorn), in addition to *T. aestivum/durum* (bread/durum wheat), a naked wheat. These cereals would be potentially harvested in the hot seasons, although they were probably stored for later consumption, to reduce seasonal food risks. In later chronologies, free-threshing cereals like bread/durum wheat and naked barley (*Hordeum vulgare* var. *nudum*) became the staple crops.

The elevated presence of hulled grains (einkorn and emmer) in the earlier phases seems to contradict the situation documented in other regions on the Iberian Peninsula, such as Catalonia, Valencia and Andalusia (Peña-Chocarro & Pérez-Jordà, 2018; Zapata Peña et al., 2004) and it is likely to be a response to the natural and cultural conditions of the region (Pérez-Jordà et al., 2003), as these species are generally more resistant to diseases and have the ability to withstand drought and harsher conditions (Corbellini et al., 1999; for further discussion see Cano-Cano et al., [this volume](#)). Legumes are usually harvested during the colder months (as is the case for *Pisum*, *Lathyrus*, and *Vicia*), although they could also have been stored afterwards.

The husbandry strategies employed at El Mirador cave, documented from the mortality profiles, incorporated the use of meat and, probably, milk from domestic caprines and cattle. Although determining whether there were domestic pigs at El Mirador cave is complex, given, among other factors, the low number of remains and their high degree of fragmentation, it can also be assumed that the meat of these animals was eaten. Finally, it is also worth mentioning the consumption of dog. Although this was occasional, dog meat was also part of the diet of the El Mirador cave herders (Martín et al., 2014).

Along with these products, it is likely that the viscera and blood of these animals was also consumed. Traditionally, this type of product was eaten by herders, in an attempt to optimize the resources provided by domestic animals (Evans-Pritchard, 1977; Leizaola, 2005). The use of milk and its derivatives (cheese, cottage cheese, yogurt, buttermilk) was very common among shepherds, becoming one of the main elements of the diet of herders who moved with their animals (Leizaola, 2005).

This same optimization of the resources provided by the environment has also traditionally led herders to combine husbandry with hunting (Leizaola, 2005). From the Early Neolithic onwards, the practice of hunting continued, and hunted prey was significant in the Iberian herder's diet (Altuna, 1980; Saña, 2013). Around El Mirador cave, herbivores, carnivores and, probably, birds were hunted. Occasional fishing has also been documented (Blanco-Lapaz & Vergès, 2016).

Moreover, the production of edible fruit trees has been identified through the presence of seeds and the charcoal assemblage. At the site, the evidence is related to the gathering of wood for different purposes and, occasionally, to the collection of wild fruits. If the wood for fuel was gathered haphazardously, fruit may have been picked up along with it. Wild fruit gathering has been documented on many occasions at archeological sites as one of the contributions to the hunter-gatherer diet (Aura et al., 2005; Mason & Hather, 2002). Wild fruit gathering was also a common practice among farmers, as arboriculture practices did not begin until later in the third century BCE (Pérez-Jordà et al., 2017, 2021).

The species of wild plants found at El Mirador include fruits like *Rubus fruticosus* (blackberry), *Rubus idaeus* (raspberry), *Cornus cf. mas* (Cornelian cherry), *Prunus avium* (wild cherry), *Prunus cerasus* (sour cherry), and *Prunus spinosa* (blackthorn). These resources rich in sugar and vitamin C would have supplemented a plant diet that was otherwise high in the carbohydrates and proteins provided by staple agricultural foods (Dennell, 1976).

At El Mirador cave, the charcoal assemblage suggests a dominance of deciduous and evergreen oaks throughout the sequence (Expósito et al., [this volume](#); Cano-Cano et al., [this volume](#)). This has been related to the use and management of these forests, concomitant to their exploitation for fuel, fodder, and wood for other purposes (Cano-Cano et al., [this volume](#)). Despite the abundance of oaks in the charcoal assemblage (50–80%) the presence of acorns is scarce and not continuous throughout the sequence. The use of acorns as a food resource had been a regular practice since the Paleolithic (Mason, 1992, 1995, 2000). Acorns are recorded as a staple at a number of sites (Antolín & Jacomet, 2015; Aura et al., 2005; Deforce et al., 2009; Kislev et al., 1992). Despite the importance of oak trees since the early Holocene, their exploitation has only been evidenced in central European contexts (Deforce et al., 2009) and specific mountain regions on the Iberian Peninsula (Alcolea et al., 2017; Moreno-Larrazabal et al., 2014; Zapata Peña et al., 2008). In this latter zone, there is an uneven distribution of sites with significant amounts of acorns. Sites located in mountainous areas, such as Cueva de Chaves (Alcolea et al., 2017), Iritegi cave (Moreno-Larrazabal et al., 2014), and Cova Gran (N. Alonso pers. com.) have yielded evidence of large quantities in hearths or pits. These pits have been interpreted as part of the acorn roasting or drying process, in order to

preserve them. In addition, the production of gluten-free flour cooked as cakes has been suggested at several sites (Ayerdi et al., 2016; Kadlčková et al., 2011; Silva et al., 2016). It is important to note that some oak species require the tannins to be removed and the acorns ground into flour (Deforce et al., 2009; Mason, 1992, 1995).

Acorn consumption in pre-agrarian societies has been postulated as an important resource, with good nutritional properties and the possibility of them being used as flour. However, when cereal production was introduced on the Iberian Peninsula, this rapidly became the main staple (Zapata et al., 2004; Antolín & Jacomet, 2015). Cereal consumption is a less risky strategy, as the intensification of forest management activities related to livestock rearing could damage the reproductive potential of oaks (Delhon et al., 2009). Around El Mirador cave, the intensification of livestock activity and the growing extensions of crop fields might have reduced the oak forests and damaged acorn production, preventing their systematic use as a staple foodstuff.

15.5.3 Food Processing and Consumption

The evidence of plant foodstuff production, procurement, processing, and consumption differs among the agricultural and gathered species. The modification processes involved in food preparation (i.e., cereal threshing, milling, drying, leaching, cooking) are vital for improving nutrient accessibility and reducing the indigestible component. At El Mirador cave there is evidence of crop-processing and agriculture, mainly from phytolith and seed analyses (Cabanès et al., 2009). Given the important presence of husk phytoliths and cereal chaff fragments, we can hypothesize that the crop-processing stages of threshing/winnowing or the milling/pounding of the cereals took place inside the cave, or in the close vicinity. Another possibility to explain this archeobotanical evidence within the cave itself could be the use of chaff as fodder or animal bedding.

Milling and other forms of plant resource processing are further confirmed by the recovery of lithic remains identified as mill fragments, mill-grinders and possibly boil-stones or pan-stones (Vergès et al., 2016; Guardiola & Urbina, [this volume](#)). Globular-shaped pottery remains and bowls have been found throughout the record. These vessels could have been used to cook and store different plant materials and foodstuffs (Oms et al., [this volume](#)). Analysis of the residues on the surfaces of the stone artefacts and vessels is currently being carried out to better understand the food processing techniques adopted by El Mirador cave herders.

With respect to the nutritional value of the hulled variants, despite lower productivity and fiber quantity, protein per grain and flour yield from milling is higher from einkorn grains than polyploid wheats like *T. aestivum* or *T. turgidum* (Békés et al., 2017). Hulled wheats need some form of processing to remove the grain from the chaff, such as pounding in a mortar with a pestle, or milling. Consequently, these are usually consumed in soups, as semolina or porridges (Corbellini et al., 1999; Peña-Chocarro & Zapata Peña, 1997). These cereals can also be ground to flour for baking

flat bread, but they would not make a raised leavened loaf like bread wheat flour does, due to the difference in their glutens (Moffett, 2011). The chaff elements of these wheats were also used as fodder and bedding for the herds (Peña-Chocarro & Zapata, 2014; Zapata Peña, 2002). The free-threshing wheat *T. aestivum/durum* has a superior baking quality and improved yield potential when compared to other cereal crops (Kirleis & Fischer, 2014; Venske et al., 2019). This type of wheat requires less complex processing, usually threshing, winnowing, and coarse sieving (Alonso et al., 2014). Milled bread wheat could have been consumed as leavened bread, cakes, groats, semolina, in stews, or porridge-like foodstuffs. The grains could also have been consumed directly once boiled, steamed, or roasted. Barley is high in calories, like *T. aestivum* (Bates et al., 2018). Naked barley requires a similar plant processing system as bread wheat and could have been consumed in a comparable fashion. The hulled form requires more labor-intensive threshing, has been found to contain less protein than the naked form (Riehl, 2019), and makes a lower quality flour (Šálková et al., 2012).

Furthermore, pulses could also have played a very important role in the diet of the inhabitants of the site. These plants are exceptionally rich in protein, which would have complemented the high carbohydrate intake from the cereal crops. The seed record from El Mirador cave includes cultivated legumes like peas (*Pisum sativum*), vetch (*Vicia* sp.) and, in lesser quantities, *Lens* sp., *Lathyrus* sp., and other unidentified Fabaceae. The food processing and preparation techniques required for pulses are difficult to assess in the archeological record as these are generally easy to extract from their pods and could have been consumed directly (Peña-Chocarro & Zapata, 1999a, b) or boiled in stews and purees. They could have also been ground into flour and, since their processing does not require them to be dried, they are unlikely to have become charred. Certain species of *Lathyrus* sp. and *Vicia* sp. contain toxic substances that can be eliminated by roasting or leaching prior to consumption (Atalay & Hastorf, 2006; Morales, 2018).

Wild fruits, including drupes and fleshy fruits, could either have been consumed in the place where they were gathered, or collected and consumed in the settlement (Alonso-Martínez, 2000), raw or as juices, alcohol, or infusions (Menendez-Baceta et al., 2012) (Fig. 15.3). Large amounts may have been obtained when in season but due to their mode of consumption, wild fruit remains are often not preserved in the seed record. Remains of *Sambucus ebulus* (dwarf elderberry) have also been found from the last phases of cave occupation. However, despite its edible fruits, it has been related to animal browsing activities due to its toxicity (Rodríguez & Buxó, 2008).

The complete butchering of sheep and goats is documented at El Mirador cave, in addition to cattle in some levels. The butchering of other taxa probably took place, at least in part, outside the cave. Among the different phases of butchering, meat extraction is the most well documented at El Mirador cave. This may have been related to the extraction of meat for immediate consumption and its subsequent preparation and preservation, for example, by salting or sun-drying. However, the scarcity of large storage containers or silos at El Mirador cave means that the preservation technique is difficult to document.

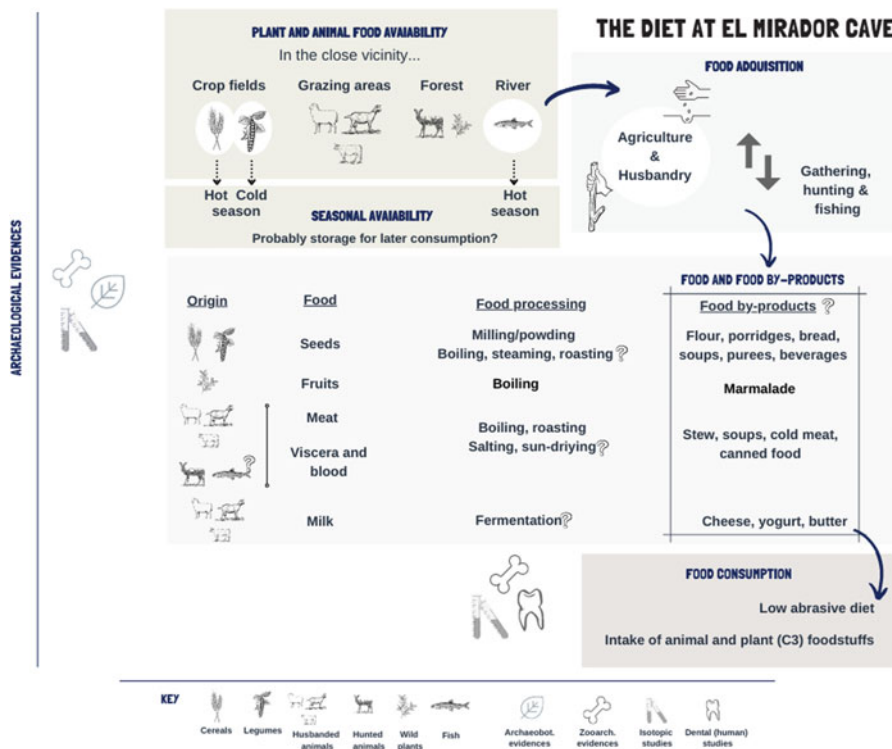


Fig. 15.3 El Mirador cave diet schema based on the data presented in this chapter

An important part of the cooking and consumption of animal food must have taken place inside the cave, as evidenced by the human tooth marks and peeling, as well as the predominance of small ceramic vessels related to these two processes (Oms et al., [this volume](#)). The main cooking technique documented at El Mirador cave is boiling, evidenced by the smoother and lighter surfaces and more transparent bones. The significant percentage of long-bone breakage could also have been related to this boiling process, both to make it easier for the carcasses to fit into the containers and to facilitate the dissolution of the fats in the boiling water (Fig. 15.3).

Documenting roasting at El Mirador cave is problematic. It is difficult to establish whether the evidence of burning recorded on some of the bone remains is due to roasting or was caused during the systematic and periodic burning of dung in the cave. The presence of double coloration on the same bone surface has been interpreted as an indication of roasting, on the basis that the presence of meat causes bone surfaces with non-uniform coloration (Bennett, 1999; Cain, 2005; Nicholson, 1993). However, we have observed through experimental work (Martín-Rodríguez & Vergès, 2016) that burning bones (with no meat) in manure can produce the same double coloration. This is because dung burning does not produce flames and the heat propagation is uneven (Vergès, 2011).

In terms of using the herd for food, one of the main determinants in diet is the seasonality of resource availability (Atalay & Harstorf, 2006; Señorán, 2007). Mortality profiles, together with data on the season of births, provided by isotopic analyses ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) of sheep from the sixth and fifth millennium cal BCE levels (Martín et al., 2021; Martín et al., [this volume](#)), indicate particularly intense slaughtering of sheep in the spring months and exploitation of their tender meat. However, the fact that lambing has also been documented in autumn could indicate that the meat was used throughout most of the year. The same would be true of milk, as this deseasonalization of births would make it possible to use the milk of the females during almost the entire year. Future work is necessary to verify whether this trend can be confirmed throughout the whole sequence.

We must also consider other provable wild foodstuffs. The butchering marks, identified on the remains of the wild species at El Mirador cave, indicate that these animals also formed part of the diet of these herders, being particularly important from the Late Neolithic and Bronze Age (Martín et al., [this volume](#)). These animals must have been a good alternative for obtaining meat (in addition to other resources), perhaps minimizing the need to slaughter domestic animals. The amount of meat and viscera provided, especially by horses and deer, would therefore have been especially important in some levels (Martín et al., [in press](#)). According to the ethnographic data, the herders of El Mirador cave are likely to have used their outings with their livestock to hunt small or medium-sized prey, such as foxes, rabbits, or badgers, normally using traps or small snares (Zabala & Saloña, 2005). In addition, the hunting of carnivores as well as larger prey (wild horses, deer, roe deer, wild boar) could have been related to strategies to defend the livestock and farmland against attacks by these potential predators (Zabala & Saloña, 2005; Martín et al., 2021). Although the consumption of carnivores was not a common practice, there are ethnographic references, particularly from the northern part of the Iberian Peninsula, where this practice is mentioned, and the herders considered the meat of these animals a delicacy (Leizaola, 2008). Among the wild animal species, the only one that provides information on the seasonality of their capture is the trout, identified in the Neolithic levels MIR19 and MIR20. These were caught during the spring-summer (Blanco-Lapaz & Vergès, 2016). These wild foodstuffs could have played a vital role in seasonal food production especially during food shortages or towards the end of winter and in spring when fresh crop products were scarce.

15.5.4 What Were they Really Eating?

The dental microwear pattern of the Bronze Age human sample from El Mirador cave indicates a low abrasive diet. The more abrasive a diet is, the more dental microwear features are left on tooth surfaces, as longer chewing time is required. In contrast, food that is soft and highly processed remains in the oral cavity for less time and abrades the dental surfaces to a lesser extent (Molleson et al., 1993; Romero et al., 2004, 2012; Lalueza et al., 1996; Teaford et al., 2001; Teaford & Lytle, 1996).

In the case of the El Mirador cave individuals, the central trends are similar, showing a lower mean number of striations (TN) than other Bronze Age populations from the Iberian Peninsula. This lower number of striations (TN) on the buccal surfaces can be explained in terms of soft food texture.

To refine our interpretation of the physical properties of the foodstuffs, we must consider other microwear variables such as the length of the striations (XT), as this is also used to establish diet (Pérez-Pérez et al., 1994). The individuals from El Mirador cave have longer striations than seen in other Bronze Age populations from Iberian Peninsula with known diets that include plant and animal foodstuffs. When striations are scarce, they are typically longer than when there is a high number of striations (Pérez-Pérez et al., 2003). Indeed, this is the trend seen in the El Mirador cave teeth. The comparative Bronze Age populations also had a mixed subsistence economy, integrating agriculture and animal husbandry (Romero et al., 2004). Although the cultural background was the same as the other Bronze Age samples, the less abrasive diet of the individuals at El Mirador cave can be explained by the inclusion of soft food, as this requires little mastication and generates less microwear.

However, interpreting diet is a complex issue and evidence of animal and plant resources is not the only key to understanding microwear patterns; data from dental macrowear and dental pathologies must also be taken into account. The occlusal macrowear of the six Bronze Age individuals is mild to moderate, indicating low mastication loads characteristic of soft diets. Highly processed foodstuffs of both animal and vegetable origin could be included in a soft and low-abrasive diet, as the number of abrasive particles decreases (Schmidt et al., 2015, 2019; Teaford & Lytle, 1996). The evidence of dental caries and dental calculus among the Bronze Age individuals (see Lozano et al., [this volume](#)) supports the intake of animal and plant foodstuffs. The presence of occlusal policaries, or multiple caries per individual, show the intake of moderate levels of soft and sticky foodstuffs rich in sugar and carbohydrates. As we have seen above, cereals, pulses, and wild fruits were consumed, not only by Bronze Age individuals but also by Chalcolithic inhabitants. All of these plant foodstuffs need a great deal of prior preparation to be eaten in soft textures, such as bread, porridges, soups, beverages, and so on. The use of pottery vessels for cooking and serving changed the physical composition of food, making it softer and easier to eat. These soft-consistency foodstuffs needed less chewing effort, and the food spent less time in the mouth (Bernal et al., 2007; Mahoney, 2006). Cereals and other plant-products consumed with soft and sticky textures, such as flour made into porridge (Soltysiak, 2011), are highly cariogenic because their texture means they adhere to dental fissures and interproximal surfaces, causing dental decay.

On the other hand, raw meat is recognized as a tough food that needs a significant amount of work to cut with human teeth (Lucas & Peters, 2000; El-Zaatari et al., 2010). However, it is not a hard substance and does not scratch dental enamel (Organ et al., 2005). Moreover, cooking meat substantially reduces chewing effort. There is evidence that at El Mirador cave meat was eaten boiled or roasted, and other products that made up the diet, such as dairy, also have a soft texture. The presence of dental calculus strongly supports the fact that the individuals from both the Bronze

Age and Chalcolithic from El Mirador cave had a high animal protein intake (Lozano et al., [this volume](#)).

In this sense, the oral pathologies documented on the teeth from individuals from the Chalcolithic burial evidence a mixed diet including large quantities of animal protein. The results of the isotope analysis for this group also support these data, providing evidence for a wide-ranging diet that included C3 pathway plants (barley, wheat, winter crops), meat and dairy products and which was occasionally supported by freshwater fish.

These data differ from other Late Neolithic/Chalcolithic samples in the Northern Meseta that show lower isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) values linked with a diet with high consumption of plant resources (Fernández-Crespo & Schulting, 2017). Whereas molecular and isotopic analyses of lipids from pottery inform about the dairy integration in the Iberian Peninsula groups diet from the Early Neolithic period (Cubas et al., 2020; Spiteri et al., 2016). In this sense, milk residues were identified in Northern Europe Neolithic pierced potsherds previously interpreted as cheese strainers (Salque et al., 2012) and also located in different prehistoric Iberian Peninsula sites.

In El Mirador cave, some of the high isotope values can also be attributed to legume consumption as these are rich in plant proteins that we cannot distinguish through isotope analysis. However, considering the carnivorous diet evidenced by the isotope analysis, we conclude that the high values are most likely due to a combination of animal and plant protein. While we have no isotope analysis from wild animals in the region, a holistic approach using tooth analysis together with isotopes has reinforced the archeobotanical and zooarcheological results, providing a detailed look into the food processing and consumption methods of the El Mirador cave populations.

15.6 Conclusion

Data from archeobotanical, zooarcheological, dental microwear, and isotope analyses support one another in terms of determining food consumption at El Mirador cave. There is sufficient evidence to suggest a diet based on both animal and plant foodstuffs. Animal husbandry and agricultural activities provided the main components of the diet, which were processed and consumed in different forms. However, the inhabitants of El Mirador cave also consumed wild resources that complemented this diet.

One of the most interesting issues is the integration of dairy products. This could be related to the deseasonalization of domestic animal birthing, identified through isotope analysis ($\delta^{18}\text{O}$) of the bioapatite in the tooth enamel of two sheep from the fifth millennium occupations (Martín et al., 2021; Martín et al., [this volume](#)). In addition, the presence of mixed sheep and goat flocks at El Mirador cave, with the second being the best milk producers, may also be indirect evidence of the use of dairy foodstuffs. Identifying milk use based on cattle mortality profiles is more

complex; modern production systems have succeeded in altering the milk release reflex in cattle, which naturally requires proximity to the calf (Balasse & Tresset, 2002; Vigne, 2008).

On the other hand, the data on food processing and consumption obtained through phytolith and seed analyses evidences crop-processing. An elevated presence of husk phytoliths and cereal chaff suggests that the milling or pounding of cereals occurred inside the cave.

Furthermore, a low abrasive diet was identified for individuals ascribed to the Bronze Age, related to eating soft food, such as meat or dairy products, together with thorough food processing methods, including the use of pottery vessels.

Acknowledgements This research has been funded by AGAUR (2017 SGR 1040 and 2017-SGR 836), URV (2018PFR-URV-B2-91) and MICINN-FEDER PGC2018-093925-B-C32). The Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA) has received financial support from the Spanish Ministry of Science and Innovation through the María de Maeztu program for Units of Excellence (CEX2019-000945-M). The research carried out by N.C-C has been funded by AGAUR 2021FI_B00661 fellowship.

References

- Alcolea, M., Utrilla, P., Piqué, R., Laborda, R., & Mazo, C. (2017). Fuel and acorns: Early Neolithic plant use from Cueva de Chaves (NE Spain). *Quaternary International*, 457, 228–239.
- Allué, E., Expósito, I., Tumung, L., Ollé, A., & Bazgir, B. (2018). Early evidence of *Prunus* and *Prunus* cf. *amygdalus* from Palaeolithic sites in the Khorramabad Valley, western Iran. *Comptes Rendus Palevol*, 17(6), 335–345.
- Alonso-Martínez, N. (2000). Registro arqueobotánico de Cataluña occidental durante el II y I milenio a.n.e. *Complutum*, 11(11), 221–238.
- Alonso, N., Cantero, F. J., Jornet, R., López, D., Montes, E., Prats, G., & Valenzuela, S. (2014). Milling wheat and barley with rotary querns: The Quarten women (Dahmani, Kef, Tunisia). *Seen through a millstone. Arkeologisk museum*, 11–30.
- Altuna, J. (1980). Historia de la domesticación animal en el País Vasco desde sus orígenes hasta la romanización. *Munibe. Sociedad de Ciencias Naturales Aranzadi (San Sebastian)*, 32(1–2), 9–163.
- Ambrose, S. H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*, 17, 431–451.
- Amiri, M. S., Joharchi, M. R., Nadaf, M., & Nasseh, Y. (2020). Ethnobotanical knowledge of *Astragalus* spp.: The world's largest genus of vascular plants. *Avicenna journal of phytomedicine. Mashhad University of Medical Sciences*, 10(2), 128–142.
- Antolín, F., & Jacomet, S. (2015). Wild fruit use among early farmers in the Neolithic (5400–2300 cal bc) in the north-east of the Iberian Peninsula: An intensive practice? *Vegetation History and Archaeobotany*, 24(1), 19–33.
- Antolín, F., & Buxó, R. (2011). Proposal for the systematic description and taphonomic study of carbonized cereal grain assemblages: A case study of an early Neolithic funerary context in the cave of Can Sadurní (Begues, Barcelona province, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany*, 20(1), 53–66.
- Atalay, S., & Hastorf, C. A. (2006). Food, meals, and daily activities: Food habitus at Neolithic Catalhöyük. *American Antiquity*, 71(2), 283–319.

- Aura, J. E., Carrión, Y., Estrelles, E., & Jorda, G. P. (2005). Plant economy of hunter-gatherer groups at the end of the last Ice Age: Plant macroremains from the cave of Santa Maira (Alacant, Spain) ca. 12000–9000 BP. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14(4), 542–550.
- Ayerdi, M., Echazarreta-Gallego, A., de Francisco-Rodríguez, S., Hernández, H. H., & Sarasketa-Gartzia, I. (2016). Acorn cake during the Holocene: Experimental reconstruction of its preparation in the western Pyrenees, Iberia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 25(5), 443–457.
- Azab, A. (2017). Malva: Food, medicine and chemistry. *European Chemical Bulletin*, 6(7), 295–320.
- Balasse, M., & Tresset, A. (2002). Early weaning of neolithic domestic cattle (Bercy, France) revealed by intra-tooth variation in nitrogen isotope ratios. *Journal of Archaeological Science*, 29, 853–859.
- Bañuls-Cardona, S., & Bisbal-Chinesta, J. F. (this volume). Small vertebrate accumulations from El Mirador cave: A climate and ecological analysis. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Bañuls-Cardona, S., López-García, J. M., Hidalgo, J. I. M., Cuenca-Bescós, G., & Vergès, J. M. (2017). Lateglacial to Late Holocene palaeoclimatic and palaeoenvironmental reconstruction of El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) using the small-mammal assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 471, 71–81.
- Bates, J., Petrie, C. A., & Singh, R. N. (2018). Cereals, calories and change: Exploring approaches to quantification in Indus archaeobotany. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Springer Verlag, 10(7), 1703–1716.
- Békés, F., Schoenlechner, R., & Tömösközi, S. (2017). Ancient wheats and pseudocereals for possible use in cereal-grain dietary intolerances. In *Cereal grains: Assessing and managing quality* (2nd ed., pp. 353–389). Elsevier Inc.
- Benítez, G., González-Tejero, M. R., & Molero-Mesa, J. (2010). Pharmaceutical ethnobotany in the western part of Granada province (southern Spain): Ethnopharmacological synthesis. *Journal of Ethnopharmacology*, 129, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.02.016>
- Bennett, J. L. (1999). Thermal alteration of buried bone. *Journal of Archaeological Science*, 26(1), 1–8.
- Berihuete-Azorín, M., Arranz-Otaegui, A., & López-Dóriga, I. L. (2018). Estructuras vegetales subterráneas de almacenamiento en la Península Ibérica. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro. *Cadernos do GEEvH*, 7(2), 138–161.
- Bernal, V., Novellino, P., González, P., & Pérez, I. (2007). Role of wild plants foods among Late Holocene Hunter-Gatherers from Central and North Patagonia (South America): An approach from dental evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, 133, 1047–1059.
- Bigga, G., Schoch, W. H., & Urban, B. (2015). Paleoenvironment and possibilities of plant exploitation in the middle Pleistocene of Schöningen (Germany). Insights from botanical macro-remains and pollen. *Journal of human evolution*, 89, 92–104.
- Binford, L. R. (1981). *Bones. Ancient men and modern myths*. Academic.
- Blanco-Lapaz, A., & Vergès, J. M. (2016). Fish remains from the Neolithic site of El Mirador cave (Atapuerca, Spain): Seasonality and resource management. *Comptes Rendus Palevol*, 15(6), 745–751.
- Blumenschine, R. J. (1994). Percussion marks, tooth marks, and experimental determinations of the timing of hominid and carnivore access to long bones at FLK Zizanthropus, Olduvai Gorge, Tanzania. *Journal of Human Evolution*, 29, 21–51.
- Bosch, P., Alemán, I., Moreno-Castilla, C., & Botella, M. (2011). Boiled versus unboiled: A study on Neolithic and contemporary human bones. *Journal or Archaeological Science*, 38(10), 2561–2570.
- Brothwell, D. R. (1981). *Digging up bones: The excavation, treatment, and study of human skeletal remains*. Cornell University Press.
- Burguet-Coca, A., del Valle, H., Expósito, I., Herrejón Lagunilla, Á., Buitkute, E., Cabanes, D., et al. (this volume). The *fumier* sequence of El Mirador cave: An approach to fire as a

- sociocultural practice and taphonomic agent. E. Allué, P. Martín, J.M. Vergès, (Eds.) Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. *Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer
- Cabanes, D., Burjachs, F., Expósito, I., Rodríguez, A., Allué, E., Euba, I., & Vergès, J. M. (2009). Formation processes through archaeobotanical remains: The case of the bronze age levels in El Mirador cave, sierra de Atapuerca, Spain. *Quaternary International*, 193(1–2), 160–173.
- CABI. (2021). *Invasive species compendium*. CAB International. www.cabi.org. Accessed 4 April 2021.
- Cáceres, I., Lozano, M., & Saladié, P. (2007). Evidence for bronze age cannibalism in El Mirador cave (sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *American Journal of Physical Anthropology*, 133, 899–917.
- Cain, C. R. (2005). Using burned animal bone to look at middle stone age occupation and behavior. *Journal of Archaeological Science*, 32, 873–884.
- Cano-Cano, N., Buguet-Coca, A., Euba, I., Expósito, I. & Allué, E. (this volume). Agriculture and forest management at El Mirador cave. In E. Allué, P. Martín, J.M. Vergès, (Eds.) Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. *Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Cappers, R. T., Bekker, R. M., & Jans, J. E. (2012). *Digital seed atlas of the Netherlands* (Vol. 4). Barkhuis.
- Chabal, L., Fabre, L., Terral, J. F., & Théry-Parisot, I. (1999). L'anthracologie. *La botanique*, 43–104.
- Chandra, S., & Rawat, D. S. (2015). Medicinal plants of the family Caryophyllaceae: a review of ethno-medicinal uses and pharmacological properties. *Integrative Medicine Research*, 4(3), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2015.06.004>
- Corbellini, M., Empilli, S., Vaccino, P., Brandolini, A., Borghi, B., Heun, M., & Salamini, F. (1999). Einkorn characterization for bread and cookie production in relation to protein subunit composition. *Cereal Chemistry*, 76(5), 727–733.
- Cubas, M., Lucquin, A., Robson, H. K., Colonese, A. C., Arias, P., Aubry, B., . . . Craig, O. E. (2020). Latitudinal gradient in dairy production with the introduction of farming in Atlantic Europe. *Nature Communications*, 11(1), 1–9.
- Daegling, D. J., Hua, L. C., & Ungar, P. S. (2016). The role of food stiffness in dental microwear feature formation. *Archives of Oral Biology*, 71, 16–23.
- De Niro, M. J. (1985). Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to Palaeodietary reconstruction. *Nature*, 317, 806–809.
- Deforce, K., Bastiaens, J., Van Calster, H., & Vanhoutte, S. (2009). Iron age acorns from Boezinge (Belgium): The role of acorn consumption in prehistory. *Archaologisches Korrespondenzblatt*, 12(3), 381.
- Delhon, C., Thiébaud, S., & Berger, J. F. (2009). Environment and landscape management during the middle Neolithic in southern France: Evidence for agro-sylvo-pastoral systems in the middle Rhone Valley. *Quaternary International*, 200(1–2), 50–65.
- Dennell, R. W. (1976). The economic importance of plant resources represented on archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*, 3(3), 229–247.
- El-Zaatari, S. (2010). Occlusal microwear texture analysis and the diets of historical/prehistoric hunter-gatherers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 20(1), 67–87.
- Euba, I., Allué, E., & Burjachs, F. (2016). Wood uses at El Mirador cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. *Quaternary International*, 414, 285–293.
- Evans-Pritchard, E. E. (1977). *Los Nuer*. Anagrama.
- Expósito, I., Allué, E., & Burjachs, F. (this volume). Vegetation and climate at El Mirador cave: Exploring the beginning of the cultural landscapes. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.

- Expósito, I., Burjachs, F., & Vergès, J. M. (2017). Human trace on the landscape during the Holocene at El Mirador cave (sierra de Atapuerca, Spain): The palynological evidence. *The Holocene*, 27, 1201–1213.
- Farquhar, G. D. (1983). On the nature of carbon isotope discrimination in C4 species. *Functional Plant Biology*, 10(2), 205–226.
- Fernández-Crespo, T., & Schulting, R. (2017). Living different lives: Early social differentiation identified through linking mortuary and isotopic variability in late Neolithic/early chalcolithic north-Central Spain. *PLoS One*, 12(9), e0177881.
- Fernández-Crespo, T., Schulting, R. J., Ordoño, J., Rojo-Guerra, M., Sesma-Sesma, J., García-Gazólaz, J., Altuna, J., Mariezkurrena, K., & Arias, P. (2019). Isotopic evidence of strong reliance on animal foods and dietary heterogeneity among early-middle Neolithic communities of Iberia. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 546–5481.
- Fernández-Jalvo, Y., & Andrews, P. (2011). When humans chew bones. *Journal of Human Evolution*, 60, 117–123.
- Fraser, R. A., Bogaard, A., Schafer, M., Arbogast, R., & Heaton, T. H. E. (2013). Integrating botanical, faunal and human stable carbon and nitrogen isotope values to reconstruct land use and palaeodiet at LBK Vaihingen an der Enz, Baden-Württemberg. *World Archaeology*, 45(3), 492–517.
- Fujita, H., Asakura, K., & Ogura, M. (2007). Age- and sex-related dental caries prevalence in Japanese from the Jomon period. *Journal of Oral Biosciences*, 49(3), 198–204.
- Galbany, J., Martínez, I., & Pérez-Pérez, A. (2004). Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: Methodological obstacles. *Anthropologie*, XLII, 5–12.
- Gordon, K. (1984). Microfracture patterns of abrasive wear striations on teeth indicate directionality. *American Journal of Physical Anthropology*, 63, 315–322.
- Grine, F. E. (1986). Dental evidence for dietary differences in Australopithecus and Paranthropus: A quantitative analysis of permanent molar microwear. *Journal of Human Evolution*, 15, 783–822.
- Guardiola, M., & Urbina, E. (this volume). Lithic technology at El Mirador cave. A diachronic study of the stone tools. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Gumerman, G., IV. (1997). Food and complex societies. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 4, 105–139.
- Halstead, P., Collins, P., & Isaakidou, V. (2002). Sorting the sheep from the goats: Morphological distinctions between the mandibles and mandibular teeth of adult *Ovis* and *Capra*. *Journal of Archaeological Science*, 29, 545–553.
- Hastorf, C. A. (2016). *The social archaeology of food: Thinking about eating from prehistory to the present*. Cambridge University Press.
- Hernando, R., Willman, J. C., Vergès, J. M., Vaquero, M., Alonso, S., Oms, X., Cebrià, A., Morales, J. I., & Lozano, M. (2020). Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: A case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00997-z>
- Hillson, S. (2005). *Teeth*. Cambridge Manuals in Archaeology.
- Hoefs, J. (2004). *Stable isotope geochemistry* (5th ed.). Springer.
- Iglesias-Bexiga, J., Yustos, M., & Etxeberria-Gabilondo, F. (this volume). Life and death at El Mirador cave: Anthropological and paleopathological analysis of a collective burial. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Iscan, M. Y., & Steyn, M. (2013). *The human skeleton in forensic medicine*. Charles C Thomas Publisher.

- Israïli, Z. H., & Lyoussi, B. (2009). Ethnopharmacology of the plants of genus *Ajuga*. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22(4), 425–462.
- Jacomet, S. (2006). *Identification of cereal remains from archaeological sites*. Basel University.
- Kabukcu, C., & Chabal, L. (2021). *Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts: Achievements and prospects*. Quaternary International. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.004>
- Kadlčková, L. N., Pokornáb, K., Voskaa, V., & Žemličková, A. (2011). Acorns as a food resource. An experiment with acorn preparation and taste. *LANSÁ*, 2, 139–147.
- Kirleis, W., & Fischer, E. (2014). Neolithic cultivation of tetraploid free threshing wheat in Denmark and northern Germany: Implications for crop diversity and societal dynamics of the funnel beaker culture. *Vegetation History and Archaeobotany*. Springer, 23(S1), 81–96.
- Kislev, M. E., Nadel, D., & Carmi, I. (1992). Epipalaeolithic (19,000 BP) cereal and fruit diet at Ohalo II, sea of Galilee, Israel. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 73(1–4), 161–166.
- Kubiak-Martens, L., Brinkkemper, O., & Oudemans, T. F. (2015). What's for dinner? Processed food in the coastal area of the northern Netherlands in the late Neolithic. *Vegetation History and Archaeobotany*, 24(1), 47–62.
- Lalueza-Fox, C., Pérez-Pérez, A., & Turbón, D. (1996). Dietary inferences through buccal microwear analysis of middle and upper Pleistocene human fossils. *American Journal of Physical Anthropology*, 100, 367–387.
- Leizaola, F. (2005). Los pastores no hacen aerobic, evolución en sus hábitos alimentarios. *Zainak*, 27, 193–206.
- Leizaola, F. (2008). Estrategias nutricionales de los pastores vascos: la cecina y otros alimentos de su dieta. *Zainak*, 30, 209–222.
- Lightfoot, E., Boneva, B., Miracle, P. T., Šlaus, M., & O'connell, T. C. (2011). Exploring Mesolithic and Neolithic transition in Croatia through isotopic investigations. *Antiquity*, 85(327), 73–86.
- Lightfoot, E., Ustunkaya, M. C., Przelomska, N., O'connell, T. C., Hunt, V. H., Jones, M. K., & Petrie, C. A. (2019). Carbon and nitrogen variability in foxtail millet (*Setaria italica*) with watering regime. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 34(6).
- López-Costas, O., & Alexander, M. (2019). Paleodiet in the Iberian Peninsula: Exploring the connections between diet, culture, disease and environment using isotopic and osteoarchaeological evidence. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 3653–3664.
- Lozano, M., Gamarra, B., Hernando, R., & Ceperuelo, D. (this volume). Dental and oral pathologies at El Mirador cave (sierra de Atapuerca, Spain). In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Lucas, P. W., & Peters, C. R. (2000). Function of postcanine tooth crown shape in mammals. In M. F. Teaford, M. M. Smith, & M. W. J. Ferguson (Eds.), *Development, function, and evolution of teeth* (pp. 282–291). Cambridge University.
- Mahoney, P. (2006). Dental microwear from Natufian hunter-gatherers and early Neolithic farmers: Comparisons within and between samples. *American Journal of Physical Anthropology*, 130, 308–319.
- Martín, P., Expósito, I., Burguet-Coca, A., Lira, J., Blanco-Lapaz, A., & Tornero, C. (this volume). Husbandry and wild animal exploitation. Characteristics and evolution from a multidisciplinary perspective. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Martín, P., & García-González, R. (2015). Identifying sheep (*Ovis aries*) fetal remains in archaeological contexts. *Journal of Archaeological Science*, 64, 77–87.
- Martín, P., Nadal, J., Oms, X., Vergès, J.M. (in press). Hunting practices in Neolithic sheepfold caves in the Iberian Peninsula: El Mirador cave (sierra de Atapuerca, Burgos) and Cova Colomera (Serra del Montsec, Lleida). In S. Vitezović, CH. Arampatzis (Eds.): *Hunting and fishing in the Neolithic: Weapons, techniques and prey*. Archaeopress.

- Martín, P., Saladié, P., Nadal, J., & Vergès, J. M. (2014). Butchered and consumed: Small carnivores from the Holocene levels of El Mirador cave (sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary International*, 353, 153–169.
- Martín, P., Tornero, C., Salazar, D. C., & Vergès, J. M. (2021). Early sheep herd management in the inland of the Iberian Peninsula: Results of the incremental isotopic analyses of dental remains from El Mirador cave (sierra de Atapuerca, Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13, 99. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01355-8>
- Martín-Rodríguez, P., & Vergès, J. M. (2016). Bone alterations in *fumiers*: Experimental approach. *Quaternary International*, 414, 294–303.
- Mason, S. L. (1992). *Acorns in human subsistence* (Doctoral dissertation, UCL (University College London)).
- Mason, S. L. (1995). Acornutopia? Determining the role of acorns in past human subsistence. *Food in antiquity*, 12–24.
- Mason, S. L. R. (2000). Fire and Mesolithic subsistence—Managing oaks for acorns in Northwest Europe? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164(1–4), 139–150.
- Mason, S. L. R., & Hather, J. G. (2002). *Hunter-gatherer archaeobotany. Perspectives from the northern temperate zone*. Institute of Archaeology, University College London.
- Menendez-Baceta, G., et al. (2012). Wild edible plants traditionally gathered in Gorbeialdea (Biscay, Basque Country). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(7), 1329–1347.
- Moffett, L. (2011). *Food plants on archaeological sites* (p. 346). The Oxford Handbook of Anglo-Saxon Archaeology.
- Molleson, T., Jones, K., & Jones, S. (1993). Dietary change and the effects of food preparation on microwear patterns in the late Neolithic of Abu Hureyra, northern Syria. *Journal of Human Evolution*, 24, 455–468.
- Morales, J. (2018). The contribution of botanical macro-remains to the study of wild plant consumption during the later stone age and the Neolithic of North-Western Africa. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 22, 401–412.
- Moreno-Larrazabal, A., Uribarri, E., Peñalver, X., & Zapata, L. (2014). Fuelwood, crops and acorns from Iritegi cave (Oñati, Basque Country). *Environmental Archaeology*, 19(2), 166–175.
- Mueller-Bieniek, A., Bogucki, P., Pyzel, J., Kapsia, M., Moskal-del Hoyo, M., & Nalepka, D. (2019). The role of Chenopodium in the subsistence economy of pioneer agriculturalists on the northern frontier of the linear pottery culture in Kuyavia, Central Poland. *Journal of Archaeological Science*, 111, 105027. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105027>
- Nicholson, R. A. (1993). A morphological investigation of burnt animal bone and evaluation of its utility in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 20, 411–428.
- Nilssen, P. J. (2000). *An Actualistic butchery study in South Africa and its implications for reconstructing hominid strategies of carcass acquisition and butchery in the upper Pleistocene and Plio-Pleistocene archaeology*. University of Cape Town.
- Nystrom, P. (2008). Dental microwear signatures of an early LBK population from Vedrovice, Moravia, the Czech Republic. *L'Anthropologie*, 46, 175–184.
- Oms, F. X., Marsal, R., Rubio, X., & Yubero, M. (this volume). Early Neolithic pottery at El Mirador cave. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Organ, J. M., Teaford, M., & Larsen, C. S. (2005). Dietary inferences from dental occlusal microwear at Mission San Luis de Apalachee. *American Journal of Physical Anthropology*, 128, 801–811.
- Payne, S. (1973). Kill-off patterns in sheep and goats: The mandibles from Aşvan kale. *Anatolian Studies*, 23, 281v303.
- Payne, S. (1987). Reference codes for Wear states in the mandibular cheek teeth of sheep and goats. *Journal of Archaeological Science*, 14, 609–614.
- Peña-Chocarro, L., & Zapata, L. (1999a). History and traditional cultivation of *Lathyrus sativus* L. and *Lathyrus cicera* L. in the Iberian peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany*, 8(1–2), 49–52. <https://doi.org/10.1007/BF02042842>

- Peña-Chocarro, L., & Pérez-Jordà, G. (2018). Los estudios carpológicos en la Península Ibérica: un estado de la cuestión. *Pyrenae*, 49(1), 7–45.
- Peña-Chocarro, L., & Zapata Peña, L. (1997). *El Triticum dicoccum (ezkandia) en Navarra: de la agricultura prehistórica a la extinción de un trigo arcaico* (the *Triticum dicoccum* (ezcandia) in Navarre: From the prehistoric agriculture to the dying out of an archaic wheat).
- Peña-Chocarro, L., & Zapata, L. (1999b). History and traditional cultivation of *Lathyrus sativus* L. and *Lathyrus cicera* L. in the Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany*, 8(1–2), 49–52.
- Peña-Chocarro, L., Zapata, L. (2014). Crop diversity in the Neolithic of the Iberian Peninsula. In: *Plants and people: Choices and diversity through time*, 96–100.
- Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordà, G., & Morales, J. (2018). Crops of the first farming communities in the Iberian Peninsula. *Quaternary International*, 470, 369–382. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.002>
- Pérez-Jordà, G., Grau Almero, E., Duque Espino, D. (2003). ‘La recuperación de materiales arqueobotánicos en contextos urbanos’, in La recogida de muestras en arqueobotánica. Objetivos y propuestas metodológicas: la gestión de los recursos vegetales y la transformación del paleopaisaje en el Mediterráneo occidental. Museu d’Arqueologia de Catalunya, pp. 67–71.
- Pérez-Jordà, G., Peña-Chocarro, L., García Fernández, M., & Vera Rodríguez, J. C. (2017). The beginnings of fruit tree cultivation in the Iberian Peninsula: Plant remains from the city of Huelva (southern Spain). *Vegetation History and Archaeobotany*, 26(5), 527–538.
- Pérez-Jordà, G., Peña-Chocarro, L., & Pardo-Gordó, S. (2021). Fruits arriving to the west. Introduction of cultivated fruits in the Iberian Peninsula. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 35, 102683.
- Pérez-Pérez, A., Espurz, V., Bermúdez de Castro, J. M., De Lumley, M. A., & Turbón, D. (2003). Non-occlusal dental microwear variability in a sample of middle and late Pleistocene human populations from Europe and the near east. *Journal of Human Evolution*, 44, 497–513.
- Pérez-Pérez, A., Lalueza, C., & Turbón, D. (1994). Intraindividual and intragroup variability of buccal tooth striation pattern. *American Journal of Physical Anthropology*, 94, 175–187. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330940203>
- Pérez-Pérez, A., Lozano, M., Romero, A., Martínez, L. M., Galbany, J., Pinilla, B., et al. (2017). The diet of the first Europeans from Atapuerca. *Scientific Reports*, 7(1), 1–8.
- PFAF. (2021). *Plants for a future*. www.pfaf.org. Accessed 4 April 2021.
- Pickering, T. R., Domínguez-Rodrigo, J. L., Heaton, J. L., Yravedra, J., Barba, R., Bunn, H. T., Musiba, C., Baquedano, E., Díez-Martín, F., Mabulla, A., & Brain, C. K. (2013). Taphonomy of ungulate ribs and the consumption of meat and bone by 1.2-million-year-old hominins at Olduvai Gorge, Tanzania. *Journal of Archaeological Science*, 40, 1295–1309.
- Privat, K. L., O’Connell, T. C., & Richards, M. P. (2002). Stable isotope analysis of human and faunal remains from the Anglo-Saxon cemetery at Berinsfield, Oxfordshire: Dietary and social implications. *Journal of Archaeological Science*, 29(7), 779–790.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Riehl, S. (2019). Barley in archaeology and early history. In *Oxford research encyclopedia of environmental science*. Oxford University Press.
- Rodríguez, A., Buxó, R. (2008). Cultivos y alimentación vegetal durante el Neolítico en la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos). In: Actas del IV Congreso del Neolítico Peninsular, 317–325.
- Rodríguez, A., Allué, E., & Buxó, R. (2016). Agriculture and livestock economy among prehistoric herders based on plant macro-remains from El Mirador (Atapuerca, Burgos). *Quaternary International*, 414, 272–284.
- Rojo Úbeda, J. (2011). *Recursos Naturales y etnobotánica: Usos y aprovechamientos de las plantas de la Cañada Real Segoviana en Toledo*. Diputación de Toledo.
- Romero, A., Galbany, J., De Juan, J., & Pérez-Pérez, A. (2012). Brief communication: Short- and long-term in vivo human buccal-dental microwear turnover. *American Journal of Physical Anthropology*, 148, 467–472. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22054>

- Romero, A., Martínez-Ruiz, N., & De Juan, J. (2004). *Non-occlusal dental microwear in a bronze-age human sample from East Spain* (pp. 65–69). *Anthropologie*.
- Romero, A., Ramírez-Rozzi, F. V., De Juan, J., & Pérez-Pérez, A. (2013). Diet-related buccal dental microwear patterns in central African pygmy foragers and bantú-speaking farmer and pastoralist populations. *PLoS One*, 8, e84804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084804>
- Saladié, P., Rodríguez-Hidalgo, A., Díez, C., Martín-Rodríguez, P., & Carbonell, E. (2013). Range of bone modifications by human chewing. *Journal of Archaeological Science*, 40, 380–397.
- Salehi, B., Shivaprasad Shetty, M., Anil Kumar, V., Živković, J., Calina, D., Oana Docea, A., . . . Sharifi-Rad, J. (2019). *Veronica plants—Drifting from farm to traditional healing, food application, and phytopharmacology molecules*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules24132454>
- Šálková, T., Benes, J., Komarkova, V., & Vanecek, Z. (2012). History of barley (*Hordeum vulgare*) in Central Europe according to archaeobotanical findings. *Kvasny Prumysl*, 58(7–8), 215–227.
- Salque, M., Bogucki, P. I., Pyzel, J., Sobkowiak-Tabaka, I., Grygiel, R., Szymt, M., & Evershed, R. P. (2012). Earliest evidence for cheese making in the sixth millennium BC in northern Europe. *Nature*, 493(7433), 522–525. <https://doi.org/10.1038/nature11698>
- Salvador, A., & Barja, I. (Eds.). (2017). *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo de Ciencias Naturales. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- Saña, M. (2013). Domestication of animals in the Iberian Peninsula. In *The origins and spread of domestic animals in Southwest Asia and Europe* (Vol. 59, pp. 195–220). Left Coast Press.
- Schmidt, C. W., Beach, J. J., McKinley, J. I., & Eng, J. T. (2015). Distinguishing dietary indicators of pastoralists and agriculturalists via dental microwear texture analysis. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 4(1), 014008.
- Schmidt, C. W., Remy, A., Van Sessen, R., et al. (2019). Dental microwear texture analysis of *Homo sapiens sapiens*: Foragers, farmers, and pastoralists. *American Journal of Physical Anthropology*, 169(2), 207–226. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23815>
- Schmidt, E. (1972). *Atlas of animal bones. For prehistorians, archaeologists, and quaternary geologists*. Elsevier.
- Schweingruber, F. H. (1990). *Anatomy of European woods: An atlas for the identification of European trees, shrubs, and dwarf shrubs*. Paul Haupt AG Verlag.
- Señorán, J. M. (2007). Etnoarqueología de los grupos pastores. *Arqueoweb. Revista sobre Arqueología en Internet*, 9(1).
- Shuaib, M., Ahmed, S., Ali, K., Ilyas, M., Hussain, F., Urooj, Z., . . . Hussain, F. (2019). Ethnobotanical and ecological assessment of plant resources at district Dir, tehsil Timergara, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica. Science Press*, 39(1), 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.04.006>
- Silva, S., Costa, E. M., Borges, A., Carvalho, A. P., Monteiro, M. J., & Pintado, M. M. E. (2016). Nutritional characterization of acorn flour (a traditional component of the Mediterranean gastronomic folklore). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(3), 584–588.
- Smith, B. H. (1984). Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturalists. *American Journal of Physical Anthropology*, 63(1), 39–56.
- Solari, A., Olivera, D., Gordillo, I., Bosch, P., Fetter, G., Lara, V. H., & Novelo, O. (2015). Cooked bones? Method and practice for identifying bones treated at low temperature. *International Journal of Osteoarchaeology*, 25(4), 426–440.
- Sołtysiak, A. (2011). Cereal grinding technology in ancient Mesopotamia: Evidence from dental microwear. *Journal of Archaeological Science*, 38, 2805–2810.
- Sommer, R. S., Benecke, N., Løugas, L., Nelle, O., & Schmölcke, U. (2011). Holocene survival of the wild horse in Europe: A matter of open landscape? *Journal of Quaternary Science*, 26(8), 805–812.
- Spiteri, C. D., Gillis, R. E., Roffet-Salque, M., Navarro, L. C., Guilaine, J., Manen, C., . . . Evershed, R. P. (2016). Regional asynchronicity in dairy production and processing in early farming communities of the northern Mediterranean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(48), 13594–13599.

- Teaford, M. F., Larsen, C. S., Pastor, R. F., & Noble, V. E. (2001). Pits and scratches: Microscopic evidence of tooth use and masticatory behavior in La Florida. In C. S. Larsen (Ed.), *Bioarchaeology of the Spanish Florida: The impact of colonialism*. University Press of Florida.
- Teaford, M. F., & Lytle, J. D. (1996). Brief communication: Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: A case study involving stoneground maize. *American Journal of Physical Anthropology*, *100*, 143–147.
- Trujillo-Mederos, A., Alemán, I., Botella, M., & Bosch, P. (2012). Changes in human bones boiled in seawater. *Journal of Archaeological Science*, *39*, 1072–1079.
- Valamoti, S. M. (2011). Ground cereal food preparations from Greece: The prehistory and modern survival of traditional Mediterranean ‘fast foods’. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *3*(1), 19–39.
- Vasas, A., Orbán-Gyapai, O., & Hohmann, J. (2015). The genus *Rumex*: Review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 198–228. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.09.001>
- Venske, E., et al. (2019). Bread wheat: A role model for plant domestication and breeding. *Hereditas*, *156*(1), 1–11.
- Vergès, J. M. (2011). La combustión del estiércol: aproximación experimental a la quema en montón de los depósitos de redil. In A. Morgado, J. Baena, & D. García (Eds.), *La investigación Experimental aplicada a la Arqueología* (pp. 325–330). Universidad de Granada.
- Vergès, J. M. (this volume). Funerary practices at El Mirador cave. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*. Springer.
- Vergès, J. M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J. I., Martín, P., Carrancho, A., Expósito, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., Oms, X., Euba, I., & Rodríguez, A. (2016). El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. *Quaternary International*, *414*, 236–234.
- Vergès, J. M., Fontanals, M., Vaquero, M., Zaragoza, J., Angelucci, D. E., Moral, S., Cebrià, A., Morales, J. I., Rodríguez, A., Martín, P., & Allué, E. (this volume). Site description and the environment. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador cave. Interdisciplinary contributions to archaeology*, Springer.
- Vigne, J. D. (2008). Zooarchaeological aspects of the Neolithic diet transition in the near east and Europe, and their putative relationships with the Neolithic demographic transition. In J.-P. Bocquet Appel & O. Bar-Yosef (Eds.), *The Neolithic demographic transition and its consequences* (pp. 179–205). Springer Verlag.
- Vigne, J. D., & Helmer, D. (2007). Was milk a “secondary product” in the Old World Neolithisation process? Its role in the domestication of cattle, sheep and goats. *Anthropozoologica*, *42*(2), 9–40.
- Wallace, M., Jones, G., Charles, M., Forster, E., Stillman, E., Bonhomme, V., . . . Preece, C. (2019). Re-analysis of archaeobotanical remains from pre- and early agricultural sites provides no evidence for a narrowing of the wild plant food spectrum during the origins of agriculture in Southwest Asia. *Vegetation History and Archaeobotany*, *28*(4), 449–463.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer.
- Zabala, J., & Saloña, M. (2005). Bases para una etnozología del tejón (*Meles meles* L.) con especial referencia en el ámbito cultural vasco. *Cuadernos de etnología y etnografía de Navarra*, *80*, 319–328.
- Zapata Peña, L. (2002). Origen de la agricultura en el País Vasco y transformaciones en el paisaje: análisis de restos vegetales arqueológicos. *Bizkaiko Foru Aldundia*.
- Zapata Peña, L., Baldellou Martínez, V., & Utrilla, M. D. P. (2008). Bellotas de cronología neolítica para consumo humano en la cueva de Chaves (Bastarás, Huesca). In *IV Congreso del Neolítico Peninsular: 27–30 de noviembre de 2006* (pp. 402–410). Museo Arqueológico de Alicante-MARQ.
- Zapata Peña, L., Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordá, G., & Stika, H. P. (2004). Early neolithic agriculture in the Iberian Peninsula. *Journal of World Prehistory*, *18*(4), 283–325.

Chapter 9

Dental and Oral Pathologies At El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain)



Marina Lozano, Beatriz Gamarra, Raquel Hernando, and Dolors Ceperuelo

Abstract The dental and oral pathologies of the Chalcolithic and Early Bronze Age herders from El Mirador cave indicate good general oral health in both populations as deduced from the low prevalence of pathologies such as dental caries, dental calculus, linear enamel hypoplasia, periodontal disease and abscesses. In both groups, older individuals exhibit the highest prevalence and severity of these age-progressive pathologies. The ratio of dental caries and calculus in both populations is associated with a diet based primarily on proteins of animal origin complemented with carbohydrate-rich plant-based foods. The main difference in the typology of dental caries between the groups illustrates a shift in the way carbohydrates were processed. The Early Bronze Age group consumed softer and less fibrous plant items than the individuals from the Chalcolithic group.

Keywords Bucco-dental pathologies · Health status · Herder groups · Chalcolithic · Bronze Age

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at [https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1_9].

M. Lozano (✉) · B. Gamarra · R. Hernando
Institut Català de Paleoeologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Tarragona, Spain

Departament d'Història i Història de l'Art, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain
e-mail: mlozano@iphes.cat; bgamarra@iphes.cat; rhernando@iphes.cat

D. Ceperuelo
Department of Restorative Dentistry and Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya,
Barcelona, Spain
e-mail: dolorscepe@gmail.com

9.1 Introduction

Dental and oral pathologies are not only excellent indicators of the health status, morbidity and mortality of past populations, but also provide information about diet, lifestyle and culture (Fields et al., 2009; Larsen, 1997; Lukacs, 1992; Scott & Turner, 1988; Temple & Larsen, 2007). Especially relevant is the relationship between oral and dental pathologies and foodstuffs. Some components of the diet, mainly carbohydrates and proteins, feed the oral bacterial flora closely linked to the development of pathologies like dental caries and calculus. The prevalence of both pathologies in a population group has been considered indicative of its subsistence pattern (De la Rua & Arriaga Sasieta, 2004; Hillson, 1996; Powell, 1985).

The spread of agricultural and herding lifestyles gave rise to a worldwide increase in the prevalence of certain dental pathologies, and the health status of Neolithic, Chalcolithic and Bronze Age populations is assumed to have declined (Larsen, 1997; Larsen et al., 1991; Cohen & Armelagos, 1984). However, this was not a universal trend, as a certain degree of variability has been documented. In this context, the primary purpose of this study is to contribute to the existing body of knowledge on dental and oral pathologies in two assemblages of commingled human remains from the Chalcolithic and Bronze Age levels of the El Mirador cave site.

9.2 Materials

Our sample comes from the El Mirador cave site, located on the southern slope of the Sierra de Atapuerca in Burgos, Spain. Three areas containing human remains have been discovered at the site since 1999, when excavation activities were resumed after the first intervention in the 1970s, and after a long period during which the artefacts and remains at the site were subjected to poaching episodes (Vergès et al., 2002, 2016; Vergès et al., [this volume](#)).

The first zone is a test pit, where 106 highly fragmented and commingled bone and dental remains belonging to six individuals were recovered. They date to the Early Bronze Age (4400–4100 cal years BP) (Cáceres et al., 2007; Marginedas et al., 2020; Vergès et al., 2016; Vergès et al., [this volume](#)). For this study, a total of 64 teeth were analyzed, 12 of which are isolated, and the rest of which are located on six maxilla and seven mandible fragments (Cáceres et al., 2007; Lozano, 2009) (Supplementary Table 9.1). The second area, called Sector 100 yielded a single inhumation of a young individual of Bronze Age chronology and isolated remains belonging to two individuals: one child and one adult. Finally, the third area is a collective burial located in a small cavity called Sector 200, near the NE end of the cave. The human remains from this collective burial are dated at 4000 ± 30 years BP (4550–4390 cal years BP) and 4120 ± 30 years BP (4880–4480 cal years BP) (Vergès et al., 2016; Vergès et al., [this volume](#)). There are approximately 4200 highly commingled and disarticulated human remains, 600 of which are dental

remains, including isolated teeth, mandibles, disarticulated maxillae and crania with maxillae. A total of 531 teeth were analyzed (both *in situ* and isolated). The minimum number of individuals (MNI) based on the mandibles, the most prevalent dental element, was 25. However, a recently published study of the vertebral remains from the El Mirador site increased the MNI to 28 based on the atlas or C1 (Yustos et al., 2021), and the postcranial analysis increases the MNI to 38 individuals (Iglesias-Bexiga et al., [this volume](#)). With regard to the dental remains, as a consequence of the commingled origin of the sample, only some maxillae and isolated teeth are associated with individuals, which accounts for the difference in the MNI. Based on dental developmental status and dental wear for the age at death determination, together with anthropological standards and DNA analysis to determine sex, we estimate that these remains belonged to 20 adults (11 males, 5 females and 4 undetermined), one adolescent aged between 12 and 15 years old, and four children, ranging from ca. 2 to 10 years old at death (Gómez-Sánchez et al., 2014; Lozano et al., 2021; Mathieson et al., 2015) (Supplementary Table 9.1).

The remains from the test pit and Sector 200 are the focus of this study as the remains from Sector 100 do not present evidence of oral pathologies.

9.3 Methods

As a first step in our analysis, we applied traditional visual inspection and macroscopic methods to identify any visible oral pathologies affecting the teeth in the sample, such as caries, dental calculus, enamel hypoplasia, impacted teeth, hyperdontia, enamel pearls, and antemortem tooth loss (Supplementary Table 9.2). The pathologies affecting bone were recorded: abscesses, loss of alveolar bone associated with periodontal disease, exostosis, torus, and osteoarthritis of the temporomandibular joint. The presence or absence of all these conditions was documented, and for some, classification of the severity of the pathology and other indicators were recorded as well, as explained below.

In some cases, to increase the reliability of the diagnosis and to more thoroughly analyze specific pathologies, examinations with 3D digital microscopy and CBCT scanning were used. The HIROX KH-8700 3D digital microscope (3D DM) from the IPHES-CERCA facilities was used to analyze external pathologies such as caries, dental calculus, linear enamel hypoplasia, abscesses and periodontal disease. Small maxilla and mandible fragments and isolated teeth were analyzed directly.

The CBCT is based on computed tomography that captures series of 2D x-ray images with cross-sectional slices at different distances (Bagnell, 2018). The CBCT was used to record tooth-related radiographic features as well as conditions not observable by means of visual inspection, such as interproximal and radicular dental caries, hyperdontia, impacted teeth, agenesis, and root anomalies. The CBCT images from maxillae and mandibles were taken using a Planmeca ProMax 3D (Fadente, Helsinki, Finland) from the Faculty of Odontology of the Universitat Internacional de Catalunya (Barcelona, Spain), operating at 80 kV and 5.0 mA, with an exposure

time of 18 s. The voxel size was 0.125 mm, and the slice thickness was 1.0 mm. The maximum number of slices was 580, each of them of 512×512 pixels.

Dental caries are caused by the progressive demineralization of hard dental tissues due to acids produced by bacteria. We recorded the presence/absence of dental caries in each tooth, the type of lesion according to its location in the tooth, and the degree of destruction of dental tissues according to Metress & Conway (1975): 1. Pitting of enamel, 2. Less than 50% of the crown, 3. More than 50% of the crown and 4. Total destruction of the crown.

Dental calculus is calcified bacterial plaque adhered to dental surfaces and was recorded in terms of presence/absence, the subgingival or supragingival location for each tooth and the amount of calculus preserved. It is classified as mild if it covers less than one third of dental crown, moderate if it covers up to two thirds of the crown, and severe if more than two thirds of the crown is covered by calculus (Brothwell, 1981; Lieverse, 1999; Roberts-Harry & Clerehugh, 2000).

Enamel hypoplasia can result from a stress period due to malnutrition, infections, vitamin deficiencies or local trauma during tooth formation that produces anomalies in the enamel prisms (Hillson & Antoine, 2011; Irish & Scott, 2016). The interruption of enamel formation due to the disruption of protein synthesis in the ameloblasts makes linear defects visible on the tooth surface (Goodman & Armelagos, 1985; Goodman & Rose, 1990; Hillson & Antoine, 2011). The resulting lesion may range from localized pitting to lines or grooves on a single tooth or in numerous teeth in the same individual. We recorded the presence or absence on each permanent tooth and the number of linear defects. The distance of the hypoplastic defect from the cemento-enamel junction was measured to estimate the age when the defect occurred (Guatelli-Steinberg et al., 2013; Irish & Scott, 2016; Reid & Dean, 2006; Trancho & Robledo, 2002). We took 3D DM images at 35x magnification of the enamel surfaces exhibiting linear enamel hypoplasia. The measurements were taken directly from the software associated with the microscope.

Hyperdontia is the condition of having one or more supernumerary teeth, most frequently documented in the maxilla (Refoua & Arshad, 2006). The prevalence of supernumerary teeth in the present-day population is low, ranging from 0.1% to 3.4% (Kokten et al., 2003), and is rarely documented among ancient populations (Ceperuelo et al., 2015; Trinkaus, 2018). We recorded the presence/absence and unilateral or bilateral presence.

Enamel pearls are globules of dentine covered by enamel located on the root surfaces (Sharma et al., 2013; Skinner & Shiloah, 1989). The occurrence is higher on maxillary second and third molars. Their etiology is not clear, but they are related to gingivitis and periodontal disease (Sharma et al., 2013).

Antemortem tooth loss can be related to multiple causes, such as severe dental cavities, periodontal disease, extreme dental wear, accidental trauma and even cultural traditions such as dental ablation (Lacy, 2021; Willman et al., 2016; Willman & Lacy, 2020). It was recorded exclusively in the case of evidence of alveolar resorption and new bone formation inside the empty dental socket.

The presence/absence of apical and periodontal abscesses was also recorded as holes and broken areas on the mandibular and maxillary alveolar bone, sometimes associated with severe dental caries or antemortem tooth loss (Boldsen, 2016).

In anthropological dental remains, the horizontal or vertical loss of bone is evidence of a severe previous process of degeneration of tooth supportive soft tissues as a consequence of a gingivitis and subsequent periodontal disease during the individual's life (DeWitte & Bekvalac, 2010). The presence/absence of bone loss on the maxilla and mandible was recorded by measuring the distance between the cemento-enamel junction and the edge of the alveolar bone in the mandible or maxilla. Mild to moderate periodontal disease is defined as 3–6 mm of lost bone, while the loss of 6 or more mm of alveolar bone is evidence of severe periodontal disease. The presence of pitting on the alveolar bone also constitutes evidence of periodontal disease and was also recorded (Chimenos & Malgosa, 2002).

Finally, we recorded the formation of new bone, exostosis or torus, along the alveolar edge of the mandible or maxilla. It is common in older individuals, but could also be an indicator of masticatory stress, sometimes linked to other conditions such as osteoarthritis of the temporomandibular joint (Pechenkina et al., 2002).

9.4 Results

Summarized information about the pathologies recorded in the El Mirador cave samples is shown in Table 9.1 for the remains from the Chalcolithic collective burial and in Table 9.2 for the Early Bronze Age individuals (see also Supplementary Graph 9.1).

9.4.1 Oral Pathologies in the Chalcolithic Collective Burial

The oral-dental pathologies recorded in the individuals from the collective burial are dental caries, dental calculus, hypoplasia, enamel pearls, loss of alveolar bone and porosity of the alveolar bone associated with periodontal disease, abscesses, exostosis, hyperdontia, antemortem tooth loss, and osteoarthritis of the temporomandibular joint.

As there are many loose teeth and fragments of maxillae not associated with any individuals, we have provided the total number of affected teeth in addition to information about the individuals affected for each pathology (Table 9.1).

The percentage of teeth with carious lesions in relation to the total number of teeth analyzed ($N = 531$) is 5.08%. The molars have more cavities than any other dental class (62.96%, $N = 17$), and particularly the third molars (37.03%, $N = 10$), followed by the anterior teeth (22.22%, $N = 6$), and premolars (14.82%, $N = 4$). Occlusal caries are the most prevalent (55.55%, $N = 15$), followed by cervical caries (44.45%, $N = 12$) (Fig. 9.1). Occlusal caries were documented in the molars,

Table 9.1 Dental and alveolar pathologies of individuals from the Chalcolithic collective burial

Dental pathology		
	Affected teeth ^a	Affected individuals ^b
Caries	27	Individual 2, 3, 4, 7,9,13 (N = 6)
Calculus	206	Individual 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (N = 16)
Hyperdontia	1	Individual 4
Enamel hypoplasia	53	Individual 1, 5, 10, 19 (N = 4)
Antemortem tooth loss	4	Individual 13
Enamel pearl	1	
Alveolar pathology		
	Maxillae not associated with any individual	Affected individuals
Abscesses	8	Individual 4, 7, 13 (N = 3)
Alveolar resorption	4	Individual 13 (N = 1)
Loss of alveolar bone	10	Individual 7, 17, 19, 20, 21, 23 (N = 6)
Exostosis	–	Individual 3, 4, 6, 7, 11, 12 (N = 6)
Osteoarthritis temporomandibular joint	–	Individual 2, 4, 21 (N = 3)

^aData of the total number of teeth affected by these pathologies (isolated, in maxilla and in mandible, associated and not associated with an individual)

^bNo teeth were preserved in the mandibles of three of the 25 individuals, only bone pathology was observable (Individuals 12, 14, 24)

Table 9.2 Dental and alveolar pathologies of individuals from the Early Bronze Age sample

Dental pathology		
	Affected teeth	Affected individuals
Caries	13	Individual 2, 3, 4, 5, 6 (N = 5)
Calculus	50	All individuals affected (N = 6)
Alveolar pathology		
Loss of alveolar bone	Individual 6 (N = 1)	

whereas only cervical caries were found in the anterior teeth and premolars. We found six cases (22.22%) of severe cavities (level 4 according to Metress & Conway, 1975) with destruction of the dental crown. Six individuals (24% of the studied group) exhibit evidence of dental decay associated with other pathologies such as dental calculus, exostosis and abscesses.

All affected individuals were over 25 years of age at death, and there were three females, two males and one undetermined. Only individual 4 presents multiple caries with three molars affected by occlusal (N = 1) and cervical caries (N = 2) (Fig. 9.1d).

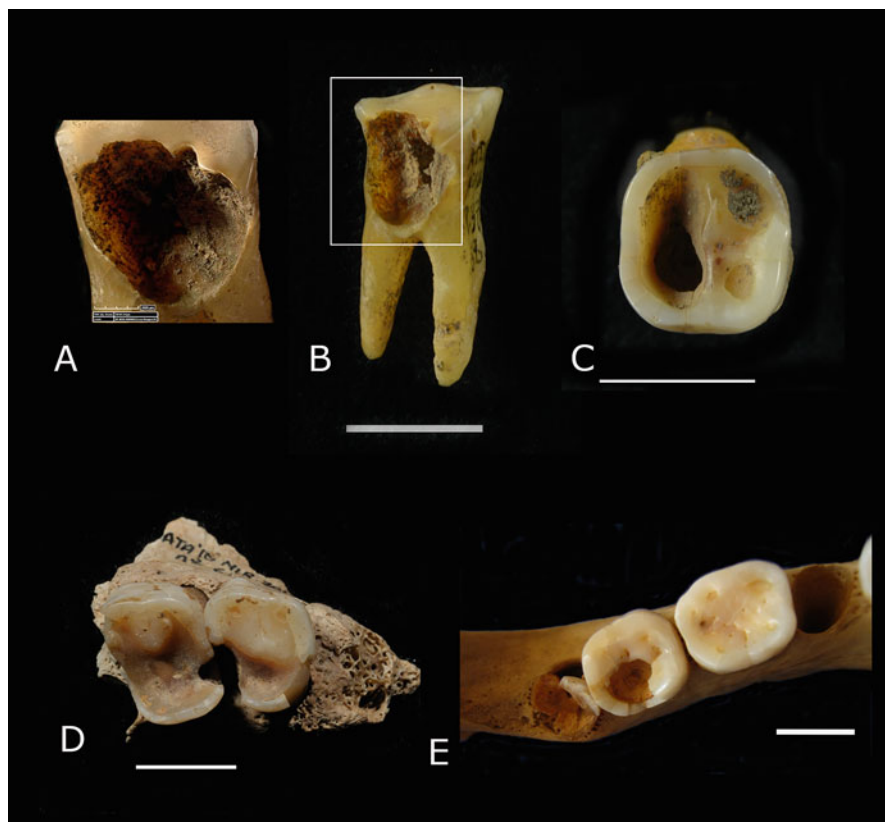


Fig. 9.1 (a) Close-up of dental caries (b) obtained with a HIROX KH8700 3D digital microscope; (b) Severe interproximal caries (level 3) with crown destruction affecting pulp chamber of lower right M2, MIR203-R37-158 (Chalcolithic sample). Scale bar 1 cm. The selected area is the close-up of A; (c) Occlusal caries (level 2) affecting pulp cavity of lower left M3, MIR201-P35-21 (Chalcolithic sample). Scale bar 1 cm; (d) Interproximal caries (level 2) on upper left M2 and M3 of individual 4 of the Chalcolithic sample (MIR201-610). Scale bar 1 cm; E. Example of occlusal rampant caries on M2 and M3, level 3 and 4 respectively, of individual V of the Bronze Age sample (MIR4-P22-190). Scale bar 1 cm

The oral pathology with the highest incidence in this sample is dental calculus, which affects 206 teeth (38.79%) and was documented 16 individuals (64%). Mild deposits were found in 64.07% of the teeth with calculus, moderate deposits in 33.5%, and severe dental calculus was documented in only 2.43% of the sample. The deposits were predominately supragingival, located around the cervical junction (93.68%), and evidence of subgingival calculus was only found in 6.32% of the sample (Fig. 9.2a, b). Nine out of the 16 individuals with dental calculus were males, four were females and three were of indetermined sex, ranging from 5 to 6 years of age at death to over 40.

Fifty-three teeth (9.98% of the total sample) have evidence of enamel hypoplasia (linear or pits), only six of which are *in situ* in mandibles associated with individuals

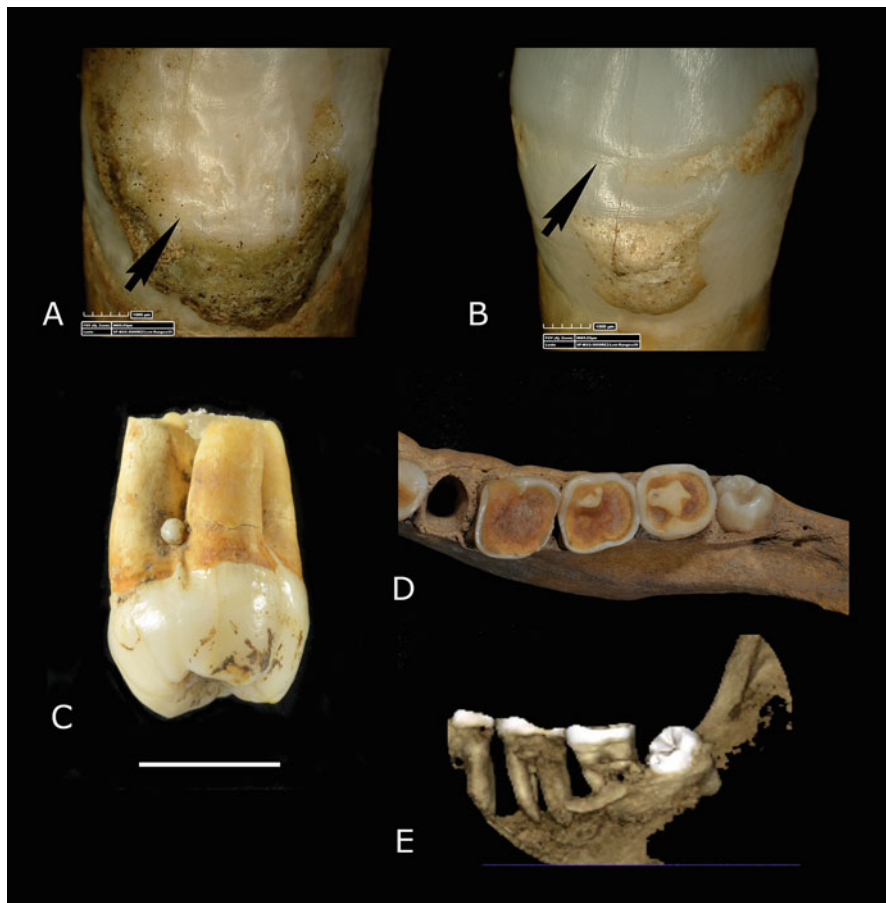


Fig. 9.2 (a) Mild dental calculus deposit and hypoplasia (arrow) on lower canine MIR202-R37-47 (Chalcolithic sample); (b) Mild dental calculus deposit and hypoplasia (arrow) on lower right P3 MIR201-REM-745 (Chalcolithic sample); (c) Enamel pearl on upper right M3, MIR201-S36-58 (Chalcolithic sample). Scale bar 1 cm; (d) Occlusal view of left side of the mandible MIR202-T35-17 showing a fourth molar, individual 4 (Chalcolithic sample); (e) CBCT 3D reconstruction of the mandible with fourth molar, lingual view (D)

1, 5, and 19. Individual 19 was a male of 25–30 years of age at death, and individual 1 was a female of 18–20 years of age at death. Individual 5 was a child (6–8 years old) of undetermined sex. The incisors were the most affected dental class ($N = 22$, 41.51%), followed by the canines ($N = 17$, 32.08%), premolars ($N = 9$, 16.98%) and third molars ($N = 3$, 5.6%) (Fig. 9.2a, b). There is evidence of two deciduous canines (3.77%), each with a single episode of linear enamel hypoplasia. Most teeth ($N = 41$, 77.36%) only present a single episode of linear enamel hypoplasia, but there are nine cases (16.98%) of moderate hypoplasia with two episodes, and three cases of pits (5.66%).

Individual 1 developed linear enamel hypoplasia between the age of 3.5 and 4.8 years old, whereas individual 19 developed the disorder between the ages of 3.4 and 3.9. Additionally, data from loose teeth point to formation events at different ages depending on dental class. The mean age for incisors is 2.67 years old, the mean for canines is 4 years old, and premolars 4.7 years old. The presence of hypoplasia on two deciduous canines, one of them belonging to individual 5, indicates that the stress episode was experienced before of age of 2, when these deciduous teeth were developing.

There is evidence of antemortem tooth loss of the two first molars, one premolar and one canine in two mandibles (one of them associated with individual 13) and two maxillae. The alveolar bone is completely closed in all cases.

A case of fourth molar or hyperdontia is documented in the mandible of individual 4. The CBCT images of the mandible ruled out the bilateral presence of distomolars (Ceperuelo et al., 2015) (Fig. 9.2d, e). Finally, an enamel pearl was documented on the distal roots of an upper right third molar (Fig. 9.2e).

Along with dental pathologies, we found evidence of other pathologies affecting the alveolar bones, such as abscesses and fistulas. Three individuals were affected by abscesses: individual 4 with abscesses on the maxilla and a fistula on the mandible related to severe dental caries (Ceperuelo et al., 2015), individual 7 with an abscess on the mandible, and individual 13 with an abscess on the mandible associated with the antemortem loss of the lower right first molar (Fig. 9.3b, c, e). Another three abscesses were documented, not associated with any individual, in one mandibular fragment and two maxillae.

Ten cases of loss of alveolar bone in the area below the molars have been documented and affect six individuals (24%), five of them males ranging from 25 to 40 years of age at death (Fig. 9.3a). Individual 23 was an adult of undetermined sex. In two cases (individuals 4 and 20) the loss of more than 6 mm of bone indicates severe periodontal disease. The other cases are mild to moderate, with 3–4.8 mm of lost bone. Individual 10, also a male 20–25 years old, exhibits porosity in the alveolar bone that may also be related to periodontal disease.

Evidence of exostosis or new bone formation was detected in the alveolar rim near the neck of the teeth in the area of the lower molars in five individuals (20%), three males, two females and one undetermined, ranging from 25 to 35 years old (Fig. 9.3b, d).

Finally, there is evidence of osteoarthritis of the temporomandibular joint in the mandibular condyles of three individuals (12%), two males and one female ranging in age from 25 to 40 (Table 9.1).

9.4.2 Oral Pathologies in the Early Bronze Age Sample

Dental caries, dental calculus and loss of alveolar bone are the oral-dental pathologies documented in the six individuals from the Early Bronze Age (Table 9.2). Although there were a total of 64 teeth in the sample, our pathology counts only

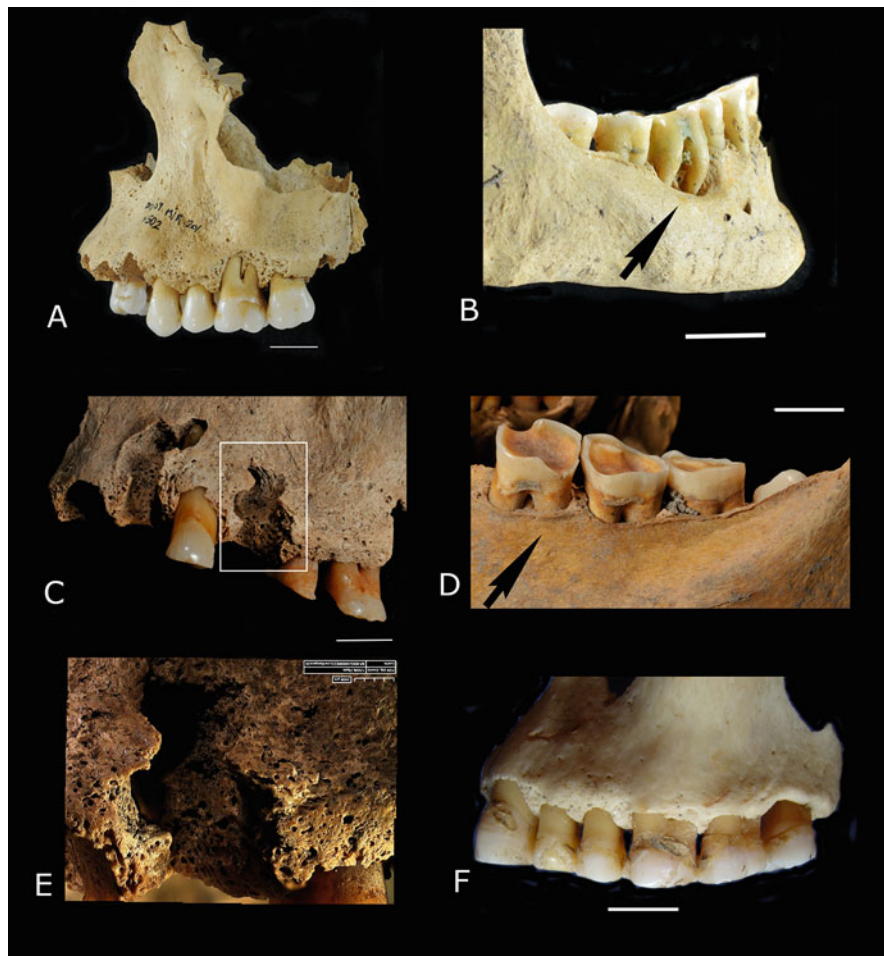


Fig. 9.3 (a) Porosity and vertical alveolar loss of bone at the M1 level of the left hemimaxilla MIR201-502 (Chalcolithic sample). Scale bar 1 cm; (b) Alveolar loss of bone associated with an abscess (arrow), mild exostosis on the alveolar rim from MIR203-R36-66, buccal right side, individual 7 (Chalcolithic sample). Scale bar 2 cm; (c) Abscesses on left maxilla MIR201-610 of individual 4 (Chalcolithic sample). Scale bar 1 cm; (d) Exostosis (arrow) on alveolar rim of left mandibular side of MIR202-T35-17 (Chalcolithic sample). Scale bar 1 cm; (e) Close up of the abscess (C), image from 3D digital microscope HIROX KH8700; f. Horizontal loss of alveolar bone associated with periodontal disease on a left maxilla MIR2-Q21-2, individual 6, (Bronze Age sample)

included the 59 erupted and fully functional teeth. We did not include five dental germs, still in the sockets of individual I and lacking any evidence of pathology.

All individuals, including the child, present evidence of supragingival dental calculus, which affects 88.13% (N = 52) of the teeth in this sample. Mild calculus deposits were found in 63.46% (N = 33) of the teeth, and moderate calculus deposits

were found in 36.54% (N = 19). The molars are the most affected dental class (55.77%, N = 29), followed by the premolars (23.08%, N = 12), and anterior teeth (21.15%, N = 11).

The teeth of the five adult individuals exhibit evidence of dental caries. Individual 3 has one cavity, individual 6 has two cavities, individuals 2 and 4 have three cavities each and individual 5 has four cavities (Fig. 9.1e). The case of individual 4 is especially interesting, as there are only 3 preserved teeth in this specimen and evidence of dental caries was documented in each of them. Cavities were documented in 22.03% (N = 13) of the teeth studied. The molars are the only dental class affected and occlusal caries are the only type recorded. Individual 5 has two severe dental caries with crown destruction.

Finally, individual 6 shows evidence of moderate (>3 mm) loss of alveolar bone in the area below the molars (Fig. 9.3f).

9.5 Discussion

The oral pathologies recorded in the individuals from El Mirador cave are dental caries, dental calculus, enamel hypoplasia, hyperdontia, an enamel pearl, antemortem tooth loss, abscesses, loss of alveolar bone associated with periodontal disease, exostosis or lipping, and osteoarthropathy of the temporomandibular joint. We observed some differences in the incidence and prevalence of these pathologies between the Chalcolithic and the Early Bronze Age samples, although the difference in the sample size (25 Chalcolithic individuals compared to six Early Bronze Age individuals) has to be taken into account in relation to the lower number of pathologies documented in the Bronze Age sample.

Both groups exhibit dental caries; however, the incidence of affected teeth and individuals is different. Cavities affect 5.08% of the teeth in the Chalcolithic group and 22.03% of the teeth in the Early Bronze Age sample. Cavities are present in 24% of the individuals from the collective burial, all over the age of 25 at death. All of the adult individuals in the Bronze Age sample are affected (83.3%). In both groups, caries were predominately documented on the occlusal surface of the molars. Some individuals from the Chalcolithic sample present anterior teeth and premolars affected only by cervical caries; a type of caries not documented in the Bronze Age sample. This could be indicative of a shift in the way plant items were processed, pointing to a softer diet free of fibrous plants in the Early Bronze Age group (De la Rua & Arriaga Sasieta, 2004).

However, the most outstanding difference between the two groups is the incidence of caries affecting multiple teeth of a single individual. Only one individual presents multiple caries in the Chalcolithic group (individual 4), whereas in the Bronze Age sample four out of five individuals are affected. This is especially interesting considering that the number of teeth recovered for each Bronze Age individual is low (Supplementary Table 9.1). The increase in the incidence of caries

and the presence of multiple caries per individual could be a trend characteristic of the Bronze Age group.

There is an established general trend of high frequencies of dental caries starting in the Neolithic compared to previous periods (Larsen, 1997). For example, caries frequency in the Longshan-period of the Chinese Neolithic was 28.5%, which constituted an increase compared to the previous period (Pechenkina et al., 2002). In this context, the 5.08% documented in our Chalcolithic sample seems exceptionally low. Nevertheless, there are other examples of low frequencies of dental caries in Neolithic samples. Samples from the Japanese Yayoi period exhibit frequencies ranging from 5.7% to 17.3%, at a Neolithic Chinese site a percentage of 5.7% was reported, and three Neolithic Greek sites also documented low frequencies: Alepotrypa (3.2%), Kephala (0.5%) and Franchthi (2%) (Meng et al., 2011; Papathanasiou, 2005; Temple & Larsen, 2007). Geographically closer sites on the Iberian Peninsula with similar subsistence strategies to those of the El Mirador cave groups, such as the Chalcolithic site of Cova Masadeta (5.8%) and the Bronze Age site of Cova dels Blaus (5.4%), share a more similar caries frequency to the Chalcolithic group of El Mirador cave (Polo-Cerdá et al., 2007).

Detailed information is available for two of the geographically and chronologically nearest sites—San Juan Ante Portam Latinam (SJAPL) and Longar in the Ebro Basin close to the Sierra de Atapuerca. The data from these sites, dated in the Late Neolithic and Chalcolithic, indicates a remarkable difference in the frequency of dental caries. SJAPL has a caries frequency of 13.22% and Longar 7.81% (De la Rua & Arriaga Sasieta, 2004). In SJAPL and Longar the most affected teeth are the molars with occlusal caries, and the anterior teeth are mostly affected by cervical caries, with evidence of individuals with multiple caries only in SJAPL (De la Rua & Arriaga Sasieta, 2004). Although the prevalence is different in these three sites, a general trend can be observed in the SJAPL, Longar and El Mirador cave samples of occlusal caries on molars affecting mostly older individuals, as dental caries are an age-progressive process. The presence of multiple caries in SJAPL is not unlike that in the Bronze Age group of El Mirador cave, although the latter group presents a higher number of teeth affected by caries. El Molinico (Chalcolithic site, Alicante) with 15.25% and Cova dels Castelletts (Bronze Age site, Alicante) with 17.1% of teeth affected by caries have the closest values to the El Mirador cave Bronze Age group (Gómez González et al., 2009; Polo-Cerdá et al., 2007).

Another interesting aspect documented at the SJAPL and Longar sites is the evidence of caries in children. There is no evidence of caries among the juvenile individuals either in the Chalcolithic group or in the Bronze Age group of El Mirador cave.

In order to understand the frequency and the pattern of dental caries in the El Mirador cave groups, they must be related to the subsistence patterns of the people they were found in. Despite the fact that dental caries is a multicausal pathology, diet is one of the most significant factors, as there is evidence of close relationship between subsistence strategies and diet in the prevalence of dental caries (Larsen, 1997; Larsen et al., 1991; Turner, 1979). The classification proposed by Turner (1979) determined that populations with subsistence strategies based on agriculture

complemented by gathering, hunting or fishing present caries frequencies of 0.44–10.3%, but the frequency increases among agriculturalists to a mean of 8.56% (2.3–26.5%). Both groups from El Mirador cave present caries frequencies (5.08% in the Chalcolithic group and 22.03% in the Bronze Age group) that fit with an agriculturalist lifestyle. As Martín et al. ([this volume](#)) and Cano-Cano et al. ([this volume](#)) have shown, the subsistence strategies of the people from El Mirador cave were mainly based on herding and agriculture (Cano-Cano et al., [this volume](#); Martín et al., [this volume](#)). Foodstuffs with high carbohydrate and starch contents, such as cereals and wild vegetables (fruit, acorns, tubers, etc.), are highly cariogenic as the residues adhered to dental plaque are fermented by oral flora, boosting the demineralization of dental tissues and the formation of caries (Hillson, 1996, 2001). However, the composition of the diet is not the only factor influencing a high prevalence of dental caries—the texture and processing of the food are also crucial (Powell, 1985; Romero & De Juan, 2007). The presence of occlusal caries is related to the intake of highly processed foods that require little chewing effort that leave deposits of food in the occlusal dental fissures, such as boiled or roasted meat and ground cereals eaten as porridge, bread or soups. Data from archeobotanical remains indicate the presence of both wild plant foods (walnuts, hazels, plums, blackberries and elderberries) and crops (emmer wheat, bread wheat, peas and vetches) (Hernando et al., [this volume](#)).

The presence of dental caries among the individuals of El Mirador cave suggests the intake of cariogenic foodstuffs, but the prevalence of dental caries, especially in the individuals from the Chalcolithic collective burial, is not indicative of a diet highly dependent on carbohydrates. The low incidence of other pathologies usually associated with presence of severe dental caries such as antemortem tooth loss (four cases recorded) and abscesses (three individuals affected) also support this hypothesis.

In this context, the analysis of the dental calculus allows us to propose a more reliable scenario of the diet of these groups, as this pathology is related to protein intake. Residues from the metabolism of proteins cause an increase in pH and the mineralization of dental plaque (Hillson, 1996; Lieveise, 1999). A diet based on animal products like meat and dairy favors the formation of calculus.

In the Chalcolithic group from El Mirador cave, 38.79% of the teeth and 64% of the individuals are affected by mild supragingival calculus deposits. The incidence increases in the Bronze Age group, in which 88.13% of the teeth and all of the individuals are affected by mild supragingival calculus. Other Chalcolithic and Bronze Age populations on the Iberian Peninsula present lower values per individual: 17.3% at Cova dels Blaus, 23.3% at Cova Masadeta, 26.4% at Cova dels Castelletts, 25.4% at SJAPL and 24.9% at Longar (De la Rua & Arriaga Sasieta, 2004; Polo-Cerdá et al., 2007). Only a few populations from Vinalopó Valley present values of 40.3% (Polo-Cerdá et al., 2007), the percentage closest to that documented in the Chalcolithic group of El Mirador cave. The higher values of the Bronze Age sample from El Mirador cave are similar to the pre-Hispanic population of Gran Canaria Island (second half of first millennium BCE), where 88.51% of the individuals were found to present dental calculus (Delgado Darías et al., 2006).

We found a higher incidence of dental calculus than of dental caries in both El Mirador cave samples. A similar pattern was found at the Longar site, where a diet with a high meat content was inferred (De la Rúa & Arriaga Sasieta, 2004). The high values of dental calculus in all dental classes and in all ages is also indicative of the great importance of meat products in the diet of the El Mirador cave groups. More males are affected by calculus deposits than females (9 out of 16, 56.25%); however, more males than females were identified in the Chalcolithic sample, which could underestimate the real prevalence of this pathology among women. Further evidence of the importance of meat in the diet of these groups can be seen in the prevalence of periodontal disease. Gingivitis is associated with dental calculus, and if this inflammatory process becomes chronic, the bone is affected. Porosity and loss of alveolar bone are indicators of periodontal disease. In the Chalcolithic sample, 24% of the individuals present evidence of periodontal disease, in two cases severe. All of the individuals from El Mirador cave with periodontal disease are more than 25 years of age and exhibit evidence of dental calculus, indicating that periodontal disease is the consequence of an age-progressive pathology related to a meat-rich diet.

The presence of enamel pearls is also related to periodontal disease (Tomov et al., 2017). However, the documented case of an enamel pearl in the El Mirador cave samples is associated with the maxilla of a young individual with no evidence of periodontal disease in the alveolar bone, although the possibility of some degree of gingivitis affecting only the soft tissues of this individual cannot be ruled out.

The dental pathologies associated with diet such as dental caries, antemortem tooth loss, abscesses, dental calculus and periodontal disease indicate a diet based mainly on soft processed meat and byproducts with the presence of refined cereals and wild vegetables that demand little chewing effort. The Chalcolithic sample exhibits low rates of dental microwear, exostosis and osteoarthropathy of the temporomandibular joint, suggesting an easy-to-chew diet. Although evidence of all of these were documented in the Chalcolithic sample, their prevalence is low enough to infer high masticatory demands related to hard or abrasive food. A similar trend can be seen in the Early Bronze Age individuals, as the results of the dental microwear analysis also suggest a soft, highly processed diet (Hernando et al., [this volume](#)).

The linear enamel hypoplasia recorded in the 9.98% of the teeth from the Chalcolithic sample from El Mirador cave is related to stress periods during childhood development. Similarly, low values have been recorded for the Neolithic/Chalcolithic site of Paimogo I (Portugal) with an incidence of 5.2% and for the Pico Ramos site (Bizkaia) with 5.4%, as well as for the Neolithic population from Alepotrypa, with an incidence of 8.3% (Baraybar & de la Rúa, 1995; Papataniasiou, 2005; Silva, 2003). These data indicate lower rates of infectious disease or nutritional deficiencies among the children of El Mirador cave. Higher incidences have been found in other Neolithic populations, including at several sites in the Levant with rates of 41%, at the Houtaomuga site in northeast China, with a prevalence of 76.4%, and among the Japanese Yayoi agriculturalists with a prevalence of 30.2%. In the Late Neolithic-Early Bronze Age populations from Zeniki Górne (Poland) the

prevalence of linear enamel hypoplasia is 14.95% (Merrett et al., 2016; Papathanasiou, 2005; Tomczyk et al., 2012).

In the Chalcolithic group from El Mirador cave, the permanent teeth most affected by enamel hypoplasia are the incisors, followed by the canines and premolars. The severity of the hypoplasia is low, with 77.36% of teeth exhibiting only one linear episode. The earliest episodes of linear enamel hypoplasia appeared at the age of 2.67 years old (incisors), followed by another episode at around 4 years old (canines), and the last one at around 4.7 years old (premolars). These ranges are similar to those of the Zeniki Górne and Pico Ramos populations (Baraybar & de la Rua, 1995; Tomczyk et al., 2012). The episodes at 2.67 and 4 years old in the El Mirador cave sample could be related to the shift from breastfeeding to the introduction of solid foods, as weaning is a well-known period of nutritional stress among children (Baraybar & de la Rua, 1995; Hillson & Antoine, 2011). Especially interesting is the evidence of two cases of pits on two deciduous canines. It is assumed that deciduous teeth are more resistant to the development of enamel hypoplasia, but its presence on deciduous teeth could be interpreted as evidence of maternal stress during pregnancy (Hillson & Antoine, 2011).

9.6 Conclusion

The low prevalence of oral pathologies among the El Mirador cave individuals point to two populations with relatively good oral-dental health. The majority of the recorded pathologies are age progressive and affect individuals over 25–30 years of age. The low prevalence of some dental pathologies related to diet, such as dental caries and calculus, suggest a soft diet based mainly on meat and meat byproducts and complemented with cereals and wild vegetables. However, inferring diet from dental caries and dental calculus is complex, as both pathologies are multi-causal. For that reason, evidence of dental macrowear, exostosis, antemortem tooth loss and periodontal disease has contributed crucial data in the construction of a complete scenario of the diet of these populations. The low incidence of linear enamel hypoplasia shows that children grew up without high levels of stress due to nutritional deficiencies or infectious disease at the El Mirador cave site. The age range for the development of linear enamel hypoplasia could be indicative of the age of breastfeeding among the Chalcolithic group.

Acknowledgments We would like to thank the El Mirador cave excavation team. We also want to thank Lena Asryan for her help with 3D microscope technical issues. The analyses conducted have been funded by the Dirección General de Investigación of M.E.C, project number PGC2018-093925-B-C32, (MINECO/FEDER), and CERCA Program/Generalitat de Catalunya, AGAUR 2017 SGR 1040. B.G is funded by a Beatriu postdoctoral grant. R.H is funded by URV Martí-Franquès predoctoral research grant (URV 2019PMF-PIPF-59). The Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA) has received financial support from the Spanish Ministry of Science and Innovation through the María de Maeztu program for Units of Excellence (CEX2019-000945-M).

References

- Bagnell, A., (2018). *What is micro-CT? An introduction*. <https://www.microphotonics.com/blog/>
- Baraybar, J. P., & de la Rúa, C. (1995). Estudio antropológico de la población de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). Consideraciones sobre la demografía, salud y subsistencia. *Munibe. Sociedad de Ciencias Naturales Aranzadi (San Sebastian)*, 47, 151–175.
- Boldsen, J. L. (2016). Pathogenesis of dental abscesses in a Medieval village community. *Bulletin et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 10, 345–356.
- Brothwell, D. R. (1981). *Digging up bones: The excavation, treatment and study of human skeletal remains*. Cornwell University Press.
- Cáceres, I., Lozano, M., & Saladié, P. (2007). Evidence for Bronze Age Cannibalism in El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *American Journal of Physical Anthropology*, 133, 899–917. <https://doi.org/10.1016/j.ajpa.2020.10.002>
- Cano-Cano, N., Buguet-Coca, A., Euba, I., Expósito, I., & Allué, E. (this volume). Agriculture and forest management at El Mirador cave. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador Cave (Interdisciplinary contributions to archaeology)*. Springer.
- Ceperuelo, D., Lozano, M., Duran-Sindreu, F., & Mercadé, M. (2015). Supernumerary fourth molar and dental pathologies in a Chalcolithic individual from the El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Homo. Journal of Comparative Human Biology*, 66, 15–26.
- Chimeno, E., & Malgosa, A. (2002). Recogida de datos en antropología dental. In B. Perea Sánchez, J. A. Sánchez Sánchez, & S. Domínguez González (Eds.), *Antropología y paleontología dentarias* (pp. 293–318). Mapfre.
- Cohen, M. N., & Armelagos, G. J. (Eds.). (1984). *Paleopathology at the origins of agriculture*. Academic.
- De la Rúa, C., & Arriaga Sasieta, H. (2004). Patologías dentarias en San Juan Ante Portam Latinam y Longar (Neolítico final-Calcolítico). *Osasunaz*, 6, 239–301.
- Delgado Darias, T., Velasco Vázquez, J., Arnay De La Rosa, M., Martín Rodríguez, E., & González Reimers, E. (2006). Calculus, periodontal disease and tooth decay among the prehispanic population from Gran Canaria. *Journal of Archaeological Science*, 33, 663–670.
- DeWitte, S. N., & Bekvalac, J. (2010). Oral health and frailty in the Medieval English cemetery of St Mary Graces. *American Journal of Physical Anthropology*, 142, 341–354.
- Fields, M., Herschaft, E. E., Martin, D. L., & Watson, J. T. (2009). Sex and the agricultural transition: Dental health of early farming females. *Journal of Dentistry and Oral Hygiene*, 1, 42–51.
- Gómez González, S., Romero, A., Galbany, J., & De Juan, J. (2009). Desgaste dental y su relación con la frecuencia-tipo de caries en poblaciones bioarqueológicas. In *Actas de las novenas jornadas nacionales de Antropología biológica*. Asociación de Antropología Biológica Argentina
- Gómez-Sánchez, D., Olalde, I., Pierini, F., Matas-Lalueza, L., Gigli, E., Lari, M., et al. (2014). Mitochondrial DNA from El Mirador Cave (Atapuerca, Spain) reveals the heterogeneity of Chalcolithic populations. *PLoS One*, 9, e105105. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105105>
- Goodman, A. H., & Armelagos, G. J. (1985). Factors affecting the distribution of enamel hypoplasias within the human permanent dentition. *American Journal of Physical Anthropology*, 68, 479–493.
- Goodman, A. H., & Rose, J. C. (1990). Assessment of systemic physiological perturbations from dental enamel hypoplasias and associated histological structures. *Yearbook of Physical Anthropology*, 33, 59–110.
- Guatelli-Steinberg, D., Buzhilova, A. P., & Trinkaus, E. (2013). Developmental stress and survival among the Mid Upper Paleolithic Sunghir children: Dental enamel hypoplasias of Sunghir 2 and 3. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23, 421–431.
- Hernando, R., Allué, E., Cano-Cano, N., Martín, P., Ustünskaya, M. C., & Lozano, M. (this volume). Human diet at El Mirador cave. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.),

- Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador Cave* (Interdisciplinary contributions to archaeology). Springer.
- Hillson, S. W. (1996). *Dental anthropology*. Cambridge University Press.
- Hillson, S. (2001). Dental pathology. In M. A. Katzenberg & S. R. Saunders (Eds.), *Biological anthropology in the human skeleton* (pp. 249–286). Wiley-Liss.
- Hillson, S. W., & Antoine, D. (2011). The mechanisms that produce the defects of enamel hypoplasia. *American Journal of Physical Anthropology*, *55*(2), 163.
- Iglesias-Bexiga, J., Yustos, M., & Etxeberria-Gabilondo, F. (this volume). Life and death at El Mirador cave: Anthropological and paleopathological analysis of a collective burial. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador Cave* (Interdisciplinary contributions to archaeology). Springer.
- Irish, J. D., & Scott, R. G. (2016). *A companion to dental anthropology*. Wiley Blackwell.
- Koktet, G., Balcioglu, H., & Buyukertan, M. (2003). Supernumerary fourth and fifth molars: A report of two cases. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, *4*, 2–5.
- Lacy, S. A. (2021). Evidence of dental agenesis in late Pleistocene homo. *International Journal of Paleopathology*, *32*, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2021.01.001>
- Larsen, C. S. (1997). *Bioarchaeology. Interpreting behavior from the human skeleton*. Cambridge University Press.
- Larsen, C. S., Shavit, R., & Griffin, M. C. (1991). Dental caries evidence for dietary change: An archaeological context. In M. Kelly & C. Larsen (Eds.), *Advances in dental anthropology* (pp. 179–202). Wiley-Liss Inc.
- Lieverse, A. R. (1999). Diet and the Aetiology of dental calculus. *International Journal of Osteoarchaeology*, *9*, 219–232.
- Lozano, M. (2009). Determinación de la dieta de los individuos del yacimiento de La Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos) a partir del análisis del microdesgaste y de las patologías dentales. In M. P. Cerdá & E. García-Prósper (Eds.), *Investigaciones histórico-médicas sobre salud y enfermedad en el pasado. Actas del IX Congreso Nacional de Paleopatología, Morella, 26–29 septiembre de 2007* (pp. 647–657). Grupo Paleolab & Sociedad Española de Paleopatología.
- Lozano, M., Gamarra, B., Hernando, R., & Ceperuelo, D. (2021). Microscopic and virtual approaches to oral pathology: A case study from El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Annals of Anatomy*, *239*, 151827. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2021.151827>
- Lukacs, J. R. (1992). Dental paleopathology and agricultural intensification in South Asia: New evidence from Bronze Age Harappa. *American Journal of Physical Anthropology*, *87*, 133–150.
- Marginedas, F., Rodríguez-Hidalgo, A., Soto, M., Bello, S. M., Cáceres, I., Huguet, R., & Saladié, P. (2020). Making skull cups: Butchering traces on cannibalised human skulls from five European archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*, *114*, 105076. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105076>
- Martín, P., Expósito, I., Burguet-Coca, A., Lira, J., Blanco-Lapaz, A., & Tornero, C. (this volume). Husbandry and wild animal exploitation. Characteristics and evolution from a multidisciplinary perspective. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador Cave* (Interdisciplinary contributions to archaeology). Springer.
- Mathieson, I., Lazaridis, I., Rohland, N., Mallick, S., Patterson, N., Roodenberg, S. A., Harney, E., et al. (2015). Genome-wide patterns of selection in 230 ancient Eurasians. *Nature*, *538*, 499–503.
- Meng, Y., Zhang, H. Q., Pan, F., He, Z. D., Shao, J. L., & Ding, Y. (2011). Prevalence of dental caries and tooth wear in a Neolithic population (6700–5600 years BP). *Archives of Oral Biology*, *56*, 1424–1435.
- Merrett, D. C., Zhang, H., Xiao, X., Zhang, Q., Wei, D., Wang, L., et al. (2016). Enamel hypoplasia in Northeast China: Evidence from Houtaomuga. *Quaternary International*, *405*, 11–21.

- Metress, J. F., & Conway, T. (1975). Standardized system for recording dental caries in prehistoric skeletons. *Journal of Dental Research*, *54*, 908.
- Papathanasiou, A. (2005). Health status of the Neolithic population of Alepotrypa Cave, Greece. *American Journal of Physical Anthropology*, *126*, 377–390.
- Pechenkina, E., Benfer, R., & Zhijun, W. (2002). Diet and health changes at the end of the Chinese Neolithic: The Yangshao/Longshan transition in Shaanxi Province. *American Journal of Physical Anthropology*, *117*, 15–36.
- Polo-Cerdá, M., Romero, A., Casabó, J., & De Juan, J. (2007). The Bronze Age burials from Cova Dels Blaus (Vall d'Uixó, Castelló, Spain): An approach to paleodietary reconstruction through dental pathology, occlusal wear and buccal microwear pattern. *Homo. Journal of Comparative Human Biology*, *58*, 297–307.
- Powell, M. L. (1985). The analysis of dental Wear and caries for dietary reconstruction. In R. I. Gilbert & J. H. Mielke (Eds.), *The analysis of prehistoric diets* (pp. 307–338). Academic.
- Refoua, Y., & Arshad, M. (2006). An unusual case of bilateral maxillary and mandibular supernumerary teeth. *Journal of Dentistry*, *3*, 140–142.
- Reid, D. J., & Dean, M. C. (2006). Variation in modern human enamel formation times. *Journal of Human Evolution*, *50*, 329–346.
- Roberts-Harry, E. A., & Clerehugh, V. (2000). Subgingival calculus: Where are we now? A comparative review. *Journal of Dentistry*, *2*, 93–102.
- Romero, A., & De Juan, J. (2007). Intra- and interpopulation human buccal tooth surface microwear analysis: Inferences about diet and formation processes. *Anthropologie*, *45*, 61–70.
- Scott, R. G., & Turner, C. G. (1988). Dental anthropology. *Annual Review of Anthropology*, *17*, 99–126.
- Sharma, S., Malhotra, S., Baliga, V., & Hans, M. (2013). Enamel Pearl on an unusual location associated with localized periodontal disease: A clinical report. *Journal of Indian Society of Periodontology*, *17*, 796–800.
- Silva, A. M. (2003). Portuguese populations of the late Neolithic and chalcolithic periods exhumed from collective burials: An overview. *L'Anthropologie* *XLI*, 1-2, 55.
- Skinner, M. A., & Shiloah, J. (1989). The role of enamel pearls in localized severe periodontitis. *Quintessence International*, *20*, 181–183.
- Temple, D. H., & Larsen, C. S. (2007). Dental caries prevalence as evidence for agriculture and subsistence variation during the Yayoi period in prehistoric Japan: Biocultural Interpretations of an Economy in transition. *American Journal of Physical Anthropology*, *134*, 501–5012.
- Tomczyk, J., Tomczyk-Gruca, M., & Zalewska, M. (2012). Frequency and chronological distribution of linear enamel hypoplasia (LEH) in the Late Neolithic and Early Bronze age populations from Zerniki Górne (Poland)-preliminary report. *Anthropological Review*, *75*, 61–73.
- Tomov, G., Popova, E., Ivanov, R., & Atanassova, N. (2017). Enamel Pearl associated with localized periodontitis in Hellenistic age woman. *Bulletin of the International Association for Paleodontology*, *11*, 62–66.
- Trancho, G. J., & Robledo, B. (2002). Datos culturales y nutricionales aportados por los dientes. In B. Perea Sánchez, J. A. Sánchez Sánchez, & S. Domínguez González (Eds.), *Antropología y paleontología dentarias* (pp. 151–212). Mapfre.
- Trinkaus, E. (2018). An abundance of developmental anomalies and abnormalities in Pleistocene people. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*, 11941–11946. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814989115>
- Turner, C. G. (1979). Dental anthropological indications of agriculture among the Jomon people of Central Japan. *American Journal of Physical Anthropology*, *51*, 619–636.
- Vergès, J. M., Allué, E., Angelucci, D., Cebrià, A., Díez, C., Fontanals, M., et al. (2002). La Sierra de Atapuerca durante el Holoceno: datos preliminares sobre las ocupaciones de la Edad del Bronce en la Cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos). *Trabajos de Prehistoria*, *59*, 107–126.

- Vergès, J. M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J. I., Martín, P., Carrancho, A., et al. (2016). El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. *Quaternary International*, 414, 236–243.
- Vergès, J. M., Fontanals, M., Vaquero, M., Zaragoza, J., Angelucci, D. E., Moral, S., Cebrià, A., Morales, J. I., Rodríguez, A., Martín, P., & Allué, E. (this volume). Site description and the environment. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric herders and farmers – A transdisciplinary overview of the archaeological record from El Mirador Cave* (Interdisciplinary contributions to archaeology). Springer.
- Willman, J. C., & Lacy, S. A. (2020). Oral pathological conditions of an Early Epipaleolithic human from Southwest Asia: Ohalo II H2 as a probable case of intentional dental ablation. *International Journal of Paleopathology*, 30, 68–76.
- Willman, J. C., Shackelford, L., & Demeter, F. (2016). Incisor ablation among the late upper paleolithic people of Tam Hang (Northern Laos): Social identity, mortuary practice, and oral health. *American Journal of Physical Anthropology*, 160, 519–528.
- Yustos, M., Lozano, M., Morales, J. I., Iglesias-Bexiga, J., & Vergès, J. M. (2021). Degenerative joint disease in the chalcolithic population of El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The vertebral column. *International Journal of Osteoarchaeology*, 31, 162–175. <https://doi.org/10.1002/oa.2936>

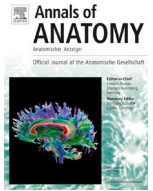
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria



Contents lists available at ScienceDirect

Annals of Anatomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/aaanat



Microscopic and virtual approaches to oral pathology: A case study from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain)



Marina Lozano^{a,b,*}, Beatriz Gamarra^{a,b}, Raquel Hernando^{a,b}, Dolors Ceperuelo^c

^a Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain

^b Universitat Rovira i Virgili, Departament d'Història i Història de l'Art, Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

^c Department of Restorative Dentistry and Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya, C/Josep Trueta s/n, Sant Cugat del Vallès, 08195 Barcelona, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 April 2021

Received in revised form 18 August 2021

Accepted 20 August 2021

Available online 3 September 2021

Keywords:

Oral pathologies

Large human assemblages

3D digital microscopy

Scanning electron microscopy

CBCT

MicroCT

ABSTRACT

Background: The analysis and diagnosis of ancient oral pathologies have been improved with the application of new techniques such as microscopy and scanning methods over the past few decades. However, the enhancement of the diagnosis implies a prior knowledge of the availability and suitability of such equipments.

Methods: In this work we examined 3D digital and scanning electron microscopy and two computed tomography systems (CBCT and microCT) in order to assess dental and oral disease of the individuals of a Chalcolithic collective burial from El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain).

Results and conclusions: 3D Digital microscopy and CBCT are excellent options to analyze dental pathologies as they are more frequently available, sample preparation is not required, easy to operate, offer excellent images and the possibility of measurements and 3D reconstructions.

© 2021 Elsevier GmbH. All rights reserved.

1. Introduction

Dental and oral pathologies are not only excellent indicators of the health status, morbidity and mortality of past populations, but also provide information about diet, lifestyle and culture (Fields et al., 2009; Larsen, 1997; Lukacs, 1992; Scott and Turner, 1988). Methods for analyzing and diagnosing ancient oral pathologies have made great progress over the past few decades. The traditional approaches of conducting a visual inspection and taking metric measurements of dental remains have been improved with new techniques, such as different types of microscopy and three-dimensional scanning methods (i.e. Arnaud et al., 2017; Bernardini et al., 2012; Kumar et al., 2015; Rhodes et al., 1999; Tomczyk et al., 2020). However, these techniques are often expensive and time-consuming, and are not always suitable for all types of human remains or available to all researchers (Hernando et al., 2020).

Securing funds to analyze ancient fossil human remains is relatively easier, although in the case of large assemblages of human remains with more recent chronologies, this too can be a challenge.

But the budget is not the only constraint, as these analyses require a huge investment of time. Nevertheless, large human sets of any chronology can provide valuable knowledge of those ancient societies and these samples deserve to be analyzed and published. Given this scenario, one must question whether applying expensive and time-consuming techniques to large human assemblages is worthwhile. This paper examines the suitability of two different types of techniques: microscopy for external surface observations and high-resolution 3D imaging equipment for internal observations, and virtual reconstructions to assess dental and oral disease in large assemblages of human remains of any chronology. The main purpose of this study is to contribute to the methodological advancement and therefore to increase efficiency in the diagnosis, characterization and depiction of pathologies in large assemblages of human remains.

2. Materials

Our sample comes from the El Mirador cave site located on the southern slope of the Sierra de Atapuerca in Burgos, Spain. Three areas containing human remains have been discovered at the site since 1999, when excavation activities were resumed after the first intervention in the 1970's, and after a long period during which the artefacts and remains at the site were subjected to poaching (Vergès et al., 2002, 2016).

* Corresponding author at: Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain

E-mail address: mlozano@iphes.cat (M. Lozano).

The first zone was located in a survey area of 6 m² in the center of the sheltered area of the site, where highly fragmented remains of six individuals were recovered. They date to the Early Bronze Age (4400–4100 cal BP) and show evidence of ritual cannibalism (Cáceres et al., 2007; Vergès et al., 2016). The second zone, named sector 100 and located in the NW section of the current wall of the cave, yielded a single inhumation of a young individual of Bronze Age chronology. Finally, the third zone is a collective burial located in a small cavity called El Laminador, near the NE end of the cave. The remains from this third zone are the focus of this study. We analyzed the human dental remains from this Chalcolithic collective burial dated at 4000 ± 30 BP (4550–4390 cal. BP) and 4120 ± 30 BP (4880–4480 cal. BP) (Vergès et al., 2016).

There are 4200 highly commingled and disarticulated human remains, 594 of which are dental remains, including isolated teeth, mandibles, disarticulated maxillae and crania with maxillae. The total number of teeth analyzed was 515 (both in situ and isolated). The minimum number of individuals (MNI) based on the mandibles, the most prevalent dental element, showed a MNI of 23 individuals (Lozano et al., 2017). But, the recount for this study increases the MNI to 24 based on the analysis of mandibles and maxillae. However, a recently published study of the vertebral remains from El Mirador site increased the MNI to 28 individuals based on the atlas or C1 (Yustos et al., 2020). As a consequence of the commingled origin of the sample, the isolated teeth and some maxillae are not associated with any individual, which accounts for the difference in the MNI. Based on dental developmental status and dental wear for age at death determination, together with anthropological standards and DNA analysis for sex determination (Gómez-Sánchez et al., 2014; Mathieson et al., 2015), we estimate that these remains belonged to at least to 19 adults (11 males, 5 females and 3 undetermined) and 5 children.

3. Methods

3.1. Pathological macroscopic inspection

As a first step in our analysis, we applied the traditional visual inspection and macroscopic methods to identify oral pathologies affecting teeth, such as caries, dental calculus, enamel hypoplasia, hyperdontia and antemortem tooth loss. Pathologies affecting the alveolar bone were recorded: periapical lesions such as abscesses and periodontal cysts, alveolar resorption, periodontal disease, and exostosis. The presence or absence of all of these conditions was documented, and for some, classification of the severity of the pathology and other indicators were recorded as explained below for each.

Dental caries is the progressive demineralization of hard dental tissues due to acids produced by bacteria. We recorded the presence/absence of dental caries in each tooth, the type of lesion according to tooth type and its location in the tooth following the five types in Black's classification of dental caries (Black, 1981). Those cavities found on pits and fissures belong to Class I; Class II are lesions located in the proximal surfaces of posterior teeth; Class III caries in the proximal surfaces of canines and incisors; Class IV lesions involving the incisal angles of anterior teeth; and Class V cavities in the gingival third of any surfaces of anterior and posterior teeth (García Barbero, 2005), and the degree of destruction of dental tissues.

Dental calculus, or calcified bacterial plaque adhered to dental surfaces, was recorded in terms of presence/absence, the subgingival or supragingival location for each tooth and the amount of calculus preserved (Lieverse, 1999; Roberts-Harry and Clerehugh, 2000). Traditional visual inspection of teeth can determine presence/absence, type, location and amount of dental calculus. Since the analysis of the composition of dental calculus contributes valuable information about the diets of past populations and even the

medicinal uses of plants, this type of study has been increasingly applied in recent years (Hardy et al., 2009, 2015; Henry and Piperno, 2008; Henry et al., 2014; Sawafuji et al., 2020; Tromp et al., 2020). Analysis of dental calculus composition is a destructive technique which involves extracting the calculus deposits before they are prepared (Bucchi et al., 2019; Soto et al., 2019). A photographic record of the deposits of calculus in situ previous to its extraction, or, even better, an analysis under microscopy, may be a useful and recommendable practice in order to avoid losing valuable paleobiological information of the original morphology and the location of the calculus deposits.

A few developmental pathologies, such as dental enamel hypoplasia and hyperdontia, were also documented. Enamel hypoplasia is defined as deficiencies in enamel deposition during the amelogenesis (Goodman and Rose, 1990). It could be the result of a stress period due to malnutrition, infections, vitamin deficiencies or local trauma during tooth formation (Irish and Scott, 2016) (Hillson and Antoine, 2011). The resulting lesion may range from localized pitting to lines or grooves on a single tooth to numerous teeth from the same individual. We recorded the presence or absence on each tooth and, the number of linear defects. The distance of the hypoplastic defect from the cemento-enamel junction was measured to estimate the age when the defect occurred (Trancho and Robledo, 2002; Guatelli-Steinberg et al., 2013; Reid and Dean, 2006; Irish and Scott, 2016).

Hyperdontia is the condition of having one or more supernumerary teeth, most frequently documented in the maxilla (Refoua and Arshad, 2006). The prevalence of supernumerary teeth in the present-day population is low, ranging from 0.1% to 3.4% (Kokten et al., 2003), and is rarely documented among ancient populations (Ceperuelo et al., 2015; Trinkaus, 2018). We recorded the presence/absence and unilateral or bilateral presence.

Antemortem tooth loss can be related to multiple causes, such as severe dental cavities, periodontal disease, extreme dental wear, accidental trauma and even cultural traditions such as dental ablation (Lacy, 2021). It was recorded exclusively in the case of evidence of alveolar resorption and new bone formation inside the empty dental socket.

The presence/absence of periapical abscesses and periodontal cysts were also recorded as those holes and broken areas on the mandibular and maxillary apical areas of the alveolar bone caused by infection of dental pulp, sometimes associated with severe dental caries, excessive attrition, antemortem tooth loss or trauma (Boldsen, 2016; Dias and Tayles, 1997).

The loss of bone is commonly associated with periodontal disease. In anthropological skeletal remains, the horizontal or vertical loss of bone is the evidence of a severe previous process of degeneration of tooth supportive soft tissues as a consequence of a gingivitis and subsequent periodontal disease (DeWitte and Bekvalac, 2010). The presence/absence of loss of bone on the maxilla and mandible was recorded by measuring the distance between the cemento-enamel junction and the edge of the alveolar bone in the mandible or maxilla. Mild to moderate periodontal disease is defined as the presence of 3–6 mm of lost bone. Meanwhile, the loss of 6 or more mm of alveolar bone is evidence of severe periodontal disease. The presence of pitting on the alveolar bone also offers evidence of periodontal disease, and was also recorded (Chimenos and Malgosa, 2002).

Finally, the formation of new bone, exostosis and torus, along the alveolar edge of the mandible and maxilla was recorded and classified as *torus mandibularis*, *torus palatinus* buccal maxillary exostosis or lingual maxillary exostosis (Pechenkina and Benfer, 2002). In this work, exostoses are described as continuous ridges of smooth and thin bone, and torus as single or multiple continue and well-developed nodules. It is common in elder individuals, but also could be an indicator of masticatory stress, sometimes linked to other conditions

such as arthropathy of the temporomandibular joint (Pechenkina and Benfer, 2002; Pechenkina et al., 2002).

3.2. Pathologies recorded using microscopy and computed tomography

Once the presence of these pathologies and conditions were recorded by means of traditional macroscopic methods, some of the specimens were analyzed using different equipment to compare their suitability for analysis, characterization and final diagnosis. We also recorded a set of technical aspects, such as quality of the images, possibility of taking measurements, availability, feasibility of replication of the studies and time and expense.

However, not all of these types of techniques are suitable for analyzing each of the recorded pathologies. The 3D digital microscope (3D DM) and scanning electron microscope (SEM) were used to analyze external pathologies such as caries, dental calculus, linear enamel hypoplasia, abscesses and periodontal disease. The cone beam computed tomography (CBCT) and micro computed tomography (microCT) systems were used for recording tooth-related radiographic features and some conditions not observable through a visual inspection, such as interproximal and radicular dental caries, hyperdontia, impacted teeth, agenesis, and root anomalies.

The specific microscopy equipment used in this study consisted of an FEI QUANTA 600 environmental scanning electron microscope (ESEM) from the URV's Scientific and Technical Resources Department and a HIROX KH-8700 3D digital microscope from the IPHES facilities (both institutions in Tarragona, Spain). In both cases, small maxilla and mandible fragments and isolated teeth were analyzed directly. However, in the case of ESEM, the specimens were mounted on a stub prior to introducing them into the microscope's chamber to ensure their correct positioning on the chamber's stage. Inside the ESEM chamber, the samples were placed perpendicularly to the electron beam. They were analyzed with these parameters: large field detector -LFD, pressure of 0,68 Torr, voltage 20 kV, working distance variable between 15 and 20 mm, and magnification detail between 20x and 100x. It is worth to remark that the SEM was always used in low vacuum mode, not in environmental conditions (Hernando et al., 2020).

In the case of the 3D digital microscope HIROX, no preliminary preparation of the samples was required. We analyzed the samples mainly under the low-range lens with magnifications between 35x and 50x (Horizontal Field of View [HFOV] 8700 μ m and 6065 μ m correspondingly). Occasionally, the 140x magnification of middle-range lens was used for recording specific details (HFOV 2166 μ m). The microscope works with high intensity LED light source that provides a temperature of 5700 K close to that of daylight. The HIROX microscope provides the possibility to observe the samples not only with ring light but also with coaxial lateral lighting which allows to highlight the observed topography. Ring and coaxial lateral lighting were used to obtain the images. The microscope is equipped with high-sensitivity compact CCD camera that projects the images onto a high definition LSD 21.5" monitor and allows to capture high-resolution images (1600 \times 1200 pixels).

The other major type of equipment examined in this study was high-resolution scan imaging equipment, CBCT and microCT. Both are systems based on computed tomography that capture series of 2D x-ray images with cross-sectional slices at different distances. The resulting images offer non-destructive volumetric information about microstructures because the images can be processed into 3D models (Bagnell, 2018; Aleshkina et al., 2021). CBCT and microCT analyses are increasing among medical studies because the resolution of the images drastically improved the reliability of the results (Aleshkina et al., 2021; Iwanaga et al., 2020a, 2020b; Radlanski et al., 2021).

CBCT is a radiographic imaging method of cone-shaped x-ray beam technology that provides accurate, three-dimensional imaging

of soft and hard tissue structures (Ceperuelo et al., 2015; Kumar et al., 2015; Scarfe and Farman, 2008). CBCT is usually used in daily clinical practice to obtain images of bony facial structures in few seconds and minimize the radiation exposure time of the patients. The resolution of the images is accurate enough to identify different types of pathologies, such as interproximal and apical caries, cysts, impacted and supernumerary teeth and agenesis (Ceperuelo, 2015; Ceperuelo et al., 2015; Hernando et al., 2019; Tomczyk et al., 2020). Beyond the pathological studies, CBCT images are well-suited for characterizing internal dental structures such as the pulp cavity and root morphology (Ceperuelo et al., 2014). The CBCT images were taken using a Planmeca ProMax 3D (Fadente, Helsinki, Finland) from the Faculty of Odontology of the Universitat Internacional de Catalunya in Barcelona, Spain, operating at 80 kV and 5.0 mA, with an exposure time of 18 s. The voxel size was 0.125 mm, and the slice thickness was 1.0 mm. The maximum number of slices was 580, each of them of 512 \times 512 pixels.

Lastly, microCT employs a high-definition microfocal x-ray unit providing high-resolution images of inner structures because samples can be imaged with pixel sizes as small as 100 nanometers (Bagnell, 2018; Rhodes et al., 1999; Tomaszewska et al., 2018). High resolution microCT images of the specimens were obtained at the Centro Nacional de Investigación sobre Evolución Humana facilities in Burgos, Spain, with a Scanco Medical μ CT81 scanner using the following scan parameters: 70 kV, 114 mA, voxel size 18 μ m. In both cases, virtual models of the specimens were generated. The microCT data of each sample was imported into Avizo software (version 2020.2 trial license), where tissues were semi-automatically segmented using 3D voxel value histogram and grayscale values (Martin et al., 2017) with manual corrections (Le Luyer et al., 2016; Le Luyer and Bayle, 2017; Olejniczak et al., 2008; Zanolli et al., 2018). Three-dimensional (3D) surface models can be generated using a constrained smoothing algorithm (Le Luyer and Bayle, 2017; Zanolli et al., 2018) and imported in stl format.

4. Results

A summarized information about the pathologies present in the El Mirador cave sample are shown in Table 1 since the main purpose of this study is to contribute to the methodological advancement in the diagnosis of pathologies in large assemblages of human remains, rather than to provide a detailed description of our results in terms of frequency and specific characteristics of the pathologies documented.

Table 1
Dental and alveolar pathologies of El Mirador Cave individuals.

Dental pathology	Total number of affected teeth ^a	Number of affected individuals ^b
Caries	27	6
Calculus	206	14
Hyperdontia	1	1
Enamel hypoplasia	53	3
Antemortem tooth loss	2	No evidence
Alveolar pathology		
Abscesses	8	1
Alveolar resorption	7	5
Periodontal disease	8	6
Exostosis and torus	-	5
ATM	-	3

^a Data of the total number of teeth affected by these pathologies (isolated, in maxilla and in mandible associated with an individual).

^b Three of the 24 individuals do not preserve teeth due to taphonomical factors in the mandibles, only bone pathology is observable.

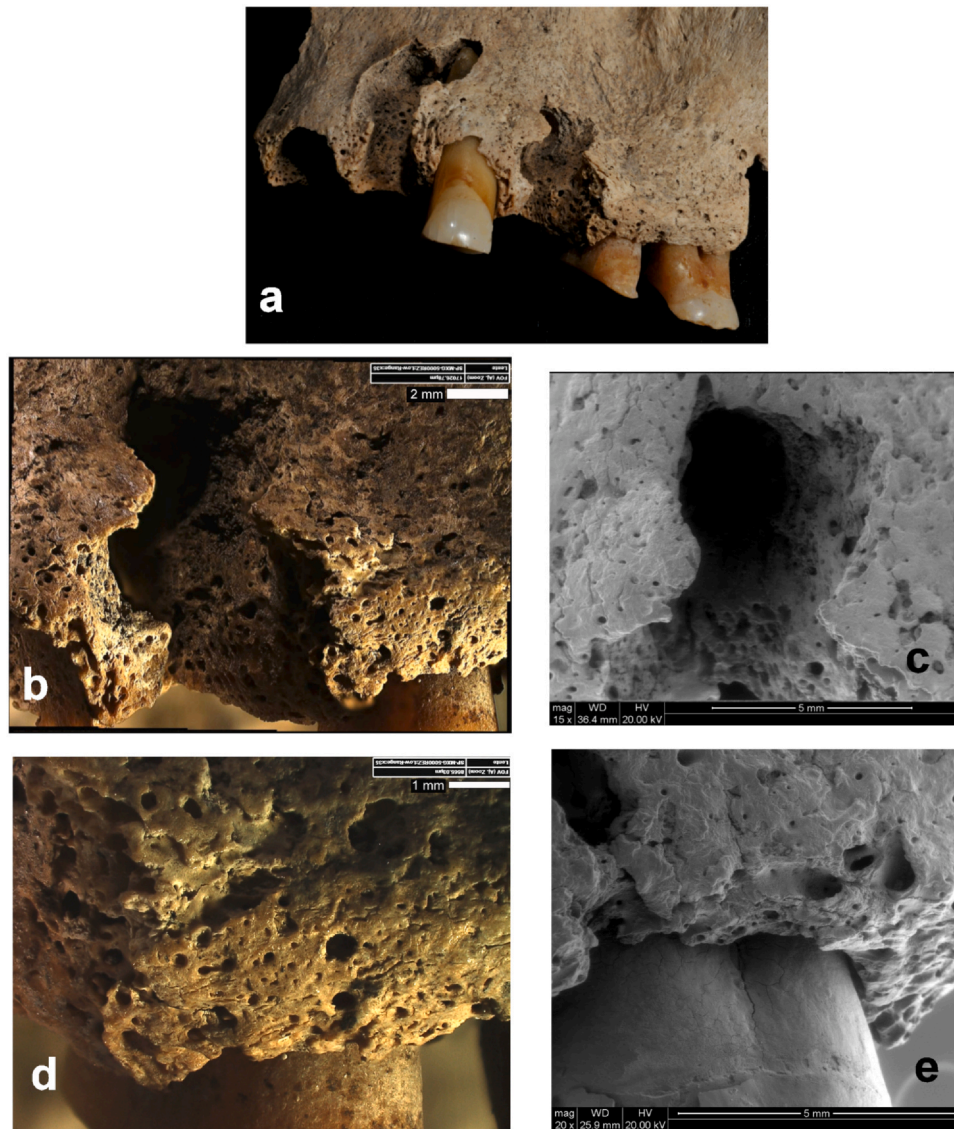


Fig. 1. Abscesses and maxillary alveolar bone pitting from MIR201-610 to MIR202-ST35/36-15 fragments associated with Individual 4. a. photograph of the two maxillary fragments; b. 3D DM detail image of abscess. Scale bar 2 mm; c. SEM detail image of abscess; d. 3D DM image of maxillary alveolar bone pitting. Scale bar 1 mm; e. SEM image of maxillary alveolar bone pitting.

The traditional visual and macroscopic inspection of teeth, mandibles and maxillae were extremely efficient in identifying most of the pathologies described in this study. However, some specimens with different pathologies were selected for analysis with 3D DM, ESEM, CBCT and microCT to show well-preserved examples. Also, we chose problematic cases to obtain a better diagnosis, such is the case of abscesses and cysts to differentiate from *postmortem* alterations on alveolar bone.

4.1. Comparison of 3D digital microscopy and scanning electron microscopy

An in-depth analysis of some specimens under 3D DM and ESEM ultimately led to the diagnosis of bone destruction associated with abscesses and periodontal disease, as detailed inspection was critical in differentiating *antemortem* from *postmortem* damage (Fig. 1). Both microscopes provided high quality images of the edges of the abscesses and areas affected by periodontal disease. However, analysis was faster and easier with the 3D digital microscope since the preliminary assembly of the sample and the process of opening and closing the ESEM chamber were eliminated from the analysis

procedure. Specimen size is the main constraint in SEM. To solve this limitation, researchers focused on dental microwear mold and cast teeth to analyze them with ESEM (Galbany et al., 2004; Hernando et al., 2020). However, we do not recommend molding since it could damage teeth with pathologies as dental tissues become brittle and fragile.

In the case of linear enamel hypoplasia, the traditional assessment with a binocular lens was sufficient to document presence/absence and identify the number of grooves on each tooth. However, since magnifying images are required for accurate measurements between the lesion and the cemento-enamel junction, we obtained ESEM and 3D DM images at 35x of enamel surfaces with linear enamel hypoplasia. The measurements were taken directly from the software associated with each microscope (Fig. 2). After measuring images with digital caliper, and from ESEM and 3D DM of eight teeth, the results were quite similar (Table 2). However, ESEM and 3D DM images allow more precision as hypoplastic bands are better visualized. On the other side, when taking measurements with digital caliper we had some problems to correctly measure the hypoplastic defects closer to cemento-enamel junction. In any case, more

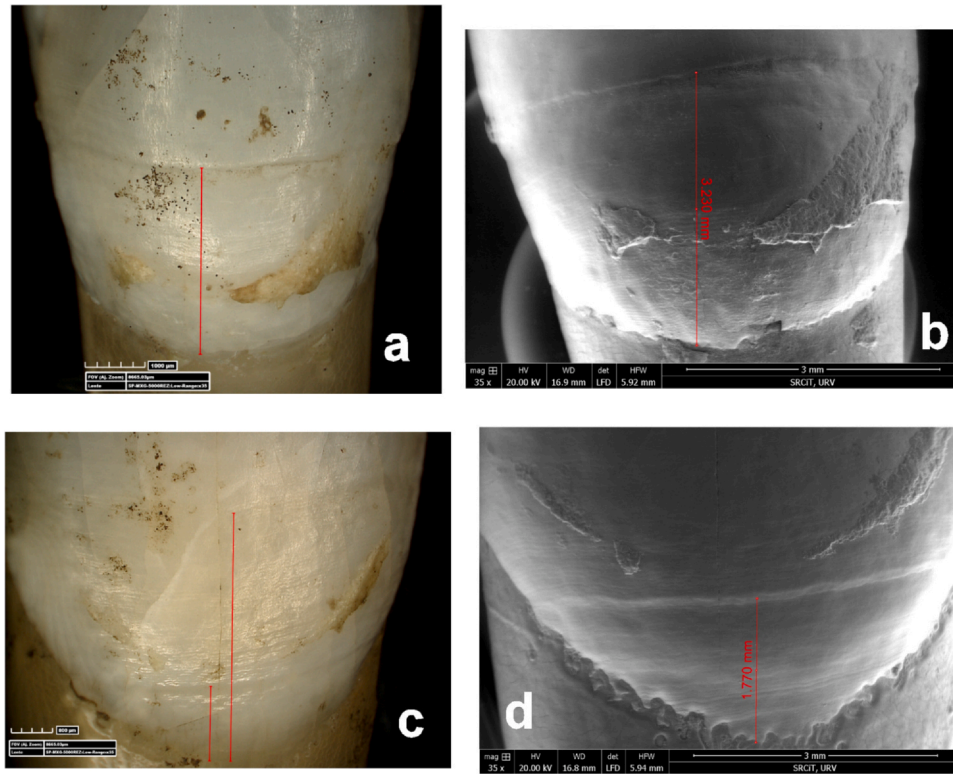


Fig. 2. Examples of linear enamel hypoplasia from El Mirador cave sample. a. 3D DM image of the buccal surface of the lower premolar MIR201-P38-1; b. ESEM image of the buccal surface of the lower premolar MIR201-P38-1; c. 3D DM image of the vestibular surface of the upper first incisor MIR203-Q37-62; d. ESEM image of the vestibular surface of the upper first incisor MIR203-Q37-62.

Table 2
 Distance in mm between hypoplastic lesion and cemento-enamel junction.

Tooth	Digital caliper	3D DM	ESEM
MIR203-R37-220	2.88	2.98	2.93
MIR201-P38-1	2.53	3.34	3.23
MIR203-R35-60	4.80	5.48	4.89
	No measurable	4.51	4.05
	2.40	3.73	3.35
	1.20	2.57	2.61
MIR202-R37-47	6.02	3.37	4.44
	3.06	2.57	3.47
MIR203-R37-235	3.60	2.64	3.02
	No measurable	2.07	2.19
MIR201-488	2.50	3.53	2.97
MIR203-Q37-62	4.39	4.79	4.83
	No measurable	1.44	1.77
MIR203-R37-182	2.06	2.33	2.54

Data measured from images of 3D digital microscope (3D DM) HIROX KH8700 and environmental scanning microscope (SEM) FEI QUANTA 600.

sampling is needed to obtain statistical data and to calculate the intra/inter observer error.

ESEM and 3D DM visualization allows data from the original sample to be recorded and possible microdebris trapped in the dental calculus to be mapped (Fig. 3). The ESEM not only allowed us to record the exact characteristics of the outer surface of the deposits of calculus, but also to analyze the chemical elemental composition of the sample by means of energy dispersive x-ray spectroscopy (EDX). However, this process is time-consuming and expensive if numerous samples have to be analyzed. Documenting calculus deposits with 3D DM is a faster and cheaper process than ESEM, although only the outer surface of the calculus deposit can be documented photographically and not with the high resolution and detail of the ESEM images. If only photographic recording is needed,

a digital camera is the cheapest and fastest option to document the calculus before the extraction.

Lastly, some examples of dental caries were analyzed under the ESEM and digital 3D microscope, which yielded detailed and accurate images for viewing the extent and type of carious lesion, but this did not increase the reliability of the diagnosis. In terms of time efficiency, the 3D DM is faster than ESEM. The only remarkably constraint is related to the brightness of the enamel surfaces under the light of the 3D DM, which occasionally slows down the process of photography. However, there are two types of light, ring and coaxial lateral light. The researcher has to choose one or another to obtain the best resolution image of the surfaces and avoid brightness problems. As researcher become more experienced and familiar with the equipment, the time needed to obtain good images will decrease. In our study, images from digital 3D microscope of dental caries offer excellent depictions of the pathology, especially the 3D versus the 2D grayscale SEM images (Fig. 4).

4.2. Comparison of CBCT and microCT scans

All maxillae and mandibles from the El Mirador cave were scanned with CBCT and microCT scans to identify pathologies in the internal tissues of these bones. The sample did not require preparation to be scanned with these systems.

MicroCT image acquisition is slower than CBCT. The process can take several hours, depending on the size of the specimen and the acquisition parameters, while the CBCT used in this study took 18 s (Ceperuelo, 2015). Since the slices or spaces between each image are thinner with microCT, the resolution is higher than for CBCT scanning. The microCT images are the best of the two systems in terms of resolution, providing the highest detail of resolution of the inner dental and bone tissues, and allowing for analysis of tissue proportions and enamel-dentine junction (Fornai et al., 2016; Hublin et al.,

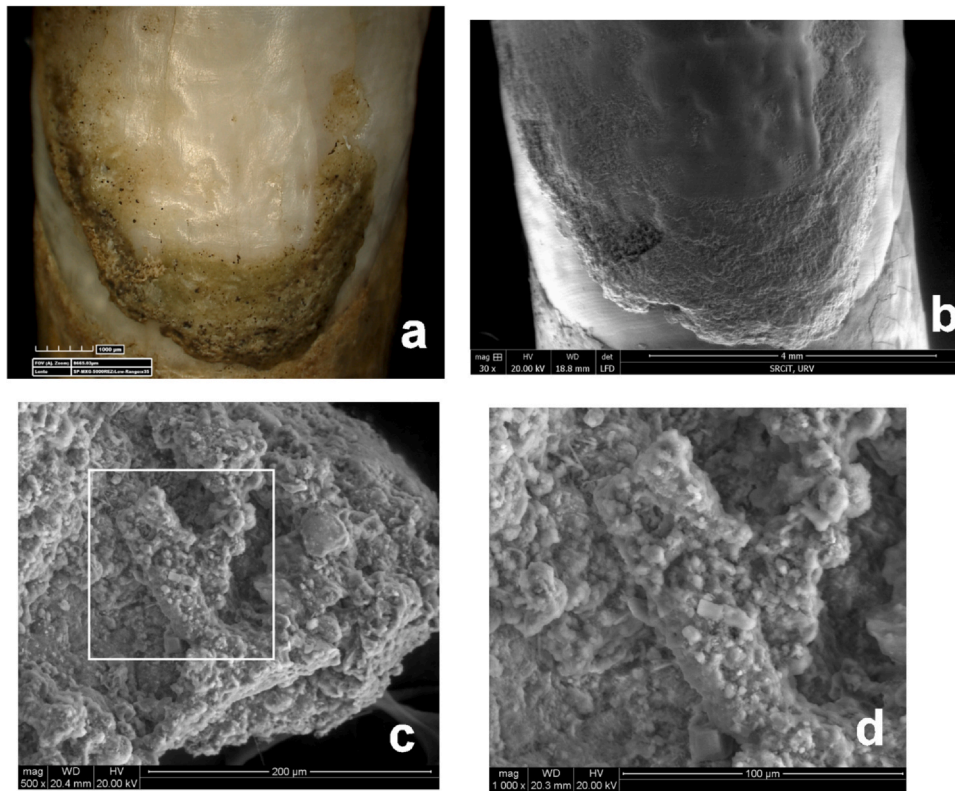


Fig. 3. (a) 3D DM image of dental calculus on the vestibular surface of the lower canine MIR202-R37-47; b. ESEM image of dental calculus on the vestibular surface of the lower canine MIR202-R37-47; c. ESEM image of dental calculus at 500x magnifications. The square is the area enhanced in 3d; d. ESEM image.

2017; Prado-Simón et al., 2012; Skinner et al., 2010; Smith and Olejniczak, 2012) (Fig. 5).

In addition to high-resolution images of internal anatomy, both systems offer the possibility of 3D virtual reconstructions of the specimens. CBCT virtual reconstruction only takes a few minutes,

and the associated software can perform the process automatically. The resulting virtual model has sufficient resolution for diagnosis purposes (Kumar et al., 2015; Tyndall and Rathore, 2009) (Fig. 5). This process is much more time-consuming with microCT images since the segmentation and preparation processes require that the

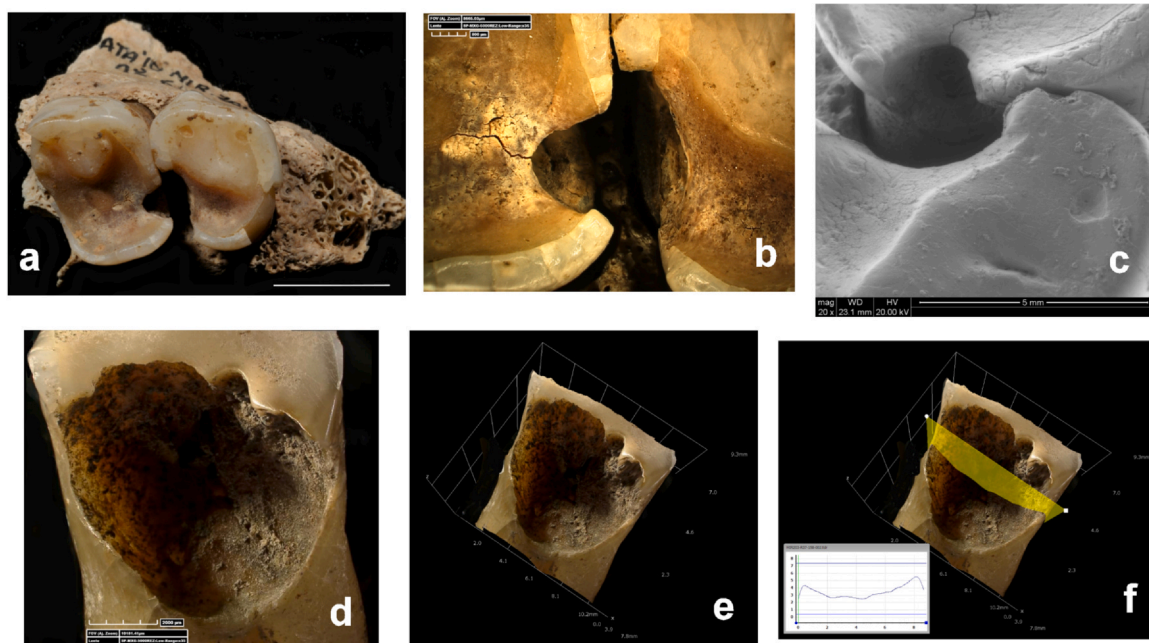


Fig. 4. a. Photograph of interproximal caries affecting upper second and third molars from the maxillary fragment MIR201-610 (occlusal view) associated with Individual 4. Scale bar 1 cm; b. 3D DM image of the interproximal caries of the same maxillary fragment. Scale bar 800 µm; c. ESEM image of the interproximal caries of the same maxillary fragment; d. 3D DM image a severe interproximal caries affecting the crown of a lower molar MIR203-R37-158. Scale bar 2000 µm; e. 2D image of the 3D photograph of the same tooth with 3D DM (from image 3d); f. image showing the measurement of the profile of the cavity with 3D DM (from image 3d).

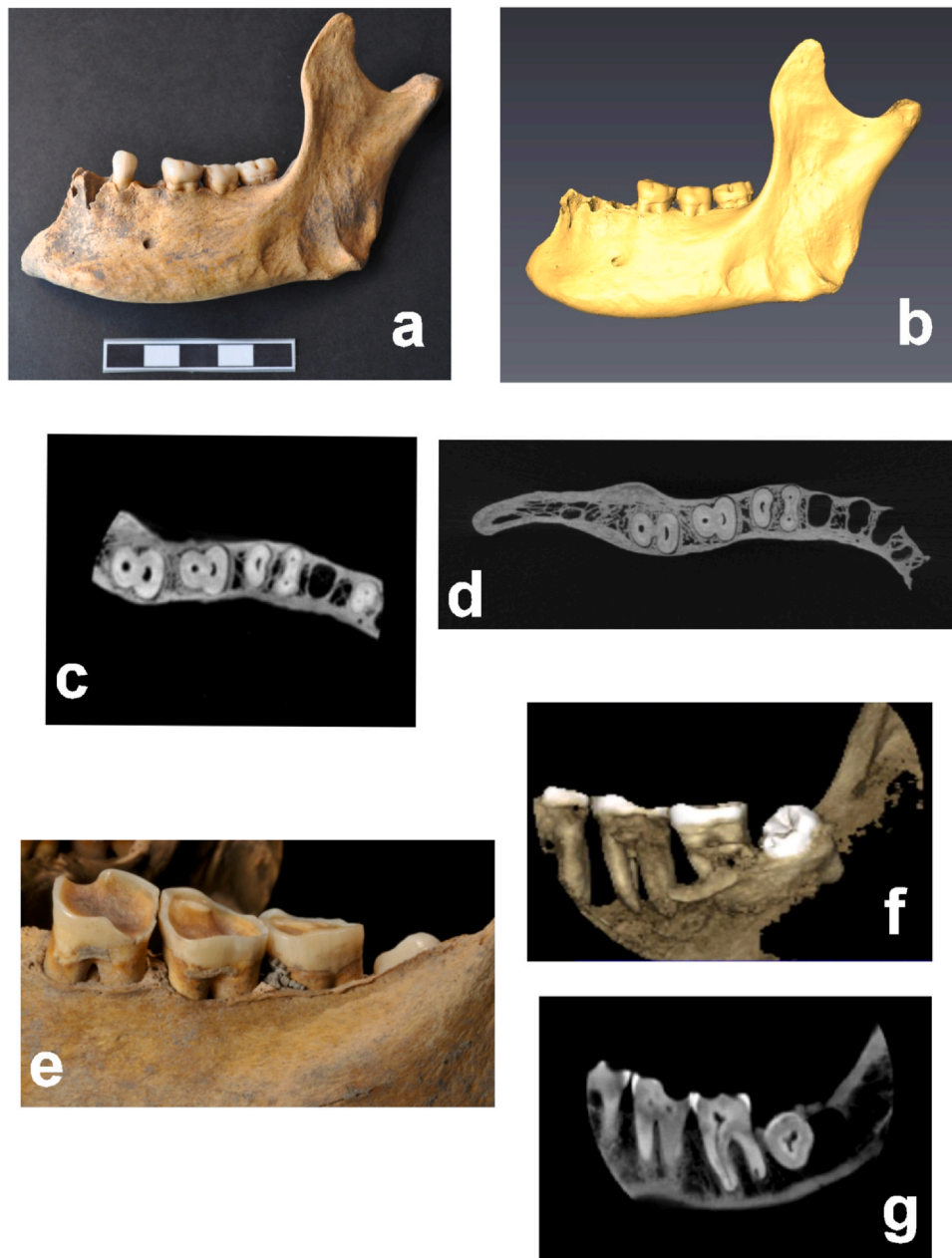


Fig. 5. a. Photograph of the left hemimandible MIR201-Q37-57 associated with Individual 8; b. 3D reconstruction based on microCT scans of MIR201-Q37-57; c. CBCT occlusal view of internal structure of MIR201-Q37-57. Note that only 40 mm of the hemimandible can be scanned; d. microCT occlusal view of internal structure of MIR201-Q37-57. Note that the image shows the complete hemimandible; e. photograph of the mandible MIR202-T36-17 showing a fourth molar; f. 3D reconstruction from CBCT scans of MIR202-T36-17; g. CBCT sagittal view of internal structure of MIR202-T36-17.

researcher have prior knowledge of how to manage the specialized post-processing software. Acquiring the commercial license also increases the budget significantly, although some free software are available. Another important constraint is related to the volume and size of the files resulting from microCT, because to process them, a high-performance computer system or workstation is needed with powerful specialized computer hardware.

In terms of suitability for diagnosis, analysis of a fourth molar or supernumerary tooth identified in the mandible of the individual 4 from El Mirador cave was performed with CBCT images which offered excellent visualization of the root of the distomolar and confirmed the absence of a bilateral condition (Fig. 5) (Ceperuelo et al., 2015).

5. Discussion

Traditional assessments of dental pathologies have proved accurate for the diagnosis of oral pathologies. However, in line with our main aim of validating different techniques of microscopy and scanning imaging to improve the diagnosis, we realized that sometimes is appropriate to employ other techniques to reinforce the first diagnosis or make an initial one in the case of pathologies affecting internal tissues. In no case were our initial diagnosis altered, but external pathologies were validated.

Focusing on microscopy, we analyzed superficial and external pathologies under scanning electron and 3D digital microscopes (Table 3). Analysis with ESEM presented some constraints, the most important of which were the state of preservation and specimen size. Prior to introducing any tooth into the ESEM chamber, its state

Table 3
 Key issues of each equipment to assess the suitability for diagnosis.

	Microscopy		Scanning equipment	
	ESEM	3D DM	CBCT	microCT
Availability	common	common	common	Not-common
Sample preparation	high	Not-required	Not -required	Not-required
Ease of use	medium	low	low	high
Image quality	excellent	excellent	good	excellent
Measurements	excellent	excellent	good	excellent
Time-consuming	high	low	low	high
Expense	high	low	low	high
Pathologies	Calculus, hypoplasia, abscesses	Caries, hypoplasia, abscesses, periodontal disease	Caries, periodontal disease, hyperdontia, alveolar resorption, inner dental structures	Hyperdontia, internal tissues

of preservation must be ascertained since the SEM's low vacuum and pressure conditions could damage the specimens, especially if they have cracks. The size of the SEM chamber limited the sample size, since only fragmented maxilla or hemimandibles could be placed in the chamber while maintaining optimal microscope functionality (i.e., working distance, positioning sample perpendicularly to the electron beam, and moving the sample along the X, Y, Z axes) and avoiding any potential damage to the archaeological specimens. This process takes a significant amount of time.

Analysis of the same specimens under 3D DM was relatively easier and faster than with SEM, since no preparation was needed and the state of preservation of the sample did not present a limitation. Another advantage over ESEM is the possibility of obtaining images of wider areas quicker and easier. Using the mosaic function of the 3D DM, a large portion of the sample could be photographed by tiling and stitching a variable number of images in few minutes. The automatic tiling function to create mosaic and complete digital reconstruction of the sample under study is one of the most important advantages of the HIROX 3D DM. The integrated software of the microscope allows to capture and mount the images automatically without requiring the use of any additional external software. Moreover, it permits to create the 3D models of the same tiled images automatically. As an example, the entire occlusal surface of a molar was photographed with the mosaic option using x35 magnification of the low-range lens. The whole process took 3 min and 35 s. During this time 10 mounted images were tiled each of them created capturing 23 images, for a total of 230 images. The resulting image is of excellent quality and a tridimensional reconstruction is also available (Fig. 6). Multi-scale mosaic images could also be made from SEM photographs by applying the gigapixel-like (GPL) method (Fernández Marchena, 2016; Martín-Viveros and Ollé, 2020; Vergès and Morales, 2014; Willman et al., 2020). However, the process takes a considerable amount of time as it is not automatic, and researchers have to follow several steps and use not only the SEM but also an external software. An average of 50 or 60 ESEM images has to be taken for each specimen. Each quality ESEM image takes between 30 s and one minute, implying a minimum of one hour to obtain the images. All of the images have to then be merged with an advanced panoramic image application in an even time-consuming process, since the researcher have to follow some guidelines to prevent distortions (Willman et al., 2020).

Both systems yield high-quality images for taking measurements. Measurements are quite similar in both equipment since there is an equivalence of the magnification and the horizontal field of view of ESEM and digital 3D HIROX (Martín-Viveros and Ollé, 2020). The main difference is that for the ESEM, the images are grayscale 2D, whereas the digital microscope offers 3D color images. In addition, 3D DM offers numerical data supporting accurate analyses, such as 3D profile measurement, point height measurement, profile roughness and 3D volume and area measurements (Courtenay et al., 2020). One notable constraint when acquiring images with 3D DM is the reflection of the light on the enamel surfaces. However, once the



Fig. 6. 3D DM mosaic image of the occlusal surface of the upper right M1 MIR201-REM-519. The quality of the image allows the observation of dietary striations across the dentine and enamel chipping.

researcher knows how to deal with this issue, analysis can be completed quite quickly.

Other issues that the researcher has to consider are the availability of the two systems at universities and research institutions, ease of use, and expense (Table 3). Scanning electron and 3D digital microscopy are common pieces of equipment in the scientific facilities of research institutions, where researchers are able to pay hourly rates to work with them. If the researcher is properly trained in how to use them, she or he can work alone, thereby incurring a lower cost. Since analysis of each specimen is faster with 3D digital microscope than with ESEM, the 3D digital microscope offers a better total cost of analysis in terms of time and expense.

In terms of diagnosis efficiency of pathology there is not a great improvement using these microscopes. However, the acquisition of outstanding images with high degree of detail and resolution of the pathologies increases substantially the recording and description of the pathologies and it deserves to be in account for publication, exhibition or academic purposes.

High-resolution scanning equipment, CBCT and microCT, was also tested for internal tissues visualization (Table 3). CBCT is based on acquiring three-dimensional images with conical x-ray technology. The high-quality and undistorted three-dimensional images allows for a solid diagnosis of pathologies of internal anatomical and dental structures. The main advantage of this technique is a faster image acquisition process than microCT. CBCT is a cheaper and quicker option for dental diagnoses of large assemblages of human

remains and the quality of images is better than traditional radiographs. Currently, CBCT is the most used medical diagnostic imaging techniques because of its high resolution that allows better and quicker diagnosis and 3D representation of maxillofacial structures without distortion (Kumar et al., 2015). Scanning samples, viewing and processing the images is faster than with microCT, since the post-processing software is built into the CBCT device. Anthropological studies of ancient human remains also benefit from the use of this new technology in obtaining detailed information of internal structures of maxillae and mandibles (i.e. Ceperuelo et al., 2014, 2015). The 3D virtual reconstruction is good enough to for depiction in scientific publications and teaching activities. However, for in-depth and specialized analyses of dental tissues, the best option is the microCT (Table 3), even though a specific and expensive post-processing application is needed, and the process is highly time-consuming. Lastly, microCT is less readily available than CBCT. CBCT is available at odontology and medical faculties as well as at private odontology clinics, whereas very few institutions are equipped with microCT.

The available literature about dental pathologies among large human assemblages indicates that they are largely still analyzed by traditional methods as macroscopic inspection and radiography of the remains (e.g. Da-Gloria and Larsen, 2014; Fields et al., 2009; Garcin et al., 2010; Hubbe et al., 2012; Lacy, 2021). However, fossil teeth from extinct species or isolated human remains with outstanding pathologies or conditions are analyzed applying ESEM, microCT, and, in some cases, CBCT scans systems (e.g. Arnaud et al., 2017; Bernardini et al., 2012; Buzi et al., 2020; Ceperuelo et al., 2015; Coppa et al., 2006; Dean et al., 2013; Giuffra et al., 2014; Hernando et al., 2019; Oxilia et al., 2015; Tomczyk et al., 2020)(Vilotte et al., 2018). Another interesting use of CT and microCT scans applied to fossils remains, although far removed from pathological analyses, is the preparation processes of remains trapped in breccia blocks, where the images of a medical CT are better than the microCT images to differentiate breccia from bones (Smilg, 2017).

6. Conclusions

In the last few years, the diagnosis of oral pathologies in ancient human remains has been improved by means of the use of microscopy and computed tomography technologies for analysis. However, each of these types of equipment holds both advantages and drawbacks. The comparison between 3D digital and ESEM microscopy for the analysis of large sets of human remains suggest that the former is an excellent option for analyzing dental pathologies. 3D digital microscopy is suitable regardless of the preservation state of the sample, requires no sample preparation, is easy to operate, fast processing speeds, yields excellent color 3D images including mosaic of large surfaces and accurate measurements. Although, both ESEM and 3D DM offer high-quality images suitable for digital content, educational, exhibition and outreach purposes. For diagnostic objectives and the characterization of pathologies of internal structures, CBCT allows for the faster acquisition of high-quality images because the time-consuming post-processing stage is eliminated.

More comparative studies are needed to improve the existing body of knowledge about the possibilities of microscopy and scanning equipment for paleoanthropological studies. In this sense, our work points to 3D digital microscopy and CBCT as alternative options for improving oral pathology studies of large human assemblages from different chronologies. Both techniques are suitable for a wider range of samples and offer faster and cheaper analyses.

Ethical Statement

Not applicable to this research.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

We want to thank the two anonymous reviewers for their helpful comments and suggestions. We want to thank Lena Asryan for her helpful comments on microscopy. We would also like to thank the El Mirador cave excavation team. The CBCT analyses were carried out thanks to the generous collaboration with Universitat Internacional de Catalunya, UIC. The analysis carried out have been funded by the Spanish Ministry of Science and Innovation, project number PGC2018-093925-B-C32, (MINECO/FEDER), and CERCA Programme/ Generalitat de Catalunya, AGAUR 2017 SGR 1040. R.H is funded by predoctoral URV Martí-Franquès Research Grant (URV 2019PMF-PIPF-59). B.G. is funded by 2017 BP 00210 of AGAUR. The Institut Català de Paleoeologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA) has received financial support from the Spanish Ministry of Science and Innovation through the “María de Maeztu” program for Units of Excellence (CEX2019-000945-M).

References

- Aleshkina, O., Suetenkov, D., Dydykin, S., Vasil'ev, Y., Paulsen, F., Firsova, I., Bikbaeva, T., Polkovova, I., 2021. Determination of sex dimorphisms of the thickness of the hard palate in adolescence using computed tomography: pilot study. *Ann. Anat.* 238, 151764. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2021.151764>
- Arnaud, J., Benazzi, S., Romandini, M., Livraghi, A., Panetta, D., Salvadori, P.A., Volpe, L., Peresani, M., 2017. A Neanderthal deciduous human molar with incipient carious infection from the Middle Palaeolithic De Nadale cave, Italy. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 370–376. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23111>
- Zanolli, C., Martínón-Torres, M., Bernardini, F., Boschian, G., Coppa, A., Dreossi, D., Mancini, L., Martínez de Pinillos, M., Martín-Francés, L., Bermúdez de Castro, J.M., 2018. The Middle Pleistocene (MIS 12) human dental remains from Fontana Ranuccio (Latium) and Visogliano (Friuli-Venezia Giulia), Italy. A comparative high resolution endostructural assessment. *PLoS One* 13, e0189773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189773>
- Bagnell, A., 2018. What is micro-CT? An Introduction. (<https://www.microphotonics.com/blog/>).
- Bernardini, F., Tuniz, C., Coppa, A., Mancini, L., Dreossi, D., Eichert, D., Turco, G., Biasotto, M., Terrasi, F., De Cesare, N., Hua, Q., Levchenko, V., 2012. Beeswax as dental filling on a neolithic human tooth. *PLoS One* 7, 44904. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044904>
- Boldsen, J.L., 2016. Pathogenesis of dental abscesses in a Medieval village community. *Bull. Mem. Soc. Anthropol. Paris.* 10, 345–356. (http://www.persee.fr/doc/bmsap_0037-8984_1998_num_10_3_2523).
- Bucchi, A., Burguet-Coca, A., Expósito, I., Aceituno Bocanera, F.J., Lozano, M., 2019. Comparisons between methods for analyzing dental calculus samples from El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 6305–6314. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00919-z>
- Black, G.V., 1981. Extracts from the last century. Susceptibility and immunity by dental caries by G.V. Black. *Br. Dent. J.* 151, 10.
- Buzi, C., Micarelli, I., Paine, R.R., Profico, A., Messineo, D., Tafuri, M.A., Manzi, G., 2020. Digital imaging techniques applied to a case of concha bullosa from an early medieval funerary area in central Italy. *Int. J. Paleopathol.* 31, 71–78.
- Cáceres, I., Lozano, M., Saladié, P., 2007. Evidence for bronze age cannibalism in El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Am. J. Phys. Anthr.* 133, 899–917. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2020.10.002>
- Ceperuelo, D., Lozano, M., Duran-Sindreu, F., Mercadé, M., 2014. Root canal morphology of Chalcolithic and early bronze age human populations of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Anat. Rec.* 297, 2342–2348.
- Ceperuelo, D., 2015. Anatomía de los Conductos Radiculares de los Molares a Través de los Restos Fósiles de la Cueva de El Mirador (Atapuerca) (Ph Dissertation). UIC, Barcelona.
- Ceperuelo, D., Lozano, M., Duran-Sindreu, F., Mercadé, M., 2015. Supernumerary fourth molar and dental pathologies in a Chalcolithic individual from the El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Homo* 66, 15–26.
- Chimenes, E., Malgosa, A., 2002. Recogida de datos en antropología dental. In: Perea Sánchez, B., Sánchez Sánchez, J.A., Domínguez González, S. (Eds.), *Antropología y Paleontología Dentarias*. Ed. Mapfre, Madrid, pp. 293–318.
- Coppa, A., Bondioli, L., Cucina, A., Frayer, D.W., Jarrige, C., Jarrige, J.F., Qivron, G., Rossi, M., Vidale, M., Macchiarelli, R., 2006. Early Neolithic tradition of dentistry. *Nature* 440, 755–756.

- Courtenay, L.A., Huguet, R., González-Aguilera, D., Yravedra, J., 2020. A hybrid geometric morphometric deep learning approach for cut and trampling mark classification. *Appl. Sci.* 10, 150. <https://doi.org/10.3390/app10010150>
- Da-Gloria, P., Larsen, C.S., 2014. Oral health of the Paleoamericans of Lagoa Santa. *Cent. Braz. Am. J. Phys. Anthropol.* 154, 11–26.
- Dean, M.C., Rosas, A., Estalrich, A., García-Taberner, A., Huguet, R., Lalueza-Fox, C., Bastir, M., de la Rasilla, M., 2013. Longstanding dental pathology in Neandertals from El Sidrón (Asturias, Spain) with a probable familial basis. *J. Hum. Evol.* 64, 678–686. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.03.004>
- DeWitte, S.N., Bekvalac, J., 2010. Oral health and frailty in the Medieval English cemetery of St Mary Graces. *Am. J. Phys. Anthropol.* 142, 341–354.
- Dias, G., Tayles, N., 1997. “Abscess Cavity” – a Misnomer. *International Journal of Osteoarchaeology* 7, 548–554. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1212\(199709/10\)7:5<548::AID-OA369>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1212(199709/10)7:5<548::AID-OA369>3.0.CO;2-I)
- Fernández Marchena, J.L., 2016. Tracelogical analysis of a singular artefact: the rock crystal point from O Chadizo (Boiro, A Coruña, Galicia). *Lithic Technol.* 3, 253–271. <https://doi.org/10.2218/jls.v3i2.1542>
- Fields, M., Herschaft, E.E., Martin, D.L., Watson, J.T., 2009. Sex and the agricultural transition: dental health of early farming females. *J. Dent. Oral. Hyg.* 1, 42–51.
- Fornai, C., Benazzi, S., Gopher, A., Barkai, R., Sarig, R., Bookstein, F.L., Hershkovitz, I., Weber, G.W., 2016. The Qesem Cave hominin material (part 2): A morphometric analysis of dm2-QC2 deciduous lower second molar. *Quat. Int.* 398, 175–189. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.102>
- Galbany, J., Martínez, L.M., Pérez-Pérez, A., 2004. Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: methodological obstacles. *Anthropologie* 42, 5–12.
- García Barbero, J., 2005. *Patología y Terapéutica Dental*. Síntesis, Barcelona.
- Garcin, V., Veleminsky, P., Trefny, P., Alduc-Le Bagousse, A., Lefebvre, A., Bruzek, J., 2010. Dental health and lifestyle in four early mediaeval juvenile populations: comparisons between urban and rural individuals, and between coastal and inland settlements. *Homo* 61, 421–439.
- Giuffra, V., Panetta, V., Salvadori, P.A., Fornaciari, G., 2014. A historical case of amelogenesis imperfecta: Giovanna of Austria, Grand Duchess of Tuscany (1547–1578). *Eur. J. Oral. Sci.* 122, 1–6. <https://doi.org/10.1111/eos.12097>
- Gómez-Sánchez, D., Olalde, I., Pierini, F., Matas-Lalueza, L., Gigli, E., Lari, M., Civit, S., Lozano, M., Vergès, J.M., Caramelli, D., Ramírez, O., Lalueza-Fox, C., 2014. Mitochondrial DNA from El Mirador Cave (Atapuerca, Spain) reveals the heterogeneity of Chalcolithic populations. *PLoS One* 9, 105105. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105105>
- Goodman, A.H., Rose, J.C., 1990. Assessment of systemic physiological perturbations from dental enamel hypoplasias and associated histological structures. *Yearb. Phys. Anthropol.* 33, 59–110.
- Guatelli-Steinberg, D., Buzhilova, A.P., Trinkaus, E., 2013. Developmental stress and survival among the Mid Upper Paleolithic Sungir children: dental enamel hypoplasias of Sungir 2 and 3. *Int. J. Osteoarchaeol.* 23, 421–431.
- Hardy, K., Blakeney, T., Copeland, L., Kirkham, J., Wrangham, R., Collins, M., 2009. Starch granules, dental calculus and new perspectives on ancient diet. *J. Archaeol. Sci.* 36, 248–255.
- Hardy, K., Radini, A., Buckley, S., Sarig, R., Copeland, L., Gopher, A., Barkai, R., 2015. Dental calculus reveals potential respiratory irritants and ingestion of essential plant-based nutrients at the Lower Palaeolithic Qesem cave Israel. *Quat. Int.* 30, 1–7.
- Henry, A.G., Piperno, D.R., 2008. Using plant microfossils from dental calculus to recover human diet: a case study from Tell al-Raq'a'i, Syria. *J. Archaeol. Sci.* 35, 1943–1950.
- Henry, A.G., Brooks, A.S., Piperno, D.R., 2014. Plant foods and the dietary ecology of Neanderthals and early modern humans. *J. Hum. Evol.* 69, 44–54.
- Hernando, R., Fernández-Marchena, J.L., Willman, J.C., Ollé, A., Vergès, J.M., Lozano, M., 2020. Exploring the utility of optical microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear. *Quat. Int.* 569, 5–14.
- Hernando, R., Lozano, M., Ceperuelo, D., Alonso, S., Vaquero, M., 2019. Los niños de La Cova de Valdavara (Becerra, Lugo): análisis morfológico, patológico y del microdestruente dental. *Munibe* 70, 207–218.
- Hillson, S.W., Antoine, D., 2011. The mechanisms that produce the defects of enamel hypoplasia. *Am. J. Phys. Anthropol.* S52, 163.
- Hubbe, M., Torres-Rouff, C., Neves, W.A., King, L.M., Da-Gloria, P., Costa, M.A., 2012. Dental health in Northern Chile's Atacama Oases: evaluating the Middle Horizon (AD 500–1000) impact on local diet. *Am. J. Phys. Anthropol.* 148, 62–72.
- Hublin, J.-J., Ben-Ncer, A., Bailey, S.E., Freidline, S.E., Neubauer, S., Skinner, M.M., Bergmann, I., Le Cabec, A., Benazzi, S., Harvati, K., 2017. New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of Homo sapiens. *Nature* 546, 289. <https://doi.org/10.1038/nature22336>
- Irish, J.D., Scott, R.G., 2016. *A Companion to Dental Anthropology*. Wiley Blackwell, Oxford.
- Iwanaga, J., Katafuchi, M., Matsushita, Y., Kato, T., Homer, K., Tubbs, R.S., 2020a. Anatomy of the mandibular canal and surrounding structures: part I: morphology of the superior wall of the mandibular canal. *Ann. Anat. Anat. Anz.* 232, 151580. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151580>
- Iwanaga, J., Shirimoto, K., Kato, T., Tanaka, T., Ibaragi, S., Tubbs, R.S., 2020b. Anatomy of the mandibular canal and surrounding structures: Part II: Cancellous pattern of the mandible. *Ann. Anat. Anat. Anz.* 232, 151580. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151583>
- Kokten, G., Balcioglu, H., Buyukertan, M., 2003. Supernumerary fourth and fifth molars: a report of two cases. *J. Contemp. Dent. Pract.* 4, 2–5.
- Kumar, M., Shanavas, M., Sidappa, A., Kiran, M., 2015. Cone beam computed tomography – know its secrets. *Int. J. Oral. Health Sci.* 7, 64–68.
- Lacy, S.A., 2021. Evidence of dental agenesis in late pleistocene Homo. *Int. J. Paleopathol.* 32, 103–110.
- Larsen, C.S., 1997. *Bioarchaeology. Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. Cambridge University Press.
- Le Luyet, M., Bayle, P., 2017. Microevolution of outer and inner structures of upper molars in Late Pleistocene and Early Holocene humans. *Comptes Rendus Palevol* 16, 632–644. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2016.11.009>
- Le Luyet, M., Coquerelle, M., Rottier, S., Bayle, P., 2016. Internal tooth structure and burial practices: insights into the Neolithic necropolis of Gurgy (France, 5100–4000 cal. BC). *PLoS One* 11, e0159688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159688>
- Lieverse, A.R., 1999. Diet and the aetiology of dental calculus. *Int. J. Osteoarchaeol.* 9, 219–232.
- Lozano, M., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Carbonell, E., 2017. Diachronic analysis of cultural dental wear at the Atapuerca sites (Spain). *Quat. Int.* 433, 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.028>
- Lukacs, J.R., 1992. Dental paleopathology and agricultural intensification in South Asia: new evidence from bronze age harappa. *Am. J. Phys. Anthropol.* 87, 133–150.
- Mathieson, L., Lazaridis, I., Rohland, N., Mallick, S., Patterson, N., Roodenberg, S.A., Harney, E., Stewardson, K., Fernandes, D., Novak, M., Sirak, K., Gamba, C., Jones, E.R., Llamas, B., Dryomov, S., Pickrell, J., Arsuaga, J.L., de Castro, J.M.B., Carbonell, E., Gerritsen, F., Khokhlov, A., Kuznetsov, P., Lozano, M., Meller, H., Mochalov, O., Moiseyev, V., Guerra, M.A.R., Roodenberg, J., Vergès, J.M., Krause, J., Cooper, A., Alt, K.W., Brown, D., Anthony, D., Lalueza-Fox, C., Haak, W., Pinhasi, R., Reich, D., 2015. Genome-wide patterns of selection in 230 ancient Eurasians. *Nature* 538, 499–503.
- Martin, R.M.G., Hublin, J.-J., Gunz, P., Skinner, M.M., 2017. The morphology of the enamel-dentine junction in Neandertal molars: Gross morphology, non-metric traits, and temporal trends. *Journal of Human Evolution* 103, 20–44. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2016.12.004>
- Martin-Viveros, J.L., Ollé, A., 2020. Use-wear and residue mapping on experimental chert tools. A multi-scalar approach combining digital 3D, optical, and scanning electron microscopy. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 30, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102236>
- Olejniczak, A., Smith, T., Feeney, R., Macchiarelli, R., Mazurier, A., Bondioli, L., Rosas, A., Fortea, J., de la Rasilla, M., García-Taberner, A., Radović, J., Skinner, M.M., Toussaint, M., Hublin, J.-J., 2008. Dental tissue proportions and enamel thickness in Neandertal and modern human molars. *J. Hum. Evol.* 55, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2007.11.004>
- Oxilia, G., Peresani, M., Romandini, M., Matteucci, C., Spiteri, C.D., Henry, A.G., Schulz, D., Archer, W., Crezzini, J., Boschin, F., Boscato, P., Jaouen, K., Dogandzic, T., Broglio, A., Moggi-Cecchi, J., Fiorenza, L., Hublin, J.J., Kullmer, O., Benazzi, S., 2015. Earliest evidence of dental caries manipulation in the Late Upper Palaeolithic. *Sci. Rep.* 5, 12150. <https://doi.org/10.1038/srep12150>
- Pechevnikina, E., Benfer, R., 2002. The role of occlusal stress and gingival infection in the formation of exostoses on mandible and maxilla from Neolithic China. *Homo* 53, 112–119.
- Pechevnikina, E., Benfer, R., Zhijun, W., 2002. Diet and health changes at the end of the Chinese Neolithic: the Yangshao/Longshan transition in Shaanxi Province. *Am. J. Phys. Anthropol.* 117, 15–36.
- Prado-Simón, L., Martín-Torres, M., Baca, P., Olejniczak, A.J., Gómez-Robles, A., Lapresa, M., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., 2012. Three-dimensional evaluation of root canal morphology in lower second premolars of early and middle pleistocene human populations from atapuerca (Burgos, Spain). *Am. J. Phys. Anthropol.* 147, 452–461. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22015>
- Radlanski, R.J., Weinhold, J., Jerichow, S., Mehner, M., Schwandt, H., Keilig, L., Bouraoui, C., 2021. A method to calibrate fetal μ CT scans using histological sections from the same specimens. *Ann. Anat.* 237, 151725. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2021.151725>
- Reid, D.J., Dean, M.C., 2006. Variation in modern human enamel formation times. *J. Hum. Evol.* 50, 329–346.
- Refoua, Y., Arshad, M., 2006. An unusual case of bilateral Maxillary and Mandibular supernumerary teeth. *J. Dent.* 3, 140–142.
- Roberts-Harry, E.A., Clerehugh, V., 2000. Subgingival calculus: where are we now? A comparative review. *J. Dent.* 2, 93–102.
- Rhodes, J.S., Ford, Pitt, Lynch, T.R., Liepins, J.A., Curtis, R.V., P.J., 1999. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int. Endod. J.* 32, 165–170.
- Savafuji, R., Saso, A., Suda, W., Hattori, M., Ueda, S., 2020. Ancient DNA analysis of food remains in human dental calculus from the Edo period, Japan. *PLoS One* 15, e0226654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226654>
- Scarfe, W., Farman, A., 2008. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent. Clin. North Am.* 52, 707–730.
- Scott, R.G., Turner, C.G.I.I., 1988. *Dental anthropology*. *Annu. Rev. Anthropol.* 17, 99–126.
- Skinner, M.M., Evans, A., Smith, T., Jernvall, J., Tafforeau, P., Kupczik, K., Olejniczak, A.J., Rosas, A., Radović, J., Thackeray, J.F., Toussaint, M., Hublin, J.-J., 2010. Brief communication: Contributions of enamel-dentine junction shape and enamel deposition to primate molar crown complexity. *Am. J. Phys. Anthropol.* 142, 157–163. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21248>
- Smilg, J.S., 2017. Finding fossils in Malapa breccia – medical CT scanning or micro-CT scanning? *S. Afr. J. Sci.* 113 (11/12). <https://doi.org/10.17159/sajs.2017/20170057> (2017-0057).
- Smith, T., Olejniczak, A., 2012. Variation in enamel thickness within the genus *Homo*. *J. Hum. Evol.* 62, 395–411. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.12.004>

- Soto, M., Inwood, J., Clarke, S., Crowther, A., Covelli, D., Favreau, J., Itambu, M., Larter, S., Lee, P., Lozano, M., Maley, J., Mwambwiga, A., Patalano, R., Sammynaiken, R., Vergès, J.M., Zhu, J., Mercader, J., 2019. Structural characterization and decontamination of dental calculus for ancient starch research. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11, 4847–4872. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00830-7>
- Tomaszewska, I.M., Leszczynski, B., Wróbel, A., Gladysz, T., Duncan, H.F., 2018. A micro-computed tomographic (micro-CT) analysis of the root canal morphology of maxillary third molar teeth. *Ann. Anat.* 215, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2017.09.003>
- Tomczyk, J., Myszka, A., Regulski, P., Olczak-Kowalczyk, D., 2020. Case of pulp stones and dental wear in a Mesolithic (5900 ± 100 BC) individual from Woźna Wies (Poland). *Int. J. Osteoarchaeol.* 30, 375–381.
- Trancho, G.J., Robledo, B., 2002. Datos culturales y nutricionales aportados por los dientes. In: Perea Sánchez, B., Sánchez Sánchez, J.A., Domínguez González, S. (Eds.), *Antropología y Paleontología Dentarias*. Ed. Mapfre, Madrid, pp. 151–212.
- Trinkaus, E., 2018. An abundance of developmental anomalies and abnormalities in Pleistocene people. *PNAS* 115, 11941–11946. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814989115>
- Tromp, M., Matisoo-Smith, E., Kinaston, R., Bedford, S., Spriggs, M., Buckley, H., 2020. Exploitation and utilization of tropical rainforests indicated in dental calculus of ancient Oceanic Lapita culture colonists. *Nat. Hum. Behav.* 4, 489–495. <https://doi.org/10.1038/s41562-019-0808-y>
- Tyndall, D., Rathore, S., 2009. Emerging applications of cone beam tomography for aiding clinical diagnosis. *Austral. Dent. Prac.* 110–117.
- Vergès, J.M., Allué, E., Angelucci, D., Cebrià, A., Díez, C., Fontanals, M., Manyós, T., Montero, S., Moral, S., Vaquero, M., Zaragoza, J., 2002. La Sierra de Atapuerca durante el Holoceno: datos preliminares sobre las ocupaciones de la Edad del Bronce en la Cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos). *Trab. Prehist.* 59, 107–126.
- Vergès, J.M., Morales, J.I., 2014. The gigapixel image concept for graphic SEM documentation. Applications in archaeological use-wear studies. *Micron* 65, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2014.04.009>
- Vergès, J.M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J.I., Martín, P., Carrancho, Á., Expósito, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., Oms, X., Euba, I., Rodríguez, A., 2016. El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): a whole perspective. *Quat. Int.* 414, 236–243.
- Vilotte, S., Ogden, A.R., Trinkaus, E., 2018. Dental abnormalities and oral pathology of the Pataud 1 upper paleolithic human. *BMSAP* 30, 153–161. <https://doi.org/10.3166/bmsap-2018-0020>
- Willman, J.C., Lozano, M., Hernando, R., Vergès, J.M., 2020. Gigapixel-like imaging strategies for dental anthropology: applications for scientific communication and training in digital image analysis. *Quat. Int.* 569–570, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.027>
- Yustos, M., Lozano, M., Morales, J.I., Iglesias-Bexiga, J., Vergès, J.M., 2020. Degenerative joint disease in the Chalcolithic population of El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain): the vertebral column. *Int. J. Osteoarchaeol.* <https://doi.org/10.1002/oa.2936>

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria



OPEN

Integrating buccal and occlusal dental microwear with isotope analyses for a complete paleodietary reconstruction of Holocene populations from Hungary

Raquel Hernando^{1,2,19}✉, Beatriz Gamarra^{1,2,3,19}✉, Ashley McCall³, Olivia Cheronet^{3,4}, Daniel Fernandes^{3,4,5}, Kendra Sirak^{3,6,7}, Ryan Schmidt^{3,8}, Marina Lozano^{1,2}, Tamás Szeniczey^{9,10}, Tamás Hajdu^{9,10}, Annamária Bárány¹¹, András Kalli¹², Eszter K. Tutkovics¹³, Kitti Köhler¹⁴, Krisztián Kiss^{9,10}, Judit Koós¹⁵, Piroska Csengeri¹⁵, Ágnes Király¹⁴, Antónia Horváth¹⁵, Melinda L. Hajdu¹⁵, Krisztián Tóth¹⁶, Róbert Patay¹⁷, Robin N. M. Feeney¹⁸ & Ron Pinhasi⁴

Dietary reconstruction is used to make inferences about the subsistence strategies of ancient human populations, but it may also serve as a proxy to characterise their diverse cultural and technological manifestations. Dental microwear and stable isotope analyses have been shown to be successful techniques for paleodietary reconstruction of ancient populations but, despite yielding complementary dietary information, these techniques have rarely been combined within the same study. Here we present for the first time a comprehensive approach to interpreting ancient lifeways through the results of buccal and occlusal microwear, and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotope analyses applied to the same individuals of prehistoric populations of Hungary from the Middle Neolithic to the Late Bronze Age periods. This study aimed to (a) assess if the combination of techniques yields a more precise assessment of past dietary and subsistence practices, and (b) contribute to our understanding of the dietary patterns of the prehistoric Hungarian populations. Overall, no correlations between microwear and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotope variables were observed, except for a relationship between

¹Departament d'Història i Història de l'Art, Universitat Rovira i Virgili, Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain. ²Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain. ³School of Archaeology and Earth Institute, University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland. ⁴Department of Evolutionary Anthropology, University of Vienna, AltranraBe 14, Vienna, Austria. ⁵CIAS, Department of Life Sciences, University of Coimbra, 3000-456 Coimbra, Portugal. ⁶Department of Genetics, Harvard Medical School, Boston, MA 02115, USA. ⁷Department of Human Evolutionary Biology, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA. ⁸CIBIO-InBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, Universidade do Porto, Rua Padre Armando Quintas 7, 4485-661 Vairao, Porto, Portugal. ⁹Department of Biological Anthropology, Eötvös Loránd University, Pázmány Péter sétány 1/c, Budapest 1117, Hungary. ¹⁰Department of Anthropology, Hungarian Natural History Museum, Ludovika tér 2, Budapest 1083, Hungary. ¹¹Department of Archaeology, Hungarian National Museum, Múzeum krt. 14-16, Budapest 1088, Hungary. ¹²Várkapitányság Integrált Területfejlesztési Központ Nonprofit Zrt., Daróczi Út 3., Budapest 1113, Hungary. ¹³Rétközi Museum, Csillag u. 5., Kisvárdá 4600, Hungary. ¹⁴Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities, Loránd Eötvös Research Network, Tóth Kálmán utca 4, Budapest 1097, Hungary. ¹⁵Herman Ottó Museum, Görgey Artúr u. 28, Miskolc 3529, Hungary. ¹⁶Dornyay Béla Museum, Múzeum tér 2., Salgótarján 3100, Hungary. ¹⁷Department of Archaeology, Ferenczy Museum Center, Fő tér 2-5, Szentendre 2000, Hungary. ¹⁸School of Medicine, University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland. ¹⁹These authors contributed equally: Raquel Hernando and Beatriz Gamarra. ✉email: r.hernando90@gmail.com; beagamarra@gmail.com

nitrogen and the vertical and horizontal index. However, we found that diachronic differences are influenced by the variation within the period. Particularly, we found differences in microwear and isotope variables between Middle Neolithic sites, indicating that there were different dietary practices among those populations. Additionally, microwear results suggest no changes in the abrasiveness of the diet, neither food processing methods, despite higher C_4 plant resource consumption shown by carbon isotopic signal. Thus, we demonstrate that the integration of dental microwear and carbon and nitrogen stable isotope methodologies can provide complementary information for making inferences about paleodietary habits.

The transitions between the Neolithic, Copper, and Bronze Ages constitute key periods of important social changes in the configuration of European societies that included the creation of hierarchies and the establishment of agriculture^{1–3}. The adoption of an agriculture and/or a pastoral lifestyle is one of the most important events in human history, resulting in significant biological, environmental, cultural and health changes^{3–6}. By reconstructing the diet of these transitional populations, we can better understand the changes these societies experienced at different levels, including subsistence strategies, landscape use, health, and/or social stratification^{7–12}.

In the case of the Great Hungarian Plain (GHP), a series of changes in settlement patterns and subsistence strategies occurred from the Neolithic through the Copper Age and into the Bronze Age^{13,14} (Table 1). During the transition from the Neolithic to the Copper Age, people dispersed from large settlements to smaller nuclear villages^{13,15}. There was an increased focus on animal husbandry and less reliance on agricultural products, which included an increase in the use of secondary products such as milk and wool¹⁶. This shift was also accompanied by a diversification of material culture^{17,18}. Afterwards, over the course of the Bronze Age, the intensification of agriculture and building of extensive trade networks took place due to the arrival of bronze metallurgy from the northern Pontic and Balkan Peninsulas^{19,20}. In addition, there was an increase in millet cultivation in the Middle and Late Bronze Age^{21,22}. During the last phase of the Bronze Age, great economic changes occurred, associated with cultural connections to Central Europe^{23–25}.

Dietary patterns and subsistence practices of prehistoric populations have long been inferred from cultural and archaeological remains^{33–35}, but these studies are now most often being complemented by a variety of bio-archaeological and molecular approaches^{7,8,36–41}. Dental microwear and stable isotope analyses have been largely used to infer dietary practices in Holocene populations^{36,37,42–47}. Dental microwear studies on buccal and occlusal surfaces of teeth provide insight into the physical properties of the food ingested by humans and other animals by yielding information about the abrasiveness of the food coupled with how these foods were processed prior to consumption^{48–53}. During chewing, pits of different sizes and striations of different lengths and orientations are formed across enamel surfaces caused by particles harder than enamel, such as plant phytoliths, grit, or quartz dust^{43,50,54–57}. As such, distinct dietary habits and food processing methods result in different microwear patterns, allowing for the distinction, for example, between individuals who ingested foodstuffs obtained through different subsistence practices, such as foraging and agriculture, or between farming and pastoralism^{36,37,58,59}.

Carbon and nitrogen stable isotope analyses, in turn, are based on the principle that the biochemical composition of the food consumed by animals and humans is preserved in their body tissues^{60–62}. The isotopic signature in archaeological human tissues differs from resources consumed and consumers in a predictable isotopic fractionation, with a generally accepted stepwise increase of 0–2‰ for carbon⁶³ and 3–5‰ for nitrogen isotopic signatures^{64–66}. Carbon ($\delta^{13}C$) and nitrogen ($\delta^{15}N$) isotope ratios measured from bone collagen of archaeological samples are indicative of the protein consumed by the individual about 10–15 years prior to death⁶⁷. In brief, $\delta^{13}C$ is primarily used to identify the consumption of plants that use different metabolic pathways for fixing carbon during photosynthesis and the animals raised on them. These $\delta^{13}C$ differences can then be used to identify the consumption of C_3 versus C_4 terrestrial resources in past diets^{68–70}. Values of carbon ratios may also inform about the consumption of marine foods^{71–74} and freshwater resources^{75–77}.

In addition to carbon isotope signals, values of $\delta^{15}N$ in bone collagen are primarily used to analyse the relative presence of plant versus animal protein in the diet^{63,78}. It is based on the observed increase of $\delta^{15}N$ in tissues with the increase of trophic level^{63,79}. Nitrogen isotope signals are also used to distinguish between the consumption of terrestrial foods and marine and freshwater resources^{64,75}. Other environmental factors can also influence $\delta^{15}N$ in tissues, such as the consumption of fertilized crops^{80,81}, the health of the individual⁸², nursing practices⁸³, and/or other environmental factors^{84–86}.

Both approaches offer different insights into dietary reconstruction, and although they are complementary, their combined use for paleodietary reconstruction is rare^{46,87–90}. Still, some research has been done in this line^{46,89,90}, showing interesting results of the combination of buccal dental microwear and stable isotopes and enhancing the importance of integrating both methods. Within dental microwear, analyses combining buccal and occlusal surfaces are also becoming more popular^{91,92} due to differences in indentation enamel processes, which can provide dietary information over both short and long time scales^{48,54,55,93–96}. The central aim of this study is to assess whether the combined use of dental microwear and isotope data provide a better understanding of the dietary patterns and the types of food consumed by past Hungarian populations. Remarkably, this study takes a step further, not only by including information from the occlusal surface too, but also and unlike previous studies^{88,89}, by employing the same individuals for all the data obtained. The integration of the data obtained from these three proxies contributes for a dietary approximation with a more fine-grained approach.

Here, we contribute to a better understanding of the dietary practices of people in the GHP from the Middle Neolithic to the Late Bronze Age by studying their diets at different levels: (a) at the individual level, by comparing both techniques in the same individual; (b) at the diachronic level, by observing potential differences between chronologies; and (c) at the regional level, by comparing contemporaneous sites.

Time period	Time range (BC)	Subsistence strategies
Middle Neolithic	5500–5000	Grain cultivation (wheat, barley, einkorn) and animal husbandry (major reliance on cattle)
Late Neolithic	5000–4500	Grain cultivation (wheat, barley, einkorn); animal husbandry with emphasis on domesticated cattle
Early Copper Age	4500–4000	Focus on animal husbandry (mainly cattle)
Middle Copper Age	4000–3500	Focus on animal husbandry (mainly cattle)
Late Copper Age	3500–2800	Focus on animal husbandry (mainly cattle)
Transitional Period ^a	2800–2600	Horse domestication (?), nomadic (mobile) way of life and livestock (cattle and sheep ?) husbandry
Early Bronze Age	2600/2550–2000/1900	Intensive crop cultivation and animal husbandry
Middle Bronze Age	2000/1900–1450/1400	Intensive crop cultivation and animal husbandry; millet consumption
Late Bronze Age	1450/1400–800	Intensive crop cultivation; millet as stable crop

Table 1. Summary of the prehistoric time periods and their and subsistence practices in the Great Hungarian Plain. ^aTransition to the Bronze Age after the constant East European (Yamnaya) impact between 3100/3000 and 2800 BC (Refs.^{26–32}).

Materials

Archaeological human skeletal samples of both sexes from a wide range of ages at death, spanning from the Middle Neolithic to the Late Bronze Age, along with faunal material, were sampled from 17 sites across the GHP (Fig. 1; see details in “Supplementary Information Archaeological sites descriptions” and Supplementary Table S9). Postcranial elements, petrous bones, and dental remains were collected for each individual, when possible, from the osteological collection of the Herman Ottó Museum (Miskolc, Hungary). Sex and age-at-death were estimated based on established bioanthropological methods (described in “Supplementary Information Methods”). Individuals were also assigned sex using ancient DNA (aDNA) methods. In the case of divergence, aDNA sex results were favoured. For those individuals whose sex could not be identified using aDNA, osteological information was used (see more details in “Supplementary Information Methods”).

As in other dental microwear studies^{92,97,98}, there was a great amount of teeth in which dental microwear could not be observed for different reasons (e.g. enamel preservation). This fact made that small sample size be a typical unavoidable reality. From a total number of 65 individuals, buccal and occlusal well preserved microwear were obtained in 49 human posterior teeth from different individuals of both sexes and various ages. Teeth present different post-depositional modification, from no detectable to severe modification. Although, experimental studies have shown that *post-mortem* damage could be discerned from *ante-mortem* microwear^{99,100}, teeth with severe evidence of *post-mortem* damage were excluded from the analysis. In the case of occlusal surface, enamel wear related with abrasive diets or the effect of age, affect directly to this surface and obscure dental microwear as wear progresses⁹³. Lower molars were preferred as sample size was higher. Nevertheless, when dental microwear was not possible to be observed in the lower molars, upper molars from the same individual were chosen instead. Carbon and nitrogen stable isotope analysis was carried out on collagen from bone samples of 89 human individuals from both sexes and various ages, along with 29 faunal bone samples (Table 2).

Results

We obtained buccal data from 38 molars (from a total number of 65 molars) from different adult individuals, while 34 molars from different adult individuals were obtained from occlusal microwear (Table 2 and Supplementary Tables S1 and S2). Bone collagen was successfully obtained for all human samples, and for 27 of 29 faunal samples analysed. Three human samples did not meet the acceptable atomic C:N quality range of 2.9–3.6¹⁰¹ and their isotopic data were excluded from further analyses (Table 2 and Supplementary Tables S9 and S10).

Comparison of dental microwear and stable isotope analyses. Within individuals, results from buccal and occlusal microwear analysis were compared to stable isotope data. Spearman correlation results indicated that the majority of microwear variables and stable isotope ratios were not statistically correlated (Table 3, Supplementary Figs. S1 and S2). An exception was $\delta^{15}\text{N}$, which was correlated with the vertical (NV/BTN) and horizontal index (NH/BTN) in buccal microwear.

Dental microwear analysis. Descriptive statistics for the buccal surface variables are summarized in Table 4 and detailed in Supplementary Table S1. Total sample consist on 65 individuals from various ages. From this sample, dental microwear was observed on 45 individuals (38 adults and 7 infants). When comparing samples between periods (N = 38), there were differences between the number of striations (BTN; Kruskal–Wallis: $X^2 = 13.81$, $p = 0.007$) and their length (XT; Kruskal–Wallis: $X^2 = 14.82$, $p = 0.005$) (Fig. 2, Supplementary Table S3).

When comparing buccal microwear across sites within each period, only Middle Neolithic samples (N = 14) could be analysed, as only those sites with $n \geq 3$ (Bükkábrány-Bánya VII, Bükkábrány-Bánya XI/A and Bükkábrány-Bánya XII/B in Fig. 1B) were included for statistical analyses (see “Methods”). Samples from the Bükkábrány-Bánya VII site had significantly more striations than those from Bükkábrány-Bánya XI/A, (BTN; Kruskal–Wallis: $X^2 = 6.44$, $p = 0.039$). We also found differences in the horizontal (NH/BTN; Kruskal–Wallis:

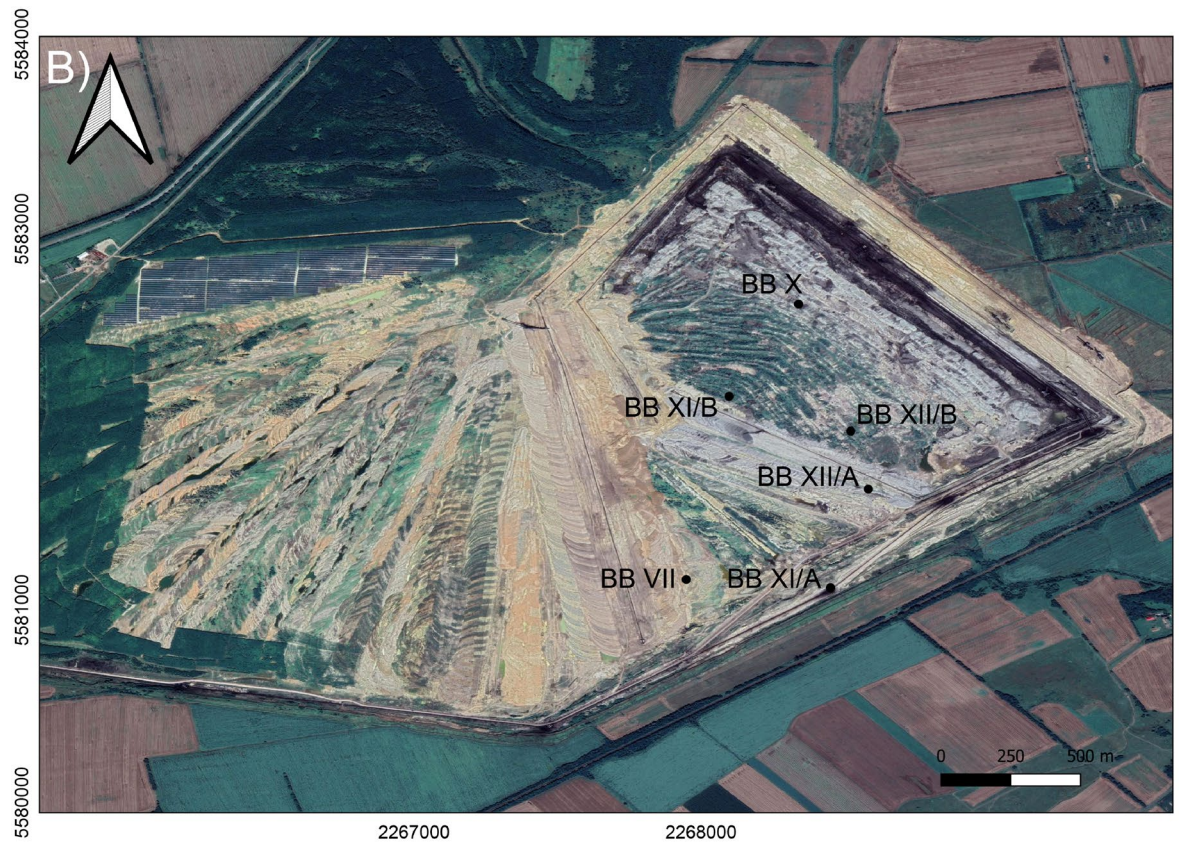
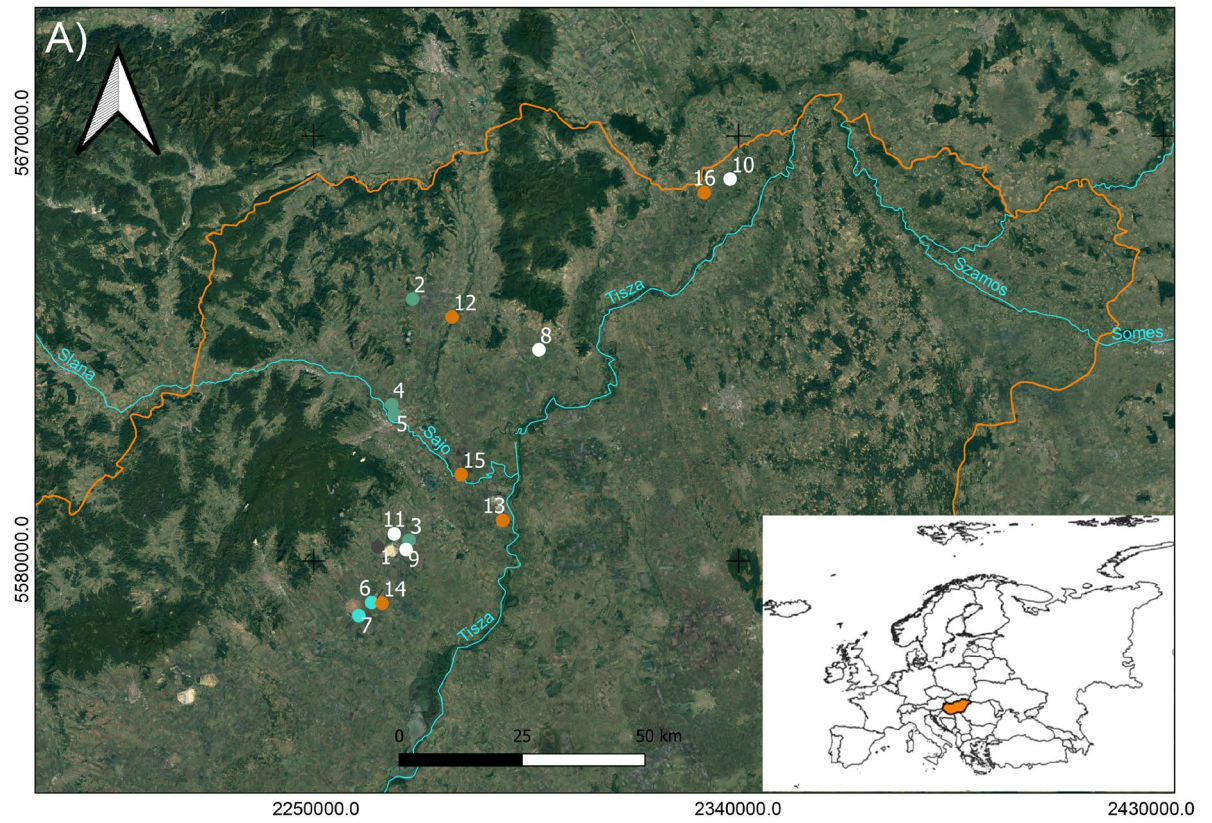


Figure 1. Hungarian map showing the location of sites analysed in the study. QGIS free software (version 3.10), (<https://www.qgis.org/es/site/>) was used to create this map, with the coordinate system ETR89/UTM Zone 30 N. (A) Scale 1:1.200,000; archaeological sites represented: Middle Neolithic (1. Bükkábrány-Bánya; 2. Rásonysápberencs-Szőlő alja; 3. Csincse-Gomba Barna földje (M3- site 14–16); 4. Arnót-Nagy-bugyik; 5. Arnót-Arnóti-oldal Dél); Middle Copper Age (6. Mezőkövesd-Klementina (Szentistván-Reptér); 7. Mezőkövesd-Patakra járó dűlő); Middle Bronze Age (8. Mezőzombor-Községi temető; 9. Mezőkeresztes-Csincsetanya; 10. Nagyrozvály-Papdomb; 11. Vatta-Dobogó); Late Bronze Age (12. Felsődobsza-site 2; 13. Oszlár-Nyárfaszög (M3-site 32); 14. Mezőkeresztes-Cet halom (M3-site 10); 15. Köröm-Kápolna-domb; 16. Pácín-Alsókenderszer). (B) Scale 1:10,000; Bükkábrány-Bánya lignite mine area with archaeological sites (BB) represented.

$X^2 = 6.65$, $p = 0.036$) and vertical indexes (NV/BTN; Kruskal–Wallis: $X^2 = 6.75$, $p = 0.034$) between the Bükkábrány-Bánya XI/A and Bükkábrány-Bánya XII/B sites (Fig. 3, Supplementary Table S4).

Differences in buccal microwear between females and males were not significant in any of the comparisons (Supplementary Table S5, Supplementary Figs. S3 and S4). Nevertheless, although non-significant, we found trends in the length of striations (XT) and the horizontal index (NH/BTN) during the Middle Copper Age (Supplementary Fig. S4).

The descriptive data for occlusal surfaces is available in Supplementary Table S2. As in buccal surface, 65 teeth were also analyzed. However, just in 34 adult individuals dental microwear could be observed. In contrast to buccal microwear, we found no significant differences in occlusal dental microwear by period, site, or sex (Supplementary Tables S6–S8, Supplementary Figs. S5–S8).

Stable isotopes analysis. The carbon and nitrogen stable isotope results of faunal and human samples are summarised in Tables 5 and 6 and are detailed in Supplementary Tables S9 and S10.

The local terrestrial fauna analysed ($N = 26$; Fig. S9) had a range of $\delta^{13}\text{C}$ of -22.6 to -17.9‰ [mean = $-20.5\text{‰} \pm 1.0\text{‰}$ (1σ)], and a range of $\delta^{15}\text{N}$ of 5.5 – 11.0‰ (mean = $7.9\text{‰} \pm 1.4\text{‰}$ (1σ)), similar to those previously reported in the area^{21,102,103}. Significant $\delta^{15}\text{N}$ values are found among domesticates (Kruskal–Wallis: $X^2 = 6.21$, $p = 0.044$), and particularly pigs show higher enriched $\delta^{15}\text{N}$ values than sheep/goats (Mann–Whitney: $W = 32.50$, $p = 0.024$). High $\delta^{15}\text{N}$ values are also seen in the GHP site of Polgár-Ferenci-hát¹⁰⁴, suggesting they might eat a fair amount of meat and most likely being fed human food scraps.

The range of $\delta^{13}\text{C}$ values for the human sample, including adults and infants ($N = 89$; Fig. 4), was -21.2 to -14.8‰ [mean = $-19.8\text{‰} \pm 1.1\text{‰}$ (1σ)], and the range of $\delta^{15}\text{N}$ was 6.9 – 13.2‰ [mean = $10.8\text{‰} \pm 0.9\text{‰}$ (1σ)]. The human sample HUNG896 had an unusually low $\delta^{15}\text{N}$ value (Supplementary Table S10), which indicates low consumption of animal protein and/or exclusively plant protein source¹⁰⁵, or reflects a positive nitrogen physiological balance (more protein is used for tissue formation and less nitrogen is excreted), as seen in different physiological conditions (e.g. pregnancy, liver disease or growth spurts) in soft tissues (i.e. hair)⁸². Although it still remains uncertain the detection of physiological stress in archaeological skeletal remains⁸², presumably this individual might have suffered some kind of physiological stress occurred during a long term (as it is reflected in bone collagen), or at least episodes of nutritionally deficient diets during early years as suggested by the presence of linear enamel hypoplasia in the anterior teeth^{106,107}. That is why we decided to remove this individual from statistical analyses. Some infant individuals showed high $\delta^{15}\text{N}$ values (HUNG892 and HUNG967), most probably due to breastfeeding effect^{83,108}. Therefore, Infants I (1–6 years¹⁰⁹) were also excluded from statistical analyses (see “Methods”).

Ideally, humans’ isotope ratios should be compared relative with other fauna from the same site and specific period of time. However, the faunal sample size available was relatively small to be compared separately for each time period. We decided to group all faunal samples since apparently they do not differ between periods (Supplementary Fig. S9) and the isotopic range found for each of the species are similar to those found in other GHP sites from different periods (Table 5)^{103,104}. With the data employed here, most of the human’s samples potentially fall within the assumed isotopic offset range estimated from the domesticated species used here (ovicaprids, cattle, and pigs). When comparing human samples between different periods ($N = 74$), significant differences appeared between the isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ Kruskal–Wallis: $X^2 = 23.54$, $p < 0.000$; $\delta^{15}\text{N}$ Kruskal–Wallis: $X^2 = 13.37$, $p = 0.009$). Individuals from the Middle Neolithic to the Late Copper Age had similar $\delta^{13}\text{C}$ values consistent with a diet based on terrestrial C_3 resources (Fig. 5). In contrast, individuals from the Late Bronze Age had significantly higher $\delta^{13}\text{C}$ values ($p < 0.05$) (Supplementary Table S11) than those in preceding periods, in accordance with previous studies^{21,22}. Nitrogen isotope ratios presented a wide range of values, suggesting a varying amount of animal protein intake (Fig. 5). Late Copper Age $\delta^{15}\text{N}$ values were significantly higher compared to the rest of the time periods, and the Middle Copper Age samples presented significantly lower $\delta^{15}\text{N}$ values than their Middle Neolithic predecessors (Supplementary Table S12).

When comparing isotope ratios by site for each period, only those sites with $n \geq 3$ were included for statistical analyses. Late Neolithic, Late Copper Age and Late Bronze Age periods were not used in this analysis as they were represented by either a single individual per site or one site per period (Table 6). We found significant statistical differences in $\delta^{15}\text{N}$ values between Middle Neolithic sites (Bükkábrány-Bánya VII, Bükkábrány-Bánya XI/A and Bükkábrány-Bánya XII/B in Fig. 1B); Kruskal–Wallis: $X^2 = 8.40$, $p = 0.014$), but no differences in $\delta^{13}\text{C}$ values (Kruskal–Wallis: $X^2 = 4.06$, $p = 0.125$). Differences were significant between Bükkábrány-Bánya XII/B and the other sites (Fig. 5, Supplementary Table S13). However, we found no significant statistical differences among Middle Copper Age sites (Bükkábrány-Bánya XI/B and 7-Mezőkövesd-Patakra járó dűlő in Fig. 1A; $\delta^{13}\text{C}$ Mann–Whitney: $W = 17.50$, $p = 0.599$; $\delta^{15}\text{N}$ Mann–Whitney: $W = 26.50$, $p = 0.596$) (Supplementary Fig. S10). Middle Bronze Age sites (8-Mezőzombor-Községi temető and 11-Vatta-Dobogó in Fig. 1A) only presented significant

ID	Grave number	Site	Period	Culture	Age (years)	Age range category	DNA sex	Osteo Sex	Isotope analyses	Microwear analyses
HUNG870	S308	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	30–34	Adult	Failed	?	S,P	
HUNG871	S249	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	7–8	Infant II	–	–		√
HUNG872	S241	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	15–20	Juvenile	M	?	√	√
HUNG873	250	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	15–25	Juvenile-Adult	Failed	?	S,P	√
HUNG874	S478	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	8–9	Infant II	M	–	√	
HUNG876	S287	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	15–20	Juvenile-Adult	–	–	S,P	
HUNG877	S254	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	20–30	Adult	Failed	?	S,P	√
HUNG878	S248	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	20–40	Adult	Failed	?	S,P	√
HUNG879	S480	Bükkábrány-Bánya VII	MN	ALBK 1st phase	3–5	Infant I	Failed	–		
HUNG880	S25	Bükkábrány-Bánya X	MN	ALBK	Adult	Adult	Failed	?	P	√
HUNG882	S11	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	1–6	Infant I	U	–		
HUNG883	S318	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	30–50	Adult-Mature	Failed	M	√	
HUNG884	S101	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	30–40	Adult	M	?	√	√
HUNG885	S379	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	35–45	Adult-Mature	F	?	√	√
HUNG887	S414	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	35–45	Adult	M	F	√	
HUNG888	S52	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	11–13	Infant II	Failed	–	S,P	√
HUNG889	S435	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	20–30	Adult	M	?	√	√
HUNG890	S102	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	8–9	Infant II	F	–	√	OM
HUNG891	S311	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	1–6	Infant I	F	–		
HUNG892	S413	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	1–3	Infant I	F	–		
HUNG893	S217	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	11–12	Infant II	M	–	√	√
HUNG894	S273	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	25–30	Adult	F	F	√	√
HUNG895	S272	Bükkábrány-Bánya XI/A	MN	ALBK 1st phase	Adult	Adult	M	?	√	√
HUNG913	S1171	Bükkábrány-Bánya XII/A	MN	ALBK	9–12	Infant II	Failed	–	P	√
HUNG920	S308	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	U	?	S,P	√
HUNG921	S164	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	M	?	√	
HUNG922	S273	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	Failed	?	S,P	BM
HUNG923	S277	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	20–30	Adult	–	?	S,P	
HUNG924	S300	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	Failed	F	√	√
HUNG926	S320	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	–	M	√	
HUNG927	S299	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	Failed	?		
HUNG928	S33	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	1–6	Infant I	F	–		
HUNG929	S306	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	Failed	?	S,P	
HUNG930	S276	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	Adult	Adult	Failed	?	S,P	

Continued

ID	Grave number	Site	Period	Culture	Age (years)	Age range category	DNA sex	Osteo Sex	Isotope analyses	Microwear analyses
HUNG931	S112	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	1–6	Infant I	F	–		
HUNG932	S278	Bükkábrány-Bánya XII/B	MN	ALBK	12–15	Infant II–Juvenile	Failed	–	S,P	OM
HUNG941	S237	Rásonysápberencs-Szőlő alja	MN	Tiszadob-Bükk	Adult	Adult	M	?	√	
HUNG942	S379	Rásonysápberencs-Szőlő alja	MN	Tiszadob-Bükk	Adult	Adult	F	?	√	
HUNG943	S215	Rásonysápberencs-Szőlő alja	MN	Tiszadob-Bükk	9–12	Infant II	F	–	√	
HUNG948	4	Csincse-Gomba Barna földje (M3–site14-16)	MN	ALBK Late phase/Early Tiszadob	Adult	Adult	Failed	F		
HUNG953	S18	Arnót-Nagy-bugyik	MN	ALBK	20–35	Adult	Failed	?	P	
HUNG955	S20	Arnót-Nagy-bugyik	MN	ALBK	2–5	Infant I	M	–		
HUNG956	S127	Arnót-Arnóti-oldal Dél	MN	ALBK	30–50	Adult-Mature	F	?	P,G	
HUNG896	S725	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	–	?		√
HUNG897	S1168	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	M	M	√	√
HUNG898	S475	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	F	?	√	√
HUNG899	S361	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	20–40	Adult	F	?	√	√
HUNG900	S359	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	Failed	?	S,P	
HUNG901	S484	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	Failed	?	S,P	BM
HUNG902	S373	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	U	?	S,P	
HUNG903	S371-1.11	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	17–25	Juvenile–Adult	Failed	F	√	√
HUNG904	S371-3.11	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	45–49	Mature	M	?	√	√
HUNG908	S349	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	Failed	?	S,P	√
HUNG909	S360	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	Failed	?	S,P	√
HUNG910	S288	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	Failed	?	S,P	√
HUNG911	S289	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	5–7	Infant I–Infant II	Failed	–		√
HUNG912	S472	Bükkábrány-Bánya XI/B	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	–	?		√
HUNG939	1	Mezőkövesd-Klementina (Szentistván-Reptér)	MCA	Bodrogkeresztúr	12–18	Infant II–Juvenile	F	–	P,G	
HUNG940	3	Mezőkövesd-Klementina (Szentistván-Reptér)	MCA	Bodrogkeresztúr	Adult	Adult	M	?	P,G	
HUNG961	4/A	Mezőkövesd-Patakra járó dűlő	MCA	Bodrogkeresztúr	17–21	Juvenile–Adult	M	M	√	
HUNG962	4/A_1st child	Mezőkövesd-Patakra járó dűlő	MCA	Bodrogkeresztúr	5–6	Infant I	M	–		
HUNG963	4/A_2nd child	Mezőkövesd-Patakra járó dűlő	MCA	Bodrogkeresztúr	1–6	Infant I	M	–		
HUNG964	4	Mezőkövesd-Patakra járó dűlő	MCA	Bodrogkeresztúr	10–12	Infant II	Failed	–	S,P	
HUNG965	17	Mezőkövesd-Patakra járó dűlő	MCA	Bodrogkeresztúr	40–60	Mature	Failed	M	√	
HUNG966	sir 5	Mezőkövesd-Patakra járó dűlő	MCA	Bodrogkeresztúr	30–60	Adult–Mature	Failed	F	√	
HUNG914	S1000	Bükkábrány-Bánya XII/A	LCA	Baden	9–12	Infant II	–	–		√
HUNG915	S2044	Bükkábrány-Bánya XII/A	LCA	Baden	15–20	Juvenile–Adult	F	F	P,G	√

Continued

ID	Grave number	Site	Period	Culture	Age (years)	Age range category	DNA sex	Osteo Sex	Isotope analyses	Microwear analyses
HUNG917	S1001	Bükkábrány-Bánya XII/A	LCA	Baden	4–7	Infant I – Infant II	M	–		OM
HUNG918	S65	Bükkábrány-Bánya XII/B	LCA	Baden	39–50	Adult–Mature	F	M	P,G	
HUNG919	S67	Bükkábrány-Bánya XII/B	LCA	Baden	35–45	Adult–Mature	F	M	P,G	√
HUNG127	4/2000	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	20–39	Adult	F	F	√	OM
HUNG128	3/2000	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	10–13	Infant II	M	–	√	
HUNG129	2/2000	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	35–44	Adult–Mature	–	M	√	
HUNG130	16/2000	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	20–39	Adult	F	F	√	BM
HUNG131	41/2001	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	34–42	Adult–Mature	–	M	√	
HUNG132	6/2000	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	5–7	Infant I–Infant II	F	–		√
HUNG133	31/2001	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	20–39	Adult	–	M	√	
HUNG134	10/2001	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	5–10	Infant I–Infant II	M	–		√
HUNG135	56/2001	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	35–50	Adult–Mature	–	M	√	
HUNG136	57/2001	Mezőzombor-Községi temető	MBA	Füzesabony	33–46	Adult–Mature	F	F	√	
HUNG147	1	Mezőkeresztes-Csincse-tanya	MBA	Füzesabony	12–14	Infant II	–	–	P	√
HUNG163	S296	Nagyrozsávgy-Papdomb	MBA	Füzesabony	35–45	Adult–Mature	–	M	P,G	BM
HUNG933	S109	Vatta-Dobogó	MBA	Füzesabony	8–13	Infant II	F	–	√	√
HUNG934	S257/II	Vatta-Dobogó	MBA	Füzesabony	20–39	Adult	–	?	S,P	BM
HUNG935	S169	Vatta-Dobogó	MBA	Füzesabony	Adult	Adult	F	?	√	
HUNG936	S279	Vatta-Dobogó	MBA	Füzesabony	40–59	Mature	U	M	√	
HUNG937	S257/I	Vatta-Dobogó	MBA	Füzesabony	20–30	Adult	U	?		√
HUNG938	S166	Vatta-Dobogó	MBA	Füzesabony	20–39	Adult	F	?	√	
HUNG137	S62	Felsődobsza-2. lelőhely	LBA	pre-Gáva Period, R BD—Ha A1	34–42	Adult–Mature	M	M	P,G	
HUNG144	1010	Oszlár-Nyárfaszög (M3-32. lelőhely)	LBA	pre-Gáva Period, R BD—Ha A1	20–39	Adult	–	M	P,G	
HUNG177	154. objektum	Mezőkeresztes-Cethalom (M3-10. lelőhely)	LBA	pre-Gáva Period, R BD—Ha A1	6–10	Infant I–Infant II	U	–	P	√
HUNG863	S67	Köröm-Kápolnadomb	LBA	Gáva culture	20–39	Adult	–	F	P,G	BM
HUNG967	S64A	Pácin-Alsókend-erszer	LBA	pre-Gáva Period, R BD—Ha A1	1–6	Infant I	M	–		
HUNG968	S64B	Pácin-Alsókend-erszer	LBA	pre-Gáva Period, R BD—Ha A1	15–39	Juvenile– Adult	M	M	P,G	√
HUNG969	S100	Pácin-Alsókend-erszer	LBA	pre-Gáva Period, R BD—Ha A1	30–60	Adult–Mature	M	M	P,G	

Table 2. List of individuals employed in this study. Details of the site, period, culture and biological (age, sex) information, and the statistical analyses included. Age range category: Infant I (1–6 years), Infant II (7–14 years), Juvenile (15–19 years), Adult (20–39), and Mature (40–59); in bold the age category used for statistical analyses when the sample age (years) range include two age categories^a. Isotope data was included for period (P), site (S), gender (G) and/or all (√) statistical comparisons. Microwear analyses were performed in buccal (BM), occlusal (OM) or both (√) enamel surfaces. Period abbreviations: Middle Neolithic (MN), Late Neolithic (LN), Middle Copper Age (MCA), Late Copper Age (LCA), Middle Bronze Age (MBA), Late Bronze Age (LBA); Sex abbreviations: female (F), male (M), undetermined (U), not possible to assign (?). ^aThe age category selected was chosen according to the higher number of years of the age range estimation belonging to each category. When age cohort is between Adult and Mature category, no choice was made as both categories were included together as adult in the statistical tests.

Microwear variables	Normality test			$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
	N	Shapiro-Wilks	p-value	Rho Spearman	p-value	Rho Spearman	p-value
$\delta^{13}\text{C}$	40	0.746	<0.01	–	–	–	–
$\delta^{15}\text{N}$	40	0.885	<0.01	–	–	–	–
BTN	40	0.972	0.430	0.051	0.752	–0.138	0.392
XT	40	0.927	0.013	0.291	0.068	–0.008	0.959
NV/BTN	40	0.969	0.344	–0.189	0.241	0.347	0.028
NH/BTN	40	0.920	<0.01	0.219	0.174	–0.323	0.041
$\delta^{13}\text{C}$	37	0.649	<0.01	–	–	–	–
$\delta^{15}\text{N}$	37	0.895	<0.01	–	–	–	–
OTN	35	0.951	0.124	–0.094	0.590	–0.153	0.379
Pits	36	0.964	0.290	–0.089	0.602	–0.058	0.736
% Pits	35	0.956	0.198	0.162	0.366	0.099	0.581
Area pits	33	0.905	<0.01	0.086	0.622	0.236	0.170

Table 3. Normality test and Spearman correlations between microwear variables and isotope ratios. *N* total number of samples included, *BTN* number of striations on the buccal surface, *XT* length of striations, *NV/BTN* vertical index, *NH/BTN* horizontal index, *OTN* total number of striations in the occlusal surface, *%Pits* percentage of pits. Significant correlations ($p < 0.05$) in bold.

differences for $\delta^{15}\text{N}$ values ($\delta^{13}\text{C}$ Mann–Whitney: $W = 8.00$, $p < 0.090$; $\delta^{15}\text{N}$ Mann–Whitney: $W = 37.00$, $p = 0.015$). Notably, markedly higher $\delta^{13}\text{C}$ values from the Vatta-Dobogó site indicate a signature indicative of C_4 plant consumption (Supplementary Fig. S11), suggesting a differential intensification of crops during that time period.

Differences between females and males ($N = 49$) were not statistically significant for either $\delta^{13}\text{C}$ or $\delta^{15}\text{N}$ values ($\delta^{13}\text{C}$ Mann–Whitney: $W = 284.5$, $p = 0.808$; $\delta^{15}\text{N}$ Mann–Whitney: $W = 218.5$, $p = 0.116$). These were not statistically different when comparing females and males by period (Supplementary Table S14, Supplementary Fig. S12).

Discussion

In Middle Neolithic to Late Bronze Age populations that lived in the GHP, dental microwear and stable isotope analyses have been shown to provide complementary information rather than correlated variables. Microwear data from both occlusal and buccal surfaces show the abrasiveness of food, which might be related to cultural and technological changes such as food processing or dietary preferences^{42,44,46,53,96,110}. By contrast, isotope data indicate the types of resources consumed by individuals^{63,78}. Each approach describes dietary patterns at different levels. Therefore, they can be combined in paleodietary research to explore dietary preferences in past populations at short (occlusal microwear) and long (buccal microwear and stable isotopes combined) timescales, within individuals and across groups^{46,89,90}.

There were significant positive and negative correlations between $\delta^{15}\text{N}$ and the buccal variables of vertical (NV/BTN) and horizontal (NH/BTN) index, respectively. This means that individuals with high $\delta^{15}\text{N}$ values (presumably with high meat consumption) are characterized as having a relatively more vertical and less horizontal striations. These results are in accordance with studies suggesting meat-eaters usually present high frequencies of vertical striations on the enamel surface due to the movements of the mandible while chewing meat^{49,111}. In contrast, chewing hard foods, such as cereals, requires more horizontal movements^{49,111}, which increases the horizontal index.

Generally, we did not find significant differences between periods, sites or sex in occlusal dental microwear. The lack of differences in the occlusal surfaces might be due to the so-called “last supper effect”, which consists of a fast renewal of occlusal enamel, thus recording the diet of the most recent days or weeks^{48,93,112}. This contrast with a slower turnover of the buccal surface, which stabilizes at maturity^{50,54}, and provides information of the diet over time. Nevertheless, we found interesting trends among the samples on the occlusal surface, which we discuss below.

We observed significant diachronic differences between the Middle Neolithic and the rest of the periods in the buccal microwear analysis, with the exception of Late Copper Age individuals. The low number of striations (BTN) observed from the Middle Neolithic might indicate that foods were highly processed, and thus less abrasive, and/or that a high proportion of consumed foods were soft, such as meat, which left little wear on the enamel surface^{44,49,59,96,110,111}. The high nitrogen isotopic values [mean = $11.0 \pm 0.8\text{‰}$ (1σ)] were similar to those found at other Middle Neolithic sites^{21,104}. Freshwater resources consumption (e.g. fish) can potentially explain high $\delta^{15}\text{N}$ values, due to longer and complex foodwebs^{77,113}, and to its proximity to freshwater resources access for some of the sites. However, although not completely discarded, the consumption of freshwater fish would not necessarily lead to significant nitrogen isotope enrichment. Even if the freshwater fish represented 20% of human’s diet, the isotopic effect is quite small ($+0.7\text{‰}$)⁶⁶. Additionally, freshwater fish consumption would have resulted in a more ^{13}C -depleted values, as documented in other Mesolithic and Early Neolithic individuals from the same geographical area^{21,114}. The carbon isotopic signal from bone collagen of Middle Neolithic sites are indicative of a C_3 terrestrial protein source.

	Groups	N	Buccal surface				N	Occlusal surface			
			BTN	XT	NV/BTN	NH/BTN		OTN	Pits	Area Pits	%Pits
By period	Middle Neolithic	16	95	116.03	0.44	0.11	16	67	19	32.73	22.47
	Middle Copper Age	11	124	140.77	0.44	0.11	10	66	13	34.48	16.62
	Late Copper Age	3	119	127.81	0.46	0.08	3	51	11	54.6	17.74
	Middle Bronze Age	6	115	144.18	0.39	0.15	4	45	17	38.56	27.37
	Late Bronze Age	2	128	137.76	0.3	0.22	1	81	23	25.33	22.12
By site	Middle Neolithic										
	Bükkábrány-Bánya VII	4	112	121.34	0.47	0.11	4	83	20	35.67	19.05
	Bükkábrány-Bánya X	1	120	129.62	0.31	0.13	1	44	21	24.96	32.31
	Bükkábrány-Bánya XI/A	7	87	115.26	0.51	0.06	7	62	15	35.55	20.66
	Bükkábrány-Bánya XII/A	1	103	127.33	0.58	0.10	1	68	26	25.59	27.66
	Bükkábrány-Bánya XII/B	3	80	102.46	0.21	0.2	3	63	21	27.73	28.16
	Middle Copper Age										
	Bükkábrány-Bánya XI/B	11	124	140.77	0.44	0.11	10	66	13	34.48	16.62
	Late Copper Age										
	Bükkábrány-Bánya XII/A	2	123	122.25	0.43	0.09	2	54	14	47.43	20.13
	Bükkábrány-Bánya XII/B	1	111	138.91	0.54	0.05	1	47	7	68.93	12.96
	Middle Bronze Age										
	Mezőzombor-Községi temető	1	119	155.05	0.55	0.03	1	32	9	38.16	21.95
	Mezőkeresztes-Csincse-tanya	1	105	144.94	0.11	0.27	1	42	16	39.55	27.59
	Nagyrovágy-Papdomb	1	124	142.06	0.63	0.02	-	-	-	-	-
	Vatta-Dobogó	3	115	141	0	0	2	60	21	38.26	32.58
	Late Bronze Age										
Köröm-Kápolnadomb	1	124	122.82	0.17	0.23	-	-	-	-	-	
Pácin-Alsókenderszer	1	131	152.69	0.44	0.21	1	81	23	25.33	22.12	
By sex	All samples										
	Female	11	117	122.76	0.4	0.11	11	65	14	37.74	18.36
	Male	9	106	135.93	0.53	0.08	7	68	17	34.54	20.51
	Middle Neolithic										
	Female	3	88	100.55	0.37	0.12	3	71	17	28.92	19.20
	Male	4	93	116.74	0.56	0.07	5	68	15	36.63	18.69
	Middle Copper Age										
	Female	3	128	128.73	0.38	0.16	4	74	11	37.74	14.15
	Male	2	117	173.83	0.48	0.05	1	54	21	33.27	28.00
	Middle Bronze Age										
	Female	2	127	137.79	0.48	0.05	2	46	19	33.70	27.27
Male	1	124	142.06	0.63	0.02	-	-	-	-	-	

Table 4. Summary of microwear results of human individuals included in this study. *N* total number of adult individuals (see text for explanation; *number of adult individuals when comparing by period and site); *BTN* number of striations on the buccal surface; *XT* length of striations in μm ; *NV/BTN* vertical index; *NH/BTN* horizontal index; *OTN* total number of striations in the occlusal surface; *%Pits* percentage of pits.

Assuming a range for trophic level enrichment generally accepted in the literature and observed in the archaeological record of the GHP^{102,103} (ca 0–1‰ for $\delta^{13}\text{C}$ and ca 2–3‰ for $\delta^{15}\text{N}$), high $\delta^{15}\text{N}$ could be explained by high reliance on meat consumption, particularly pig meat with significant high enriched ^{15}N ratios among domesticates. However that would have required that 100% of the protein in diet had contributed essentially from terrestrial mammalian fauna⁶⁶, ignoring that other dietary macronutrients, such as carbohydrates and lipids, are required to meet body's energy requirements^{115,116}. Another possibility is the ingestion of young animals meat, which shows higher $\delta^{15}\text{N}$ due to, most probably, nursing signal¹¹⁷. Different patterns on bone assemblages were found on Middle Neolithic sites of the northern part of the GHP. Findings in Nagykálló-Harangod yielded several young animals (mostly sheep)¹¹⁸, while in Kompolt-Kiser high amounts of elderly individuals were found, probably due to their complex exploitation (skin meet, wool, milk and/or meat)¹¹⁹. Unfortunately, the zooarchaeological small sample size makes difficult assess the extent to which livestock exploitation prevailed in the sites presented in this study. High $\delta^{15}\text{N}$ values may be the result of a combined effect of fertilized crops and meat consumption, as suggested elsewhere^{21,80,103}. Long-term experimental studies have shown an increase in $\delta^{15}\text{N}$ values in modern manured crops^{80,120}. This has led some researchers to suggest that there has been an overestimation of animal protein intake in Neolithic paleodietary reconstructions²¹. Thus, these researchers propose that the combined effects of fertilized crops and animal protein consumption in Early Neolithic European

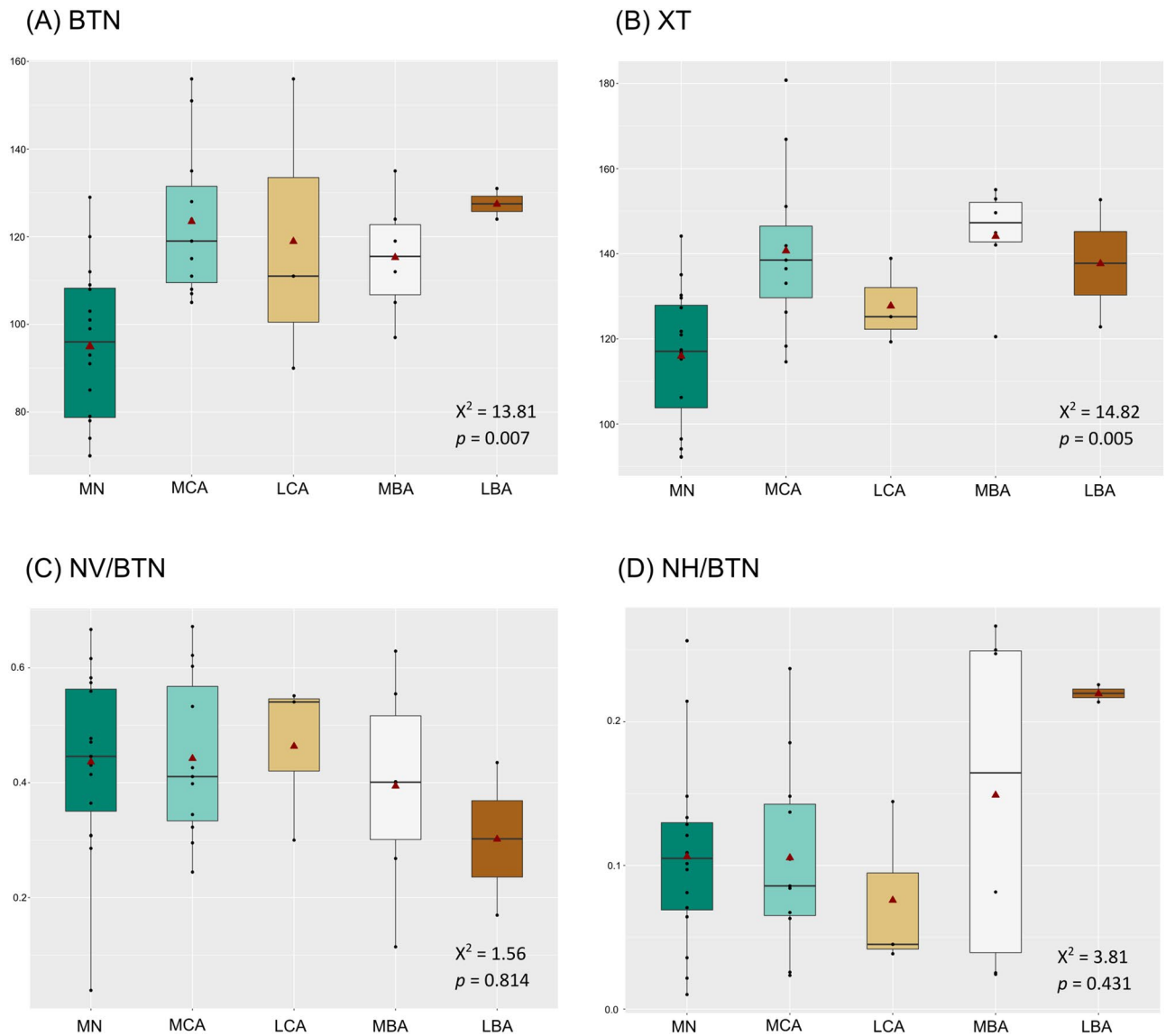


Figure 2. Boxplot showing (A) the total number and (B) length of buccal striations, (C) the vertical and (D) horizontal indexes by period. Samples only include individuals ≥ 8 years old ($N = 38$; see text for explanation). Red triangles show the means, middle horizontal lines represent the medians. Middle Neolithic (MN, $n = 16$); Middle Copper Age (MCA, $n = 11$); Late Copper Age (LCA, $n = 3$); Middle Bronze Age (MBA, $n = 6$); Late Bronze Age (LBA, $n = 2$).

farmers should result in bone collagen $\delta^{15}\text{N}$ values of approximately 9–11‰^{80,121}. For Middle Neolithic samples represented here, manured crops consumption, together with animal protein intake, in our opinion, is the hypothesis more feasible to us to explain high $\delta^{15}\text{N}$ values.

However, we found that there are differences in buccal microwear and isotope ratios among Middle Neolithic sites. Particularly, samples from the Bükkábrány-Bánya VII site tended to have more total buccal striations (BTN) when compared to other Middle Neolithic sites, which were significantly different from those found at Bükkábrány-Bánya XI/A. This might indicate that the diet at Bükkábrány-Bánya VII was more abrasive due to the consumption of hard foods and/or to the inclusion of hard extrinsic particles in food^{50,53,55}. Bükkábrány-Bánya XII/B samples instead presented the lowest BTN, indicating that the foods in their diets were less abrasive. Although not statistically significant, we observed the same trend for the total number of occlusal striations in both Middle Neolithic sites. This is also in accordance with $\delta^{15}\text{N}$ values, where in generally high isotopic values were observed for all Middle Neolithic sites; in particular, we further found significantly more consumption of meat, a minimally abrasive resource, by the individuals at Bükkábrány-Bánya XII/B. Although we found significant differences between Bükkábrány-Bánya XI/A and Bükkábrány-Bánya XII/B sites in the horizontal and vertical indexes, the values of both indexes within Bükkábrány-Bánya XII/B were similar (around 0.2%), indicating they ate a mixed diet. Differences between the Middle Neolithic sites might have been due to cultural differences, particularly the type of food intake and/or how food was processed (e.g., with millstones) or cooked

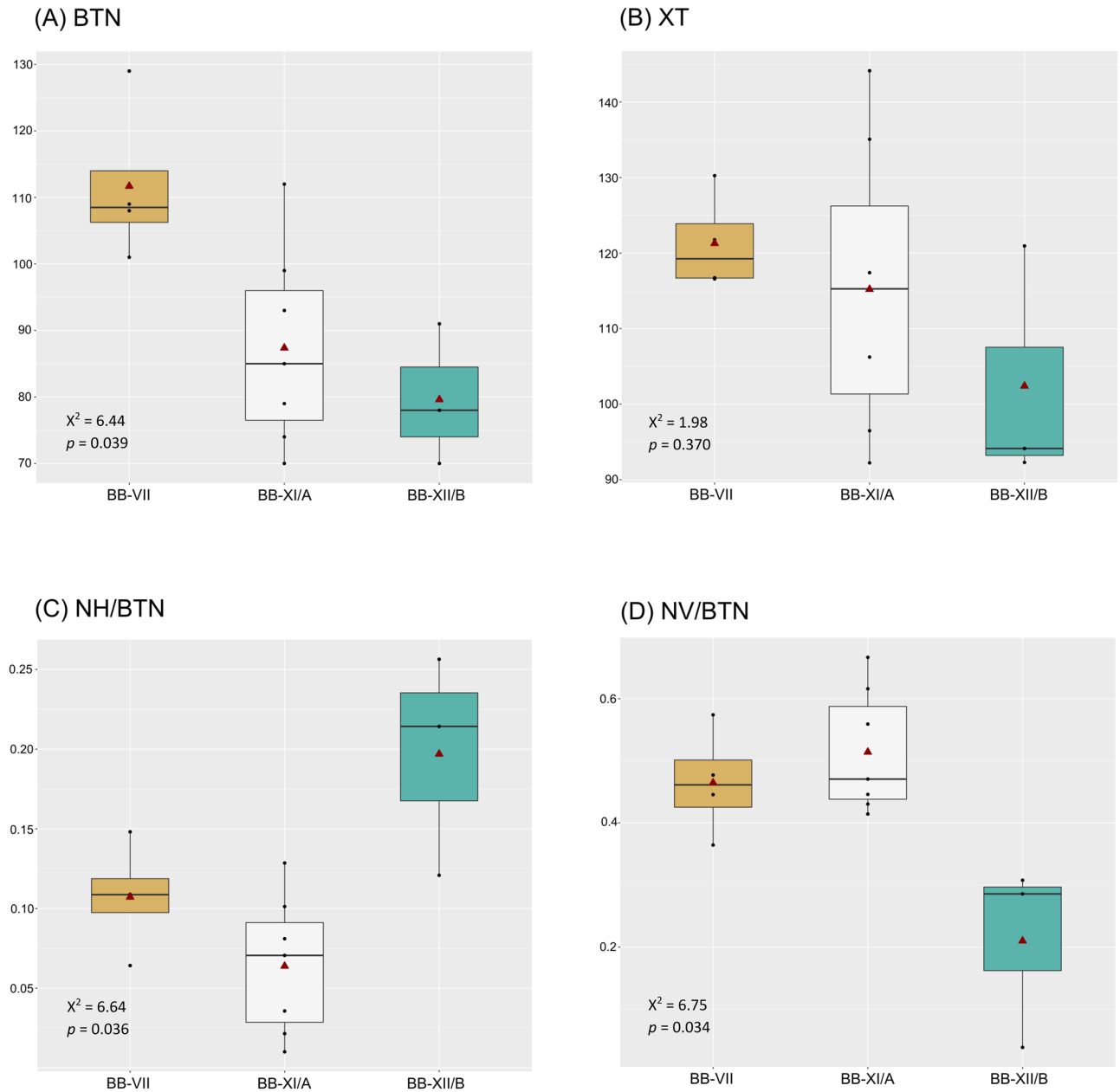


Figure 3. Boxplot representing (A) the total number and (B) length of striations, (C) the vertical and (D) horizontal indexes for buccal microwear of Middle Neolithic sites. Samples only include individuals > 8 years old (N = 14; see text for explanation). Red triangles show the means, the horizontal lines represent the medians. Sites: Bükkábrány-Bánya VII (BB-VII, n = 4); Bükkábrány-Bánya XI/A (BB-XI/A, n = 7); Bükkábrány-Bánya XII/B (BB-XII/B, n = 3).

	Groups	N	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$				$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$			
			Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
Fauna	Domesticates	18	-20.5	0.6	-21.8	-19.5	8.1	1.0	6.3	10.5
	Wild	4	-21.6	1.0	-22.6	-20.2	6.1	0.4	5.5	6.4
	Fish	1	-22.9	-	-	-	11.7	-	-	-
Domesticates by species	Cattle	6	-20.3	0.6	-21.1	-19.7	7.6	0.8	6.3	8.4
	Pig	6	-20.8	0.5	-21.8	-20.3	8.9	1.0	7.8	10.5
	Sheep/goat	6	-20.3	0.7	-21.3	-19.5	7.8	0.6	7.4	9.0

Table 5. Summary of isotopic results of faunal individuals included in this study. Domesticates includes ovicaprids, cattle and pig. N total number of individuals, SD standard deviation (σ), Min minimum value, Max maximum value.

	Groups	N	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$				$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$			
			Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
By period	Middle Neolithic	40	-20.2	0.3	-20.9	-19.6	11.0	0.8	9.5	13.2
	Middle Copper Age ^a	22	-20.1	0.3	-20.9	-19.6	10.2	0.8	6.9	11.5
	Late Copper Age	4	-20.4	0.3	-20.7	-19.9	11.6	0.7	10.6	12.3
	Middle Bronze Age	17	-19.4	1.4	-21.2	-16.7	10.7	0.9	8.9	12.2
	Late Bronze Age	7	-16.8	1.3	-18.1	-14.9	10.9	1.1	9.8	13.0
By site	Middle Neolithic									
	Bükkábrány-Bánya VII	8	-20.4	0.2	-20.5	-19.9	10.6	0.4	9.9	11.0
	Bükkábrány-Bánya X	1	-20.9	-	-	-	11.6	-	-	-
	Bükkábrány-Bánya XI/A	13	-20.3	0.3	-20.9	-19.6	11.0	1.0	9.5	13.2
	Bükkábrány-Bánya XII/A	1	-20.5	-	-	-	11.4	-	-	-
	Bükkábrány-Bánya XII/B	11	-20.1	0.3	-20.8	-19.6	11.5	0.6	10.9	12.5
	Rásonysápberencs-Szölő alja	3	-20.0	0.2	-20.3	-19.9	9.9	0.3	9.6	10.2
	Arnót-Nagy-bugyik	2	-20.4	-	-	-	11.4	-	-	-
	Arnót-Arnóti-oldal Dél	1	-20.0	-	-	-	10.1	-	-	-
	Middle Copper Age									
	Bükkábrány-Bánya XI/B	14	-20.2	0.4	-20.9	-19.6	10.2	1.1	6.9	11.5
	Mezőkövesd-Klementina (Szentistván-Reptér)	2	-19.9	-	-	-	10.4	-	-	-
	Mezőkövesd-Patakra járó dűlő	6	-19.9	0.3	-20.2	-19.5	10.3	0.3	10.1	10.8
	Late Copper Age									
	Bükkábrány-Bánya XII/A	2	-20.7	-	-	-	11.5	-	-	-
	Bükkábrány-Bánya XII/B	2	-20.1	-	-	-	11.9	-	-	-
	Middle Bronze Age									
	Mezőzombor-Községi temető	10	-19.6	1.5	-21.2	-16.7	10.9	1.0	8.9	12.2
	Mezőkeresztes-Csincse-tanya	1	-16.7	-	-	-	10.6	-	-	-
	Nagyrozvágy-Papdomb	1	-21.4	-	-	-	11.1	-	-	-
	Vatta-Dobogó	5	-19.9	1.2	-21.0	-18.1	9.9	1.9	6.9	11.5
	Late Bronze Age									
	Felsődobsza-2. lelőhely	1	-15.2	-	-	-	10.8	-	-	-
Oszlár-Nyárfaszög (M3-32. lelőhely)	1	-16.8	-	-	-	10.9	-	-	-	
Mezőkeresztes-Cethalom (M3-10. lelőhely)	1	-17.5	-	-	-	10.3	-	-	-	
Köröm-Kápolnadomb	1	-18.0	-	-	-	9.9	-	-	-	
Pácin-Alsókenderszer	3	-16.8	1.7	-18.1	-14.9	11.5	1.6	9.8	13.0	
By sex	All samples									
	Female	22	-19.9	0.8	-20.7	-17.2	10.7	0.9	9.5	12.3
	Male	27	-19.7	1.3	-15.2	12.5	10.9	0.7	9.8	12.5
	Middle Neolithic									
	Female	7	-20.2	0.2	-20.4	-19.9	10.4	0.8	9.5	11.8
	Male	11	-20.2	0.2	-20.5	-19.7	10.9	0.8	9.9	12.5
	Middle Copper Age									
	Female	5	-19.9	0.3	-20.3	-19.6	10.2	0.3	9.8	10.6
	Male	5	-19.8	0.2	-19.9	-19.5	10.7	0.5	10.1	11.5
	Middle Bronze Age									
	Female	6	-19.4	1.4	-20.2	-17.2	10.9	0.9	9.5	11.5
Male	7	-20.5	0.7	-21.2	-19.5	11.3	0.5	10.9	12.2	

Table 6. Summary of isotopic results of human individuals included in this study. Middle and Bronze Age individuals were previously published in²². *N* total number of individuals (including both adults and young individuals), *SD* standard deviation (σ), *Min* minimum values, *Max* maximum value. ^aHUNG896 was not included.

(e.g., in pottery vessels), as has been observed in other prehistoric populations^{37,42,44,122}. It is important to keep in mind that Bükkábrány-Bánya XI/A and Bükkábrány-Bánya XII/B are closer to each other than either of them is to Bükkábrány-Bánya VII¹²³ (Fig. 1B), which may have affected cultural and economic patterns, as well as connections across the sites. With the information recovered from the distribution of grave goods, dietary pattern differences between Bükkábrány-Bánya sites cannot be attributed to differences in terms of social status. Further studies are needed to assess whether there were other differences in these settlements.

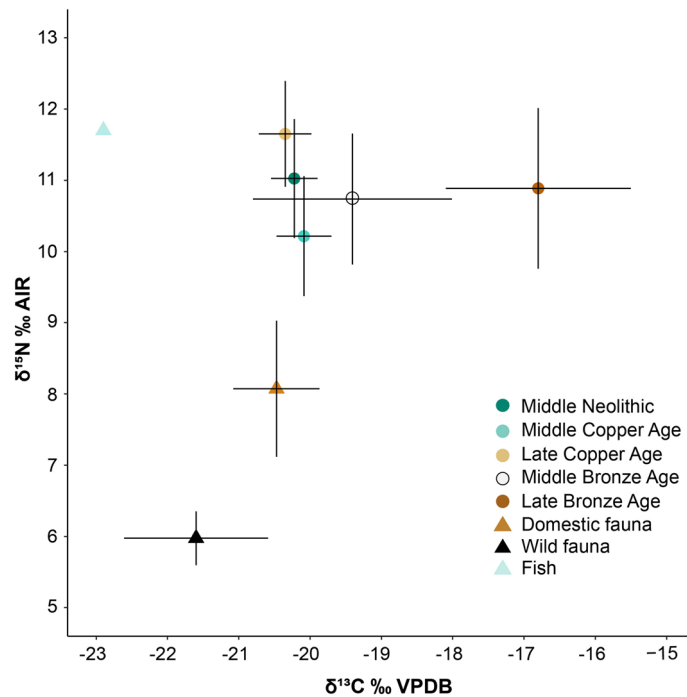


Figure 4. Average values of stable carbon and nitrogen isotope ratios of human and faunal bone collagen from sites analysed in this study. Human samples include both adults and young individuals (N = 89). Human isotopic values from Middle and Late Bronze Age sites were previously published in²². Domestic fauna includes ovicaprids, cattle and pigs. Errors bars correspond to the standard deviation (1σ).

Both buccal microwear and $\delta^{15}\text{N}$ values suggest that there was a change in dietary preferences among Middle Copper Age individuals. Significantly higher BTN values than those found in Middle Neolithic individuals indicate they were consuming a more abrasive diet such as cereals, or to the presence of exogenous particles, such as grit, as a result of processing or cooking methods^{44,50,57,58}. In keeping with this finding, lower $\delta^{15}\text{N}$ values also indicate lower animal protein intake, in accordance with a lower reliance on softer resources, and/or on manured crops. Isotopic faunal offsets suggest that potentially they could have relied on cattle, pig and sheep/goats as an animal protein source, although only ovicaprid remains were recovered from this period in this study. In contrast, Late Copper Age individuals presented significant $\delta^{15}\text{N}$ -rich nitrates compared to other periods, suggesting a higher meat intake (potentially from all domesticated fauna represented in this study), and/or consumption of fertilized crops or animals that consumed them^{80,103}. Late Copper Age individuals had lower BTN values, which is related to less abrasive foods, such as meat¹¹⁰. Additionally, despite not being significant, there was a tendency for the values of the vertical indexes on the buccal surfaces to be high, which also might indicate that there was more consumption of meat⁴⁹. The nitrogen isotope signal in these Late Copper Age individuals was noticeably higher (mean = $12.0 \pm 0.3\text{‰}$ (1σ)) than those from other Late Copper Age sites²¹. These results are in accordance with findings from other Late Copper Age sites that suggest an increase in animal product use during this period¹⁶, but not from other Middle Copper Age sites¹⁰³. As Giblin¹⁰³ argued for Early Copper Age site differences, this could be due to regional site differences in meat consumption and nitrogen enrichment, rather than differences in subsistence practices. More Copper Age sites, particularly from the Middle and Late Copper Age, need to be analysed to better understand if the increase in animal products was a general trend or instead a local or regional process.

The few Middle and Late Bronze Age individuals analysed for buccal microwear presented high mean values of BTN and XT variables, which indicates the consumption of an abrasive diet^{50,55} and/or less consumption of processed food⁴³. Millet consumption starts to be noticeable in bone collagen as $\delta^{13}\text{C}$ values suggest²², although it probably would have been identified in earlier and more individuals if bone or enamel apatite were also tested (see⁶⁰). Higher consumption of this C_4 plant resource was not probably the cause of the abrasiveness increase, since no significant positive correlations were found for BTN and XT with $\delta^{13}\text{C}$ values. The nitrogen isotope signal, although high (MBA mean: $10.8 \pm 0.9\text{‰}$ (1σ); LBA mean: $10.9 \pm 1.1\text{‰}$ (1σ)), suggests a decreased reliance on animal products (potentially from the livestock represented here), and/or manured crops as compared to Late Copper Age individuals²².

There were no significant sex differences among any of the periods analyzed. Despite a limited sample size, there was an overarching trend in XT and NH/TN in the Middle Copper Age individuals for females and males: females presented shorter, more horizontally oriented buccal striations than males, which is consistent with higher cereal intake. Males' higher $\delta^{15}\text{N}$ values suggest they may have consumed more animal protein than females. This trend is supported by other studies in Holocene populations^{45,124}. This issue needs more careful

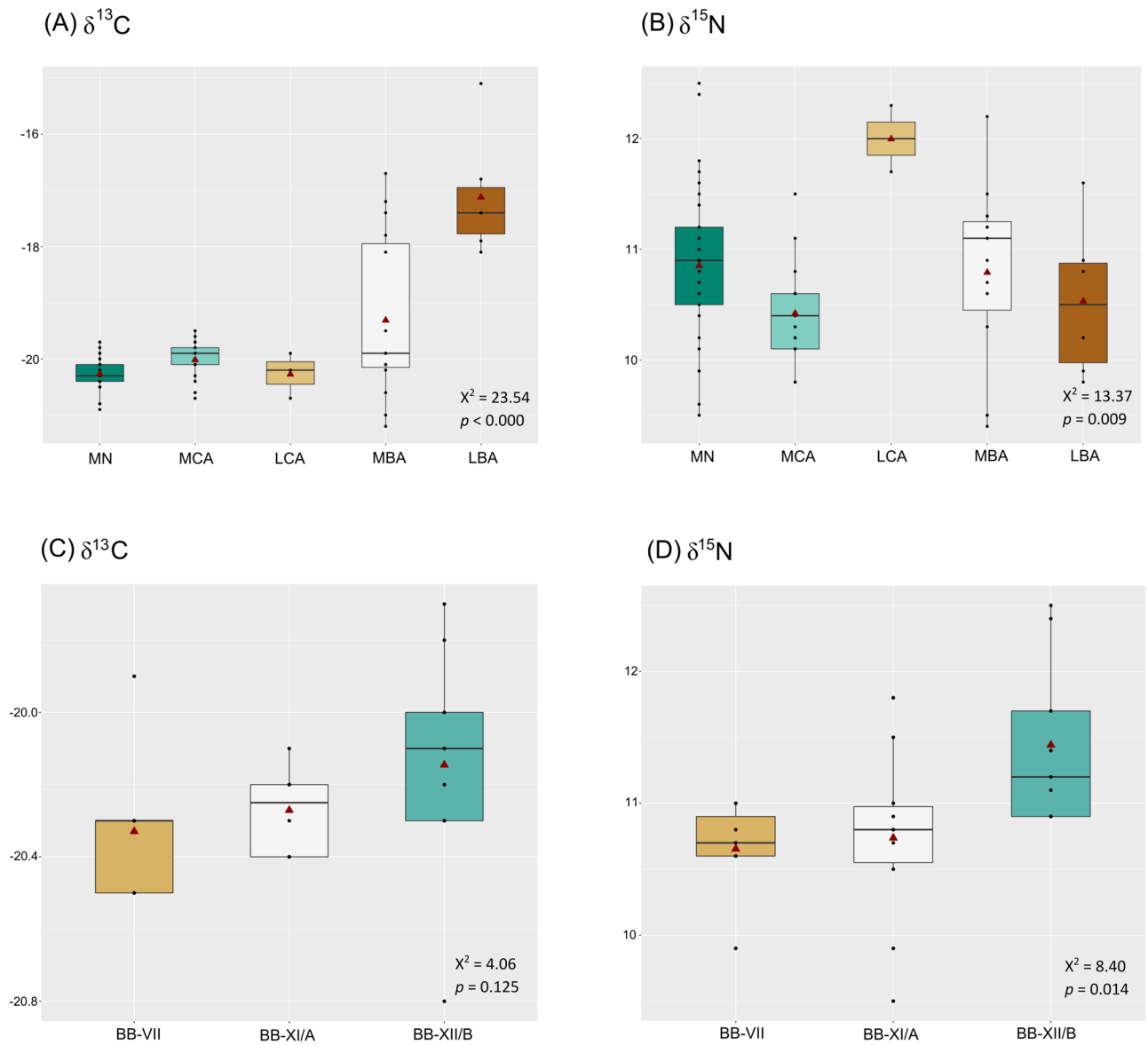


Figure 5. Boxplot showing $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values for human samples by period ($N = 74$) (A, B) and by Middle Neolithic sites ($N = 26$) (C, D). Samples only include individuals ≥ 6 years old (see text for explanation). Red triangles show the means, middle horizontal lines represent the medians. Human isotopic values from Middle and Late Bronze Age sites were previously published¹⁵. Middle Neolithic (MN, $n = 33$); Middle Copper Age (MCA, $n = 17$); Late Copper Age (LCA, $n = 3$); Middle Bronze Age (MBA, $n = 15$); Late Bronze Age (LBA, $n = 6$). Sites: Bükkábrány-Bánya VII (BB-VII, $n = 7$); Bükkábrány-Bánya XI/A (BB-XI/A, $n = 10$); Bükkábrány-Bánya XII/B (BB-XII/B, $n = 9$).

research, and additional studies using dental microwear and stable isotopes should be undertaken to explore potential sex-related differences and their dietary manifestations.

Conclusion

As demonstrated here, the integration of dental microwear and stable isotope approaches employed within individuals can provide a more complete overview of the dietary preferences of past human populations. Our findings suggest these two proxies are complementary, confirming their significance in paleodietary research, and we encourage future studies its combined use.

In general, the level of abrasiveness in diet, revealed by buccal dental microwear variables, is correlated with the isotopic signal at the individual/local level when interpreting $\delta^{15}\text{N}$ results for meat consumption. In addition, the results obtained here show that changes in C_4 plant consumption in the prehistoric Hungarian populations did not necessarily entail changes in diet abrasiveness, either in the C_4 resource itself (grain) or the way it is processed (extrinsic particles). It is the case of Middle Bronze Age sites where higher reliance on millet (C_4) consumption did not imply differences in the abrasiveness of their diet.

This research demonstrates the importance of studying the variation between different sites from the same time period. We have shown the characteristics of each Middle Neolithic site, and, at the individual level, confirmed that both dietary proxies, dental microwear and stable isotopes, point toward the same interpretation. We also found that previous interpretations regarding an increase in the consumption of animal products by the Middle Copper Age could not be confirmed in the Middle Copper Age sites analysed here.

We found no significant differences in dietary composition between females and males for each period. However, results for Middle Copper Age females and males suggest a differential trend in proportions of cereal and meat consumed. Further research involving bone apatite and/or tooth enamel, as well as the inclusion of more samples would contribute significantly to better understand these results.

Methods

Dental microwear analysis. Prior to microscopic analysis, molars were washed with cotton swabs soaked in 96% alcohol, then left to air dry completely¹²⁵. Polyvinylsiloxane dental impression material (Coltene President Ligh Body[®]) was used to mold the tooth crowns. High resolution casts were made using EPO-TEK 301. The replicas were sputter coated with gold, and aluminum tape was attached from the stub to the molar to improve the conductivity of electrons¹²⁶. We analysed the buccal and occlusal surfaces of the molars under an FEI Quanta 600 Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) held in the Scientific and Technical Resources Service of the University Rovira i Virgili (Tarragona, Spain), using previously-published parameters⁴³.

Analysis of buccal microwear. Micrographs (1024 × 832 pixels) were taken with ESEM at 100× of the middle third of the surface. The images were enhanced to increase the contrast and facilitate the observation of striations¹²⁵ with the free software GIMP (version 2.10.22), (<https://gimp.es/>). Then, digital images were cropped to cover an area of 0.56 mm² following¹²⁵. Afterwards, the total number of striations in the buccal surface (BTN), the average length (XT, in μm), and their orientation (0°–180°, divided into 45° intervals according to their orientation: horizontal (H) (0°–22.5°; 157.5°–180°), vertical (V) (67.5°–112.5°), mesiodistal (MD) (Lower Left Molar/Upper Right Molar [LL/UR]: 112.5°–157.5°; Upper Left Molar/Lower Right Molar [UL/LR]: 22.5°–67.5°); distomesial (DM) (Lower Left Molar/Upper Right Molar [LL/UR]: 22.5°–67.5°; Upper Left Molar/Lower Right Molar [UL/LR]: 112.5°–157.5°)⁵⁰ were computed using open-source image processing software, ImageJ¹²⁷ (version 1.52p), (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>). Two orientation indexes that track broad differences in dietary patterns across groups^{49,50} were calculated: total horizontal/total number (NH/BTN) and total vertical/total number (NV/BTN).

Analysis of occlusal microwear. Micrographs (1024 × 832 pixels) were taken with ESEM at 500× of facet 9, which is located on the distobuccal cusp on the first and second molars^{128,129}. Facet 9 is a crushing and grinding surface, which experiences both compression and shearing during chewing^{130,131}. The images were also enhanced, and the contrast modified using GIMP. Each image was cropped to 700 × 500 pixels, which represents approximately 0.03 mm² of the molar's surface^{112,122}. On this surface, four variables were considered: the number of striations (OTN), the number of pits, their area, and the percentage of pits (Pits/(TN + Pits) × 100)⁴². Striations were defined and measured as in buccal surface, whereas pits are defined as features with a length to width ratio ≤ 4:1⁹³. Both features (striations and pits) were computed and recorded with ImageJ.

Observer error. There is a potentially high level of inter-observer error of the dental microwear¹³². For that reason, one author (RH) was responsible for the measurement of buccal and occlusal dental microwear.

Collagen extraction and isotope analyses. Carbon and nitrogen stable isotope analyses were carried out on human bones from different individuals of both sexes and various ages, along with several faunal bones (Table 2 and Supplementary Tables S9 and S10). Previously published isotopic data from Bronze Age samples²² (24 individuals) were also included in the analyses. Human postcranial samples were preferentially selected for collagen extraction except in those cases where only skull fragments were available (Supplementary Table S10).

Sample preparation and collagen extractions were performed at the University College Dublin (UCD) School of Archaeology lab facilities and UCD Conway Institute (Dublin, Ireland). Bone fragments were prepared by cutting a sample of approximately 0.2–1.0 g from the original sample material using a handheld rotary tool with a diamond-coated cutting wheel. The outer surfaces were then abraded using a diamond coated burr. Collagen extraction followed a modified Longin method¹³³. Bone samples were first weighed and then demineralized in 0.5 M HCl at 4 °C until soft and pliable. Demineralization time varied between bone samples, from just over a week to 3 weeks. Samples were then rinsed in deionized water three times and gelatinized in pH 3 HCl solution at 70 °C for roughly 48 h. The resulting gelatine solutions were filtered using Ezee filters and then freeze-dried. Subsequently, aliquots of approximately 0.35–0.60 mg were prepared in duplicate in tin capsules for mass spectrometry analyses.

Stable isotope analyses were carried out following the routine procedures at Light Stable Isotope Mass Spectrometry Laboratory of the Department of Geological Science at University of Florida (Gainesville, USA). A Thermo Electron DeltaV Advantage isotope ratio mass spectrometer was used coupled with a ConFlo II interface linked to a Carlo Erba NA 1500 CNS Elemental Analyzer. The accuracy and precision of the measurements, based on repeated measurements of two international laboratory standards USGS40 and USGS41, was ± 0.05‰ (1σ) for δ¹³C and ± 0.06‰ (1σ) for δ¹⁵N. All δ¹³C results are expressed in standard delta notation relative to Vienna PeeDee Belemnite (V-PDB). All δ¹⁵N results are expressed in standard delta notation relative to air N₂ (AIR).

Ancient DNA analyses. Ancient DNA (aDNA) analyses were performed using human petrous bones following standard procedures to determine the sex of some of the individuals (Table 2). The cochlea of one petrous bone from each individual was isolated with a sandlaster^{134,135}. Powder was obtained from the isolated cochlea using a mixer mill (Retsch MM400), and aliquots of 50–75 mg were used for DNA extraction. The risk of modern DNA contamination was reduced by carrying out all steps in a lab dedicated to the preparation of ancient bone samples at the UCD Conway Institute of Biomolecular and Biomedical Research (University College Dublin, Ireland), as recommended by^{136–138}. While handling ancient bone samples, researchers wore overall suits, double gloves, hair nets, and face masks; all surfaces were cleaned and decontaminated with DNA-ExitusPlus between sample preparation and UV irradiation was also used to ensure effective decontamination took place.

The DNA extraction, library preparation, and sequencing steps for Neolithic and Copper Age samples were performed in a physically separated aDNA lab at UCD and at the University of Vienna, following standard stringent anti-contamination protocols. A detailed description of DNA extraction, library preparation, and sequencing steps is provided in the “Supplementary Information Methods”. For Bronze Age samples, these steps were performed at Harvard University as part of a separate study.

Statistical analyses. Given the small sample size of some chronological groups, the use of non-parametric statistic was required¹³⁹. Although non-parametric tests were done, with this kind of sample we also relied on overarching trend and data visualization when the groups were small^{140,141}.

To investigate the relationship between microwear and stable isotope approaches, Spearman correlation tests were performed between microwear variables, and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, for each individual. Biplot graphs were generated for graphical visualization, including Ordinary Least Squares (OLS) regressions with a 95% confidence interval (Supplementary Figs. S1 and S2).

For general dietary trends, human samples were compared from diachronic (between time periods), synchronic (between sites), and between-sex perspectives by employing non-parametric statistical analyses. Isotopic values from faunal samples were also statistically compared. Kruskal–Wallis tests were chosen when comparing more than two groups (e.g. between periods). Mann–Whitney tests were applied for pairwise comparisons (i.e. compare two groups).

For dental microwear, only individuals 8 years and older were considered for statistical analyses, as children over 8 years have been shown to have similar dietary patterns to adults within the same time periods⁹². For isotope analyses, only data from adults and subadults 6 years and above of known age were considered, as they have been shown to have similar isotopic signals in the same geographical areas and time periods¹⁰³. Boxplots were created to illustrate the general tendencies of the samples. Human isotope ratios were also compared with fauna isotope ratios. Faunal samples from all sites were grouped and compared with human samples for each time period separately. We assumed an isotopic fractionation range from consumed to consumers of a +2–3‰ for $\delta^{15}\text{N}$ and +0–1‰ for $\delta^{13}\text{C}$, as it is the range that generally previous studies have found^{103,104}. All statistical data was performed with R¹⁴², and graphs were generated using the package ggplot2¹⁴³. All data generated are included in this article (and in “Supplementary Information” files).

Ethics. All necessary permits were obtained for the described study, which complied with all relevant regulations and ethical approval (Herman Ottó Múzeum).

Data availability

All data generated or analysed during this study are included in this published article (and its “Supplementary Information files”).

Received: 10 September 2020; Accepted: 9 March 2021

Published online: 29 March 2021

References

- Price, T. D. & Bar-Yosef, O. Traces of inequality at the origins of agriculture in the ancient Near East. In *Pathways to Power* (eds Price, T. D. & Feinman, G. M.) 147–168 (Springer, 2010).
- Larsen, C. S. The agricultural revolution as environmental catastrophe: Implications for health and lifestyle in the Holocene. *Quat. Int.* **150**, 12–20 (2006).
- von Cramon-Taubadel, N., Stock, J. T. & Pinhasi, R. Skull and limb morphology differentially track population history and environmental factors in the transition to agriculture in Europe. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **280**, 20131337 (2013).
- Larsen, C. S. Biological changes in human populations with agriculture. *Annu. Rev. Anthropol.* **24**, 185–213 (1995).
- Bellwood, P. S. *First Farmers: The Origins of Agricultural Societies* (Blackwell Publishing, 2005).
- Pinhasi, R. & Stock, J. T. *Human Bioarchaeology of the Transition to Agriculture* (Wiley, 2011).
- Buzon, M. R. & Bombak, A. Dental disease in the Nile Valley during the New Kingdom. *Int. J. Osteoarchaeol.* **20**, 371–387 (2010).
- Moghaddam, N., Müller, F., Hafner, A. & Lösche, S. Social stratigraphy in Late Iron Age Switzerland: stable carbon, nitrogen and sulphur isotope analysis of human remains from Münsingen. *Archaeol. Anthropol. Sci.* **8**, 149–160 (2016).
- Waterman, A. J., Silva, A. M. & Tykot, R. Stable isotopic indicators of diet from two late prehistoric burial sites in Portugal: an investigation of dietary evidence of social differentiation. *Open J. Archaeom.* **2**(5258), 22–27 (2014).
- Iacumin, P., Di Matteo, A., Usai, D., Salvatori, S. & Venturelli, G. Stable isotope study on ancient populations of central Sudan: Insights on their diet and environment. *Am. J. Phys. Anthropol.* **160**, 498–518 (2016).
- Lambert, P. M. Health versus fitness: Competing themes in the origins and spread of agriculture?. *Curr. Anthropol.* **50**, 603–608 (2009).
- Larsen, C. S. The bioarchaeology of health crisis: Infectious disease in the past. *Annu. Rev. Anthropol.* **47**, 295–313 (2018).
- Horváth, L. A. & Virág, Z. M. History of the Copper Age. In *Hungarian Archaeology at the Turn of the Millennium* (ed. Vicsy, Z.) 125–127 (Ministry of National Cultural Heritage, Teleki László Foundation, New York, 2003).

14. Parkinson, W. A. Integration, interaction, and tribal 'cycling': The transition to the Copper Age on the Great Hungarian Plain. In *The Archaeology of Tribal Societies* (ed. Parkinson, W. A.) 391–438 (International Monographs in Prehistory. Archaeology Series 15, 2002).
15. Chapman, J. The Neolithic in the Morava-Danube confluence area: A regional assessment of settlement pattern. In *Selevac: A Neolithic Village in Yugoslavia* (ed. Tringham, R. K.) 13–43 (Institute of Archaeology, University of California, 1990).
16. Hoekman-Sites, H. A. & Giblin, J. I. Prehistoric animal use on the Great Hungarian Plain: A synthesis of isotope and residue analyses from the Neolithic and Copper Age. *J. Anthropol. Archaeol.* **31**, 515–527 (2012).
17. Whittle, A. W. R. *Europe in the Neolithic: The creation of new worlds* (Cambridge University Press, 1996).
18. Visy, Z. *Hungarian Archaeology at the Turn of the Millennium* (Ministry of National Cultural Heritage & Teleki László Foundation, 2003).
19. Sherratt, A. The emergence of élites: Earlier Bronze Age Europe, 2500–1300 BC. In *Prehistoric Europe: An Illustrated History* (ed. Cunliffe, B.) 244–276 (Oxford University Press, 1998).
20. Kulcsár, G. The Early Bronze Age. In *Hungarian Archaeology at the Turn of the Millennium* (ed. Visy, Z.) 141–142 (Ministry of National Cultural Heritage & Teleki László Foundation, 2003).
21. Gamarra, B. *et al.* 5000 years of dietary variations of prehistoric farmers in the Great Hungarian Plain. *PLoS ONE* **13**, e0197214 (2018).
22. McCall, A. The Relationship of Stable Isotopes to Great Hungarian Plain Diet and Mobility Through the Neolithic, Copper Age, Bronze Age, and Iron Age. (PhD Dissertation, University College of Dublin, 2020).
23. Fischl, K. P., Kiss, V., Kulcsár, G. & Szeverényi, V. Transformations in the Carpathian Basin around 1600 BC. In *1600 BC—Cultural Change in the Shadow of the Thera-Eruption?* (ed. Meller, H.) 355–372 (Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt-Landesmuseum für Vorgeschichte, 2013).
24. Harding, A. Reformation in Barbarian Europe. In *Prehistoric Europe: An Illustrated History* (ed. Cunliffe, B.) 304–335 (Oxford University Press, 1998).
25. Csányi, M. The Tumulus culture: Invaders from the west. In *Hungarian Archaeology at the Turn of the Millennium* (ed. Visy, Z.) 161–163 (Ministry of National Cultural Heritage & Teleki László Foundation, 2003).
26. Dani, J. A kurgánok és az építőik: Az Alföld a bronzkor hajnalán. *Magyar Régészet* **9**, 1–19 (2020).
27. Horváth, T. 4000–2000 BC in Hungary: The age of transformation. *Annales Universitatis Apulensis Series Historica* **20**, 51–112 (2016).
28. Kulcsár, G. Glimpses of the Third Millennium BC in the Carpathian Basin. In *Moments in Time: Papers Presented to Pál Raczky on his 60th Birthday* (eds Anders, A. & Kulcsár, G.) 643–659 (L'Harmattan, 2013).
29. Kulcsár, G. & Szeverényi, V. Transition to the Bronze Age: Issues of continuity and discontinuity in the first half of the Third Millennium BC in the Carpathian Basin. In *Transitions to the Bronze Age. Interregional Interaction and Socio-Cultural Change in the Third Millennium BC Carpathian Basin and Neighbouring Regions* (eds Heyd, V. *et al.*) 67–92 (Archaeolingua, 2013).
30. Heyd, V. M. Das Zeitalter der Ideologien: Migration, Interaktion & expansion im prähistorischen Europa des 4. und 3. Jahrtausend v Chr. In *Transitional Landscapes? The 3rd Millennium BC in Europe* (eds Furholt, M. *et al.*) 53–85 (Habelt, 2016).
31. Reményi, L. A bronzkori településtörténeti változások értelmezése az új kronológiai adatok alapján (Die Interpretation von bronzzeitlichen siedlungsgeschichtlichen Änderungen mit Hilfe der neuen chronologischen Angaben). In *Relationes rerum. Régészeti tanulmányok Nagy Margit tiszteletére (Relationes rerum. Archäologische Studien zu Ehren von Margit Nagy)* (ed. Korom, A.) 47–56 (Archaeolingua, 2018).
32. Szabó, G. Problems with the periodization of the Early Bronze Age in the Carpathian Basin in light of the older and recent AMS radiocarbon data (A Kárpát-medencei kora bronzkor periodizációjának nehézségei a régi és az újabb AMS radiokarbon adatok tükrében). *Archeometriai Műhely* **14**, 99–116 (2017).
33. Bogaard, A., Bending, J. & Jones, G. Archaeobotanical evidence for plant husbandry and use. In *The Early Neolithic on the Great Hungarian Plain. Investigations of the Körös culture site Ecsegfalva 23, County Békés* (ed. Whittle, A.) 421–446 (Archaeological Institute of the Hungarian Academy of Science, 2007).
34. Martín, P., Saladié, P., Nadal, J. & Vergés, J. M. Butchered and consumed: Small carnivores from the Holocene levels of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quat. Int.* **353**, 153–169 (2014).
35. Dunne, J. *et al.* Milk of ruminants in ceramic baby bottles from prehistoric child graves. *Nature* **574**, 246–248 (2019).
36. Schmidt, C. W., Beach, J. J., McKinley, J. I. & Eng, J. T. Distinguishing dietary indicators of pastoralists and agriculturists via dental microwear texture analysis. *Surf. Topogr. Metrol. Prop.* **4**, 14008 (2015).
37. Schmidt, C. W. *et al.* Dental microwear texture analysis of Homo sapiens sapiens: Foragers, farmers, and pastoralists. *Am. J. Phys. Anthropol.* **169**, 207–226 (2019).
38. Eshed, V., Gopher, A. & Hershkovitz, I. Tooth wear and dental pathology at the advent of agriculture: New evidence from the Levant. *Am. J. Phys. Anthropol.* **130**, 145–159 (2006).
39. El Zaatari, S. & Hublin, J. Diet of Upper Paleolithic modern humans: Evidence from microwear texture analysis. *Am. J. Phys. Anthropol.* **153**, 570–581 (2014).
40. Masotti, S., Varalli, A., Goude, G., Moggi-Cecchi, J. & Gualdi-Russo, E. A combined analysis of dietary habits in the Bronze Age site of Ballabio (northern Italy). *Archaeol. Anthropol. Sci.* **11**, 1029–1047 (2019).
41. Beck, J., Bonilla, M.D.-Z., Bocherens, H. & Rio, P. D. Feeding a third millennium BC mega-site: Bioarchaeological analyses of palaeodiet and dental disease at Marroquíes (Jaén, Spain). *J. Anthropol. Archaeol.* **52**, 23–43 (2018).
42. Molleson, T., Jones, K. & Jones, S. Dietary change and the effects of food preparation on microwear patterns in the Late Neolithic of Abu Hureyra, northern Syria. *J. Hum. Evol.* **24**, 455–468 (1993).
43. Romero, A., Martínez-Ruiz, N. & De Juan, J. Non-occlusal dental microwear in a Bronze-Age human sample from east Spain. *Anthropologie* **42**, 65–70 (2004).
44. Polo-Cerdá, M., Romero, A., Casabó, J. & De Juan, J. The Bronze Age burials from Cova dels Blaus (Vall d'Uixó, Castelló, Spain): An approach to palaeodietary reconstruction through dental pathology, occlusal wear and buccal microwear patterns. *HOMO J. Comp. Hum. Biol.* **58**, 297–307 (2007).
45. Fontanals-Coll, M., Subirà, M. E., Bonilla, M.D.-Z., Duboscq, S. & Gibaja, J. F. Investigating palaeodietary and social differences between two differentiated sectors of a Neolithic community, La Bòbila Madurell-Can Gambús (north-east Iberian Peninsula). *J. Archaeol. Sci. Rep.* **3**, 160–170 (2015).
46. Salazar-García, D. C., Romero, A., García-Borja, P., Subirà, M. E. & Richards, M. P. A combined dietary approach using isotope and dental buccal-microwear analysis of human remains from the Neolithic, Roman and Medieval periods from the archaeological site of Tossal de les Basses (Alicante, Spain). *J. Archaeol. Sci. Rep.* **6**, 610–619 (2016).
47. Irvine, B., Erdal, Y. S. & Richards, M. P. Dietary habits in the Early Bronze Age (3rd millennium BC) of Anatolia: A multi-isotopic approach. *J. Archaeol. Sci. Rep.* **24**, 253–263 (2019).
48. Grine, F. E. Dental evidence for dietary differences in *Australopithecus* and *Paranthropus*: A quantitative analysis of permanent molar microwear. *J. Hum. Evol.* **15**, 783–822 (1986).
49. Lalueza, C., Pérez-Pérez, A. & Turbón, D. Dietary inferences through buccal microwear analysis of Middle and Upper Pleistocene human fossils. *Am. J. Phys. Anthropol.* **100**, 367–387 (1996).
50. Pérez-Pérez, A., Lalueza, C. & Turbón, D. Intraindividual and intragroup variability of buccal tooth striation pattern. *Am. J. Phys. Anthropol.* **94**, 175–187 (1994).

51. El-Zaatari, S. Occlusal microwear texture analysis and the diets of historical/prehistoric hunter-gatherers. *Int. J. Osteoarchaeol.* **20**, 67–87 (2010).
52. Mahoney, P. Human dental microwear from Ohalo II (22,500–23,500 cal BP), southern Levant. *Am. J. Phys. Anthropol.* **132**, 489–500 (2007).
53. Romero, A. & De Juan, J. Intra- and interpopulation human buccal tooth surface microwear analysis: Inferences about diet and formation processes. *Anthropologie* **45**, 61–70 (2007).
54. Romero, A. & De Juan, J. SEM, teeth, and palaeoanthropology: The secret of ancient human diets. In *Scanning Electron Microscopy for the Life Sciences* (ed. Schatten, H.) 236–256 (Cambridge University Press, 2012).
55. Teaford, M. F. & Lytle, J. D. Brief communication: Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: A case study involving stone-ground maize. *Am. J. Phys. Anthropol.* **100**, 143–147 (1996).
56. Fox, C. L. & Pérez-Pérez, A. The diet of the Neanderthal Child Gibraltar 2 (Devil's Tower) through the study of the vestibular striation pattern. *J. Hum. Evol.* **24**, 29–41 (1993).
57. Gügel, I. L., Grupe, G. & Kunzelmann, K. Simulation of dental microwear: Characteristic traces by opal phytoliths give clues to ancient human dietary behavior. *Am. J. Phys. Anthropol.* **114**, 124–138 (2001).
58. Romero, A., Ramírez-Rozzi, F. V., De Juan, J. & Pérez-Pérez, A. Diet-related buccal dental microwear patterns in Central African pygmy foragers and Bantu-speaking farmer and pastoralist populations. *PLoS ONE* **8**, e84804 (2013).
59. Organ, J. M., Teaford, M. F. & Larsen, C. S. Dietary inferences from dental occlusal microwear at mission San Luis de Apalachee. *Am. J. Phys. Anthropol.* **128**, 801–811 (2005).
60. Lee-Thorp, J. A. On isotopes and old bones. *Archaeometry* **50**, 925–950 (2008).
61. Katzenberg, M. A. Stable isotope analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history. In *Biological Anthropology Human Skeleton* (eds Katzenberg, M. A. & Grauer, A. L.) 413–441 (Wiley-Blackwell, 2008).
62. Schwarcz, H. P., White, C. D. & Longstaffe, F. J. Stable and radiogenic isotopes in biological archaeology: Some applications. In *Isoscapes Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth Through Isotope Mapping* (eds West, J. B. et al.) 335–356 (Springer, 2010).
63. Bocherens, H. & Drucker, D. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: Case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. *Int. J. Osteoarchaeol.* **13**, 46–53 (2003).
64. Minagawa, M. & Wada, E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta* **48**, 1135–1140 (1984).
65. Schoeninger, M. J. & DeNiro, M. J. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* **48**, 625–639 (1984).
66. Hedges, R. E. M. & Reynard, L. M. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *J. Archaeol. Sci.* **34**, 1240–1251 (2007).
67. Hedges, R. E. M., Clement, J. G., Thomas, C. D. L. & O'Connell, T. C. Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *Am. J. Phys. Anthropol.* **133**, 808–816 (2007).
68. O'Leary, M. H. Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry* **20**, 553–567 (1990).
69. van der Merwe, N. J. & Medina, E. The canopy effect, carbon isotope ratios and foodwebs in Amazonia. *J. Archaeol. Sci.* **18**, 249–259 (1991).
70. van der Merwe, N. J. & Vogel, J. C. ^{13}C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America. *Nature* **276**, 815–816 (1978).
71. Tauber, H. ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature* **292**, 332–333 (1981).
72. Chisholm, B. S., Nelson, D. E. & Schwarcz, H. P. Stable-carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. *Science (80-)*. **216**, 1131–1132 (1982).
73. Richards, M. P. & Hedges, R. E. M. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic coast of Europe. *J. Archaeol. Sci.* **26**, 717–722 (1999).
74. Fischer, A. et al. Coast–inland mobility and diet in the Danish Mesolithic and Neolithic: Evidence from stable isotope values of humans and dogs. *J. Archaeol. Sci.* **34**, 2125–2150 (2007).
75. Katzenberg, M. A. & Weber, A. Stable isotope ecology and palaeodiet in the Lake Baikal region of Siberia. *J. Archaeol. Sci.* **26**, 651–659 (1999).
76. Dufour, E., Bocherens, H. & Mariotti, A. Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish. *J. Archaeol. Sci.* **26**, 617–627 (1999).
77. Lillie, M., Richards, M. P. & Jacobs, K. Stable isotope analysis of 21 individuals from the Epipalaeolithic cemetery of Vasilyevka III, Dnieper Rapids region, Ukraine. *J. Archaeol. Sci.* **30**, 743–752 (2003).
78. Schoeninger, M. J. & DeNiro, M. J. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* **48**, 625–639 (1984).
79. O'Connell, T. C., Kneale, C. J., Tasevska, N. & Kuhnle, G. G. C. The diet–body offset in human nitrogen isotopic values: A controlled dietary study. *Am. J. Phys. Anthropol.* **149**, 426–434 (2012).
80. Bogaard, A., Heaton, T. H. E., Poulton, P. & Merbach, I. The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: Archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *J. Archaeol. Sci.* **34**, 335–343 (2007).
81. Fraser, R. et al. Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: Towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices. *J. Archaeol. Sci.* **38**, 2790–2804 (2011).
82. Reitsemá, L. J. Beyond diet reconstruction: Stable isotope applications to human physiology, health, and nutrition. *Am. J. Hum. Biol.* **25**, 445–456 (2013).
83. Fuller, B. T., Fuller, J. L., Harris, D. A. & Hedges, R. E. M. Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Am. J. Phys. Anthropol.* **129**, 279–293 (2006).
84. Heaton, T. H. E. The $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ Ratios of Plants in South Africa and Namibia: Relationship to climate and coastal/saline environments. *Oecologia* **74**, 236–246 (1987).
85. Ambrose, S. H. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. *J. Archaeol. Sci.* **18**, 293–317 (1991).
86. Craine, J. M. et al. Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability. *New Phytol.* **183**, 980–992 (2009).
87. Grine, F. E., Sponheimer, M., Ungar, P. S., Lee-Thorp, J. & Teaford, M. F. Dental microwear and stable isotopes inform the paleoecology of extinct hominins. *Am. J. Phys. Anthropol.* **148**, 285–317 (2012).
88. Pérez-Pérez, A., Martínez, L. M., Gómez, M., Estebanaranz-Sánchez, F. & Romero, A. Correlations among dietary proxies in African fossil hominins: Dental buccal microwear, occlusal textures and ^{13}C stable isotope. *J. Archaeol. Sci. Rep.* **22**, 384–391 (2018).
89. García-González, R. et al. Dietary inferences through dental microwear and isotope analyses of the Lower Magdalenian individual from El Mirón Cave (Cantabria, Spain). *J. Archaeol. Sci.* **60**, 28–38 (2015).
90. Hogue, S. H. & Melsheimer, R. Integrating dental microwear and isotopic analyses to understand dietary change in east-central Mississippi. *J. Archaeol. Sci.* **35**, 228–238 (2008).
91. García-González, R., Sánchez-Puente, Z., Arsuaga, J. L. & Carretero, J. M. Dietary inferences from dental microwear patterns in Chalcolithic populations from the Iberian Peninsula: The case of El Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) and El Alto de la Huesera (Álava, Spain). *Archaeol. Anthropol. Sci.* **11**, 3811–3823 (2018).

92. Hernando, R. *et al.* Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: A case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeol. Anthropol. Sci.* **12**, 30 (2020).
93. Teaford, M. F. Dental microwear and dental function. *Evol. Anthropol. Issues News Rev.* **3**, 17–30 (1994).
94. Teaford, M. F., Ungar, P. S., Taylor, A. B., Ross, C. F. & Vinyard, C. J. In vivo rates of dental microwear formation in laboratory primates fed different food items. *Biosurface Biotribol.* **3**, 166 (2017).
95. Ungar, P. S. Dental evidence for the diets of Plio-Pleistocene hominins. *Am. J. Phys. Anthropol.* **146**, 47–62 (2011).
96. Romero, A., Galbany, J., De Juan, J. & Pérez-Pérez, A. Brief communication: Short- and long-term *in vivo* human buccal-dental microwear turnover. *Am. J. Phys. Anthropol.* **148**, 467–472 (2012).
97. Galbany, J. & Pérez-Pérez, A. Buccal enamel microwear variability in Cercopithecoidea primates as a reflection of dietary habits in forested and open savanna environments. *Anthropologie* **42**, 13–20 (2004).
98. Correia, M. A., Foley, R. & Lahr, M. M. Applying dental microwear texture analysis to the living: Challenges and prospects. *Am. J. Phys. Anthropol.* <https://doi.org/10.1002/ajpa.24133> (2020).
99. King, T., Andrews, P. & Boz, B. Effect of taphonomic processes on dental microwear. *Am. J. Phys. Anthropol.* **108**, 359–373 (1999).
100. Romero, A., Martínez-Ruiz, N., Amorós, A. & De Juan, J. Microdesgaste dental *in vivo*: Modelo preliminar para interpretar su formación y variabilidad en grupos humanos antiguos. *Rev. Española Antropol. Física* **24**, 5–18 (2004).
101. DeNiro, M. J. Postmortem preservation and alteration of *in vivo* bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* **317**, 806–809 (1985).
102. Bickle, P. & Whittle, A. *The First Farmers of Central Europe: Diversity in LBK Lifeways* (Oxbow Books, 2013).
103. Giblin, J. Isotope analysis on the Great Hungarian Plain: An exploration of mobility and subsistence strategies from the Neolithic to the Copper Age (PhD Dissertation). (The Ohio State University, 2011).
104. Whittle, A. Hungary. In *The First Farmers of Central Europe. Diversity in LBK Lifeways* (eds Bickle, P. & Whittle, A.) 49–97 (Oxbow Books, 2013).
105. Petzke, K. J., Boeing, H. & Metges, C. C. Choice of dietary protein of vegetarians and omnivores is reflected in their hair protein ¹³C and ¹⁵N abundance. *Rapid Commun. Mass Spectrom. An Int. J. Devoted to Rapid Dissem. Up-to-the-Minute Res. Mass Spectrom.* **19**, 1392–1400 (2005).
106. Temple, D. H. & Goodman, A. H. Bioarcheology has a “health” problem: Conceptualizing “stress” and “health” in bioarcheological research. *Am. J. Phys. Anthropol.* **155**, 186–191 (2014).
107. Reid, D. J. & Dean, M. C. Brief communication: The timing of linear hypoplasias on human anterior teeth. *Am. J. Phys. Anthropol.* **113**, 135–139 (2000).
108. Fernández-Crespo, T., Czermak, A., Lee-Thorp, J. A. & Schulting, R. J. Infant and childhood diet at the passage tomb of Alto de la Huesera (north-central Iberia) from bone collagen and sequential dentine isotope composition. *Int. J. Osteoarchaeol.* **28**, 542–551 (2018).
109. Martin, R. & Saller, K. *Lehrbuch der Anthropologie, in Systematischer Darstellung* (Gustav Fischer Verlag, 1957).
110. Hua, L., Brandt, E. T., Meullenet, J., Zhou, Z. & Ungar, P. S. An *in vitro* study of dental microwear formation using the BITE Master II chewing machine. *Am. J. Phys. Anthropol.* **158**, 769–775 (2015).
111. Hinton, R. J. Differences in interproximal and occlusal tooth wear among prehistoric Tennessee Indians: Implications for masticatory function. *Am. J. Phys. Anthropol.* **57**, 103–115 (1982).
112. Teaford, M. F. & Tylenda, C. A. A new approach to the study of tooth wear. *J. Dent. Res.* **70**, 204–207 (1991).
113. Lillie, M. C. & Richards, M. Stable isotope analysis and dental evidence of diet at the mesolithic-neolithic transition in Ukraine. *J. Archaeol. Sci.* **27**, 965–972 (2000).
114. Whittle, A., Bartosiewicz, L., Boric, D., Pettitt, P. & Richards, M. In the beginning: New radiocarbon dates for the Early Neolithic in northern Serbia and south-east Hungary. *Antaeus* **25**, 63–117 (2002).
115. Speth, J. D. & Spielmann, K. A. Energy source, protein metabolism, and hunter-gatherer subsistence strategies. *J. Anthropol. Archaeol.* **2**, 1–31 (1983).
116. Cordain, L. *et al.* Plant-animal subsistence ratios and macronutrient energy estimations in worldwide hunter-gatherer diets. *Am. J. Clin. Nutr.* **71**, 682–692 (2000).
117. Jay, M. & Richards, M. P. Diet in the Iron Age cemetery population at Wetwang Slack, East Yorkshire, UK: Carbon and nitrogen stable isotope evidence. *J. Archaeol. Sci.* **33**, 653–662 (2006).
118. Bárány, A. Animal bone find material from the Nagykálló–Harangod Middle Neolithic settlement (County Szabolcs-Szatmár-Bereg, NE-Hungary). *Commun. Archaeologicae Hungariae* **2017**, 39–50 (2018).
119. Bartosiewicz, L. A lelőhely állatsontanyaga. Archaeozoologia—Animal bones from the site. *Archaeozoology. In Kompolt-Kisté. Újkőkori, Bronzkori, Szarmata és Avar lelőhely. Leletmentő Ásatás az M3-as Autópálya Nyomvonalán. Neolithic, Bronze Age, Sarmatian and Avar site. Rescue Excavation at the M3 Motorway* (eds Petercsák, T. & Szabó, J. J.) 279–338 (Héves Megyei Régészeti Közlemények, 1999).
120. Szpak, P., Longstaffe, F. J., Millaire, J.-F. & White, C. D. Stable isotope biogeochemistry of seabird guano fertilization: Results from growth chamber studies with Maize (*Zea mays*). *PLoS ONE* **7**, e33741 (2012).
121. Bogaard, A. *et al.* Crop manuring and intensive land management by Europe’s first farmers. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **110**, 12589–12594 (2013).
122. Schmidt, C. W. Dental microwear evidence for a dietary shift between two nonmaize-reliant prehistoric human populations from Indiana. *Am. J. Phys. Anthropol.* **114**, 139–145 (2001).
123. Kalli, A. & Tutkovic, E. K. Archaeological research on the area of the Bükkábrány lignite mine in the valley of the Csincse Stream. *Hung. Archaeol. E-Journal 2017 Spring*, 1–11 (2017).
124. Jarosová, I. Dietary inferences using buccal microwear analysis on the LBK population from Vedrovice, Czech Republic. *Anthropol.* **46**, 175–184 (2008).
125. Galbany, J., Martínez, L. M. & Pérez-Pérez, A. Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: Methodological obstacles. *Anthropologie* **42**, 5–12 (2004).
126. Fiorenza, L., Benazzi, S. & Kullmer, O. Do it yourself: Morphology, wear and 3D digital surface models: Materials and techniques to create high-resolution replicas of teeth. *J. Anthropol. Sci.* **87**, 211–218 (2009).
127. Schneider, C. A., Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods* **9**, 671 (2012).
128. Maier, W. & Schneck, G. Functional morphology of hominoid dentitions. *J. Hum. Evol.* **11**, 693–696 (1982).
129. Mahoney, P. Dental microwear from Natufian hunter-gatherers and early Neolithic farmers: Comparisons within and between samples. *Am. J. Phys. Anthropol.* **130**, 308–319 (2006).
130. Kay, R. F. & Hiiemae, K. M. Jaw movement and tooth use in recent and fossil primates. *Am. J. Phys. Anthropol.* **40**, 227–256 (1974).
131. Tausch, J., Kullmer, O. & Bromage, T. G. A new method for determining the 3D spatial orientation of molar microwear. *Scanning* **37**, 446–457 (2015).
132. Galbany, J. *et al.* Error rates in buccal-dental microwear quantification using scanning electron microscopy. *Scanning* **27**, 23–29 (2005).
133. Longin, R. New Method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* **230**, 241–242 (1971).
134. Pinhasi, R. *et al.* Optimal ancient DNA yields from the inner ear part of the human petrous bone. *PLoS ONE* **10**, e0129102 (2015).

135. Pinhasi, R., Fernandes, D. M., Sirak, K. & Cheronet, O. Isolating the human cochlea to generate bone powder for ancient DNA analysis. *Nat. Protoc.* **14**, 1194–1205 (2019).
136. Hofreiter, M., Jaenicke, V., Serre, D., von Haeseler, A. & Pääbo, S. DNA sequences from multiple amplifications reveal artifacts induced by cytosine deamination in ancient DNA. *Nucleic Acids Res.* **29**, 4793–4799 (2001).
137. Poinar, H. N. The top 10 list: Criteria of authenticity for DNA from ancient and forensic samples. *Int. Congr. Ser.* **1239**, 575–579 (2003).
138. Llamas, B. *et al.* From the field to the laboratory: Controlling DNA contamination in human ancient DNA research in the high-throughput sequencing era. *STAR Sci. Technol. Archaeol. Res.* **3**, 1–14 (2017).
139. Hernando, R. *et al.* Exploring the utility of optical microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear. *Quat. Int.* **569–570**, 5–14 (2020).
140. Smith, R. J. The continuing misuse of null hypothesis significance testing in biological anthropology. *Am. J. Phys. Anthropol.* **166**, 236–245 (2018).
141. Weissgerber, T. L., Milic, N. M., Winham, S. J. & Garovic, V. D. Beyond bar and line graphs: Time for a new data presentation paradigm. *PLoS Biol.* **13**, e1002128 (2015).
142. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2020).
143. Wickham, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (Springer-Verlag, 2016).

Acknowledgments

The authors would like to thank Rebeca Revilla for preparing the maps in Fig. 1. We thank Carlos Tornero, for comments on the isotope results, and János Dani, for comments on the time-span on Carpathian's Basin Prehistory. We also thank to Anna Szecsenyi-Nagy, Nadine Rohland, David Reich and his wetlab team to kindly provide information of Bronze Age individuals. Samples were collected and prepared within the Horizon 2020-Marie Skłodowska Curie Actions (IF-2015-703373) project held by B.G. R.H is funded by predoctoral URV Martí-Franquès Research Grant (URV 2019PMF-PIPF-59). B.G is funded by the Beatriu de Pinós Post-doctoral fellowship (2017 BP 00210) from AGAUR, Government of Catalonia. D.F was supported by an Irish Research Council Post-Graduate grant GOIPG/2013/36. A.M. was supported by Government of Ireland Postgraduate Scholarship Programme grant GOIPG/2015/2275. T.H., K.K and T.S.Z developed their work within the Hungarian Research, Development and Innovation Office (project id. FK128013). The Institut Català de Paleoeologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA) has received financial support from the Spanish Ministry of Science and Innovation through the “María de Maeztu” program for Units of Excellence (CEX2019-000945-M). This project was partially funded by AGAUR (Ref. 2017SGR1040), URV (Ref. 2019PFR-URV-91) and the MICINN/FEDER (Ref. PGC2018-093925-B-C32).

Author contributions

R.H. and B.G. conceived and designed this research. Both authors contributed equally to this work. T.S., T.H., A.B., A.K., E.K.T., K.K., K.Kr., J.K., P.C., Á.K., A.H., M.H., K.T., R.P. provided materials, physical anthropological, archaeozoological and archaeological data and background for the research. R.H., B.G., O.C., K.S. and R.S. performed the laboratory analyses. D.F. performed the bioinformatics for aDNA data. R.H. and B.G. interpreted the results and wrote the original draft with inputs from M.L. All the authors reviewed and edited the manuscript.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Additional information

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86369-x>.

Correspondence and requests for materials should be addressed to R.H. or B.G.

Reprints and permissions information is available at www.nature.com/reprints.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

© The Author(s) 2021

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria

Desgast dental dels individus de la cista del Camp de la Bruna (Lladurs, el Solsonès)

Raquel Hernando Santamaria
Marina Lozano Ruiz

Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES)
Departament d'Història i Història de l'Art de la Universitat Rovira i Virgili

INTRODUCCIÓ ALS ESTUDIS SOBRE DESGAST DENTAL

El coneixement de la dieta de les poblacions del passat ens permet inferir no només la manera com gestionaven els recursos i, per tant, el seu patró de subsistència, sinó qüestions més generals relacionades amb el seu comportament i la seva cultura. Les dents són una de les parts esquelètiques que millor es conserven en contextos arqueopaleontològics degut a la seva composició altament inorgànica. A més, ens aporten una gran quantitat d'informació sobre aspectes biològics i culturals. Per tant, s'han desenvolupat nombroses metodologies i s'han aplicat diferents tècniques per determinar qüestions relacionades tant amb el desenvolupament i el creixement com amb la morfologia i les patologies dentals. Alguns dels estudis que actualment ens aporten més informació estan basats en anàlisis dentals d'isòtops, morfometria geomètrica i desgast dental.

El desgast dental és un aspecte especialment interessant, ja que, malgrat ser una conseqüència normal de l'ús de la dentició, pot tenir unes característiques específiques segons l'ús que es faci de les dents tant en la seva funció normal de mastegar els aliments com en usos extramasticatoris. És per això que aquest estudi està centrat en la combinació

d'anàlisis del desgast dental des d'un punt de vista tant macroscòpic com microscòpic, amb l'objectiu de conèixer una mica més en profunditat la dieta i l'estil de vida dels dos individus recuperats al jaciment de la cista del Camp de la Bruna, a Lladurs (el Solsonès).

El macrodesgast fa referència al desgast dels teixits dentals en la superfície oclusal de la corona dental; és a dir, a la pèrdua progressiva i irreversible de teixit dental que comporta una disminució de l'alçària de la corona degut principalment a l'atrició i al contacte dent amb dent durant el cicle masticatori.¹ Aquest procés s'inicia a les cúspides dentals, causant la pèrdua d'esmalt, i, com a conseqüència, provoca l'aparició de la dentina, el teixit dental subjacent. En casos de desgast oclusal molt greu, la cavitat pulpar de la dent queda exposada. Aquest desgast és gradual, ja que està associat a l'ús de les dents i, consegüentment, augmenta amb l'edat dels individus. Per aquest motiu, els individus de més edat són els que presenten graus més elevats de desgast oclusal. No obstant això, depenent de diversos factors, aquest desgast serà més o menys intens o més o menys homogeni en tota la superfície oclusal. Alguns d'aquests factors estan relacionats amb característiques biològiques de l'individu, com la duresa de l'esmalt dental² i, també, amb el grau de mastegament que impliqui el tipus de dieta

1 HILLSON 1996: 231.

2 TRANCHO – ROBLEDO 2002: 173.

consumida. Arribats a aquest punt, hem de recordar que l'expressió *desgast dental* és molt general i fa referència a dos tipus de desgast més específics, conseqüència de processos diferents com són l'atrició i l'abradió. Per *atrició* entenem el desgast en forma de facetes provocat pel contacte directe entre dents, tant inferiors com superiors, i entre les dents adjacents de la mateixa arcada dental. L'abradió, en canvi, és el desgast que afecta de manera generalitzada la superfície oclusal de la dent com a conseqüència de la fricció amb les superfícies dentals d'objectes més durs que l'esmalt. Generalment, s'associa amb el mastegament d'aliments, encara que qualsevol manipulació d'objectes amb les dents pot produir desgast per abrasió, i no solament a la superfície oclusal, sinó a altres superfícies dentals. Aquest desgast es pot identificar macroscòpicament, però també microscòpicament, la qual cosa permet la determinació de patrons de microdesgast dental. En ambdós casos, aquests patrons de macrodesgast i microdesgast són idonis per realitzar inferències tant sobre la dieta com sobre l'ús de les dents com a eina en tasques extramasticatòries.

En l'àmbit macroscòpic, el mètode emprat es basa en la quantificació de la dentina, que és el teixit mineralitzat subjacent a l'esmalt, present a la superfície total oclusal. Es dedueix que aliments més abrasius o activitats que comportin l'ús de les dents de manera regular provocaran un major desgast de la superfície oclusal.³ D'altra banda, el microdesgast dental està causat per partícules abrasives de duresa superior a l'esmalt. Aquestes partícules poden ser tant intrínseques com extrínseques de l'aliment, és a dir, poden formar part estructural dels aliments, com és el cas dels fitòlits presents en els aliments vegetals, o ser partícules de pols o cendra que contaminin els aliments. Les dites partícules, en tenir una duresa superior a l'esmalt, el ratllen, especialment en les superfícies dels molars i premolars (que són les dents que duen a terme el cicle principal de la masticació). Aquest procés de desgast causa un seguit de trets de desgast, com són els solcs denominats «estries» o «depressions», també coneguts amb el terme anglès *pits*.⁴ Les estries són trets lineals amb una proporció entre la longitud i l'amplada variable, segons diversos autors,⁵ i que oscil·la

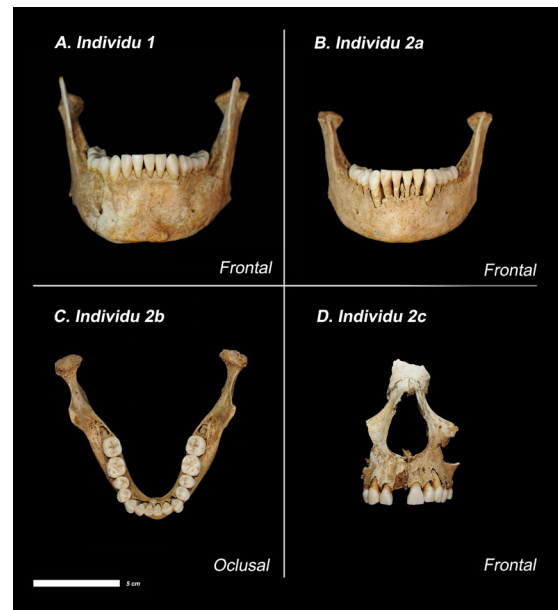


Figura 1. Maxil·lar i mandíbula dels individus analitzats. (Autora: Raquel Hernando)

entre 2:1 i 10:1, encara que, com a norma general, la longitud sempre ha de superar àmpliament l'amplada del tret de desgast. Les depressions són petits clots a l'esmalt de morfologia ovalada o circular, ja que la longitud i l'amplada tenen pràcticament les mateixes dimensions. Tant estries com depressions són conseqüència de la fricció entre els aliments i les superfícies oclusals de les dents. No obstant això, durant el mastegament dels aliments, el bol alimentari també ocasiona estries a les superfícies bucals. La quantitat, l'orientació i la disposició dels trets de desgast seran diferents segons la naturalesa dels aliments i el temps que hagin de ser mastegats. D'aquesta manera, es considera que una dieta amb un component vegetal majoritari, que és més abrasiu que la carn, o amb aliments poc processats, produirà una quantitat de trets de desgast més gran, i viceversa.⁶ Per aquest motiu, el recompte i la classificació dels trets de desgast permet inferir-ne tant el grau de processament com el tipus d'aliment que s'ha ingerit de manera regular.

3 DETER 2009; SMITH 1984.

4 GORDON 1988; PÉREZ-PÉREZ *et al.* 1994: 175-176; ROMERO *et al.* 2004: 65.

5 GORDON 1988; GRINE 1986; TEAFORD – WALKER 1984.

6 TEAFORD – LYTLE 1996: 144.

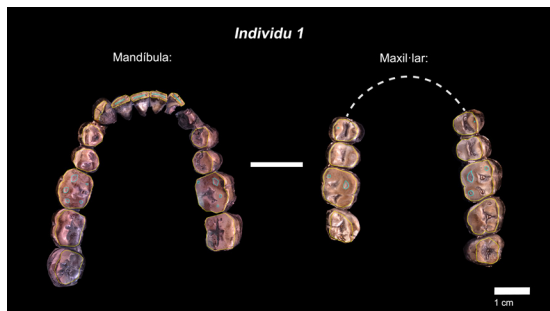


Figura 2. Macrodesgast de l'individu 1: en blau, la dentina exposada, i en groc, l'àrea total oclusal de la corona dental. (Autora: Raquel Hernando)

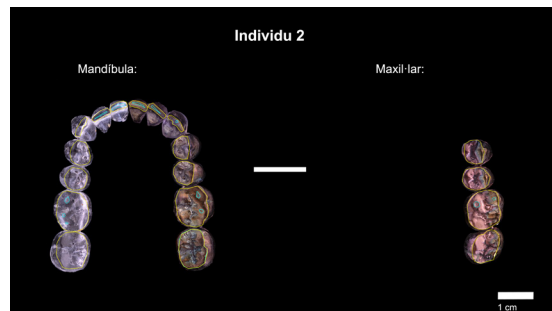


Figura 3. Macrodesgast de l'individu 2: en blau, la dentina exposada, i en groc, l'àrea total oclusal de la corona dental. (Autora: Raquel Hernando)

MATERIAL

La totalitat de la dentició present i en bon estat de conservació dels dos individus del Camp de la Bruna s'ha analitzat per tal d'establir els patrons de macrodesgast i microdesgast dentals associats, tant amb la determinació de la dieta com a la pràctica d'activitats extramasticatòries. Pel que fa a les dents, ambdós individus presenten maxil·lar i mandíbula amb relació a tota la dentició anterior i posterior conservades (fig. 1). No obstant això, la dentició anterior de l'individu 1 no s'ha pogut analitzar, ja que l'esmal dental presentava un estat de conservació massa fràgil, cosa que no ha permès la realització de rèpliques dentals. Les dents conservades i analitzades de cadascun dels individus es mostren a la taula 1.

METODOLOGIA

MACRODESGAST

La presa de dades per determinar el patró de macrodesgast dental es va dur a terme seguint la metodologia establerta per Deter.⁷ El primer pas consisteix en la realització de fotografies de la corona dental de totes les dents presents tant al maxil·lar com a la mandíbula. En aquest cas, les fotografies no es van fer directament de les dents originals, sinó de rèpliques d'alta resolució que permeten realitzar les diferents anàlisis com si es tractés de les dents originals. Les fotografies es van fer amb una càmera Nikon 800 amb un objectiu macro. Les imatges van ser posteriorment analitzades amb la plataforma de programari lliure de Java per a processament

d'imatges ImageJ,⁸ amb la qual s'han seleccionat i quantificat digitalment tant l'àrea de la dentina exposada com l'àrea total de la superfície oclusal. En concret, es van seleccionar les àrees que indiquen la totalitat de la superfície oclusal tant de la dentició anterior com de la posterior (fig. 2 i 3, en groc). Igualment, es van seleccionar les àrees de dentina exposada en les mateixes dents (fig. 2 i 3, en blau). Una vegada es van obtenir les dades d'aquestes àrees de manera individual, es va calcular la proporció de dentina exposada a cada dent i per a cada individu mitjançant una fórmula senzilla (percentatge de dentina / àrea total de superfície oclusal).⁹

Les dades resultants, tant de la dentició anterior com de la posterior dels individus analitzats, es van comparar amb els resultats ja publicats de poblacions prehistòriques de caçadors-recol·lectors i agricultors de l'Amèrica del Nord¹⁰ (taula 2). Prèviament a la realització de la comparació, es va determinar l'edat de mort dels individus del Camp de la Bruna, ja que les dades de proporció de dentina exposada que s'han emprat com a mostra comparativa estan organitzades partint de diferents rangs d'edat: joves, adults de mitjana edat i adults d'edat avançada. D'aquesta manera, la comparació de resultats és molt eficaç, ja que es té en compte la influència del factor edat en el desgast dental general.

MICRODESGAST

Els patrons de microdesgast dental per tal d'inferir-ne la dieta es poden determinar tant en la superfície oclusal com en la bucal. En el present estudi, ens hem centrat a analitzar el microdesgast de la superfície bucal, ja que aporta informació de la dieta consumida a més llarg termini que la determinada

7 DETER 2009: 249.

8 RUEDEN *et al.* 2017.

9 DETER 2009: 249.

10 DETER 2009: 250.

mitjançant l'anàlisi de la superfície oclusal.¹¹ Per dur a terme aquesta anàlisi, es requereix l'observació de les superfícies bucals amb microscòpia electrònica de rastreig. Igualment, la dentició anterior s'ha analitzat amb el mateix tipus de microscòpia per determinar la presència d'activitats extramasticatòries.¹² Malgrat que s'ha utilitzat un microscopi de càmera ambiental, que permet l'anàlisi directa dels originals sense cap tipus de dany, no ha estat possible fer-ho, ja que les dents estaven situades *in situ* en cranis i mandíbules, la qual cosa en feu inviable la introducció a la càmera del microscopi. Per tant, per tal de poder analitzar la superfície bucal de la dentició posterior i les superfícies vestibulars i incisives de la dentició anterior, es van dur a terme rèpliques d'alta resolució dels originals. Tan sols s'han fet rèpliques d'aquelles dents en les quals l'esmalt tenia un estat de conservació excel·lent; així, se n'ha descartat la dentició anterior superior de l'individu 1, que presentava un cert nivell de fragilitat.

Les rèpliques dentals s'han dut a terme seguint un mètode de dos passos consistent en la realització d'un motlle o negatiu de la dent original i, posteriorment, la seva positivació. En primer lloc, els originals s'han netejat amb alcohol al 96 %, i després de deixar-los assecar a l'aire se n'ha fet el negatiu emprant Colténe President Plus Jet Light Body, un polivinilsiloxà de baixa viscositat. Aquest tipus de silicones s'endureix completament al cap d'uns cinc minuts, la qual cosa permet una ràpida i fàcil separació del negatiu i l'original. A continuació, els negatius s'han positivat amb una resina bicomponent Epoxy Epo-Tek 301 (Epoxy Technology, Inc), que proporciona un nivell de detall excel·lent de les superfícies replicades, amb una observació de pocs micròmetres i, per tant, òptima per a anàlisis de microdesgast. El temps d'assecat de la resina, a temperatura ambiental, és d'unes 24 hores, encara que si es vol accelerar el procés, les rèpliques es poden exposar a temperatures de fins a 65 °C, la qual cosa en permet l'assecat en tan sols una hora. Quan la resina s'ha endurit completament, les rèpliques d'alta resolució ja es poden manipular i analitzar. Donat que la nostra anàlisi es basa en l'observació de la superfície amb microscòpia electrònica de rastreig, les rèpliques es van preparar per a aquesta finalitat. En primer lloc, es van adherir a suports metàl·lics

amb una cola termofusible. A continuació, per tal de facilitar la conductivitat de les rèpliques, es van metal·litzar amb un recobriments de 25 nm d'or i, per millorar aquesta connectivitat, es va col·locar una tireta d'alumini connectant el portamostres amb la rèplica.¹³

L'anàlisi i l'observació de les superfícies dentals es van dur a terme amb un microscopi electrònic de rastreig de càmera ambiental FEI Quanta 600 (MEBA) que es troba al Servei de Recursos Científics i Tècnics de la Universitat Rovira i Virgili, a Tarragona. Els paràmetres utilitzats per tal d'obtenir imatges de la superfície bucal i poder establir els patrons de dieta són estàndards.¹⁴ Les fotografies s'han pres sempre a la part central del terç mitjà de la superfície bucal de la dent, a 100x, 20 kV de voltatge, una distància de treball d'entre 10 i 20 mm i unes dimensions d'exposició del feix d'electrons (*spot size*) de 4,5. D'altra banda, quan s'analitzen les superfícies dentals amb la finalitat de determinar evidències de desgast extramasticatori no hi ha uns paràmetres preestablerts en qüestions tals com els augments en què s'han de prendre les fotografies.¹⁵ Aquestes s'han obtingut amb un rang d'augments que oscil·la entre els 50x i els 200x. La resta de paràmetres, com són el voltatge, la distància de treball i l'*spot size*, han estat els mateixos que els emprats per a l'anàlisi dels patrons de microdesgast.

Les imatges de la superfície bucal a 100x, amb unes dimensions de 1.024 x 832 píxels, foren tractades amb Gimp per tal de millorar-ne el contrast i facilitar l'observació de les estries.¹⁶ La determinació del patró de microdesgast a la superfície bucal es basa en el recompte del nombre total d'estries, la seva orientació i longitud. Per tal d'estandarditzar al màxim l'àrea en què es realitza el recompte i poder comparar dades de diferents poblacions analitzades per investigadors diferents, les imatges s'han retallat a la mida de 0,56 mm² amb el programa informàtic ImageJ; a continuació s'ha comptat el nombre d'estries i se n'ha determinat la longitud i l'orientació seguint el mètode establert per Pérez-Pérez l'any 1994.¹⁷ En canvi, les imatges dels trets de desgast extramasticatori tenen com a finalitat realitzar una descripció morfològica, l'establiment de la seva localització exacta a les superfícies dentals i

11 PÉREZ-PÉREZ *et al.* 1994; ROMERO *et al.* 2012.

12 LOZANO *et al.* 2008; LOZANO *et al.* 2017.

13 GALBANY *et al.* 2004: 6-10.

14 PÉREZ-PÉREZ *et al.* 1994: 177.

15 LOZANO *et al.* 2017.

16 GALBANY *et al.* 2004: 10.

17 PÉREZ-PÉREZ *et al.* 1994: 179.

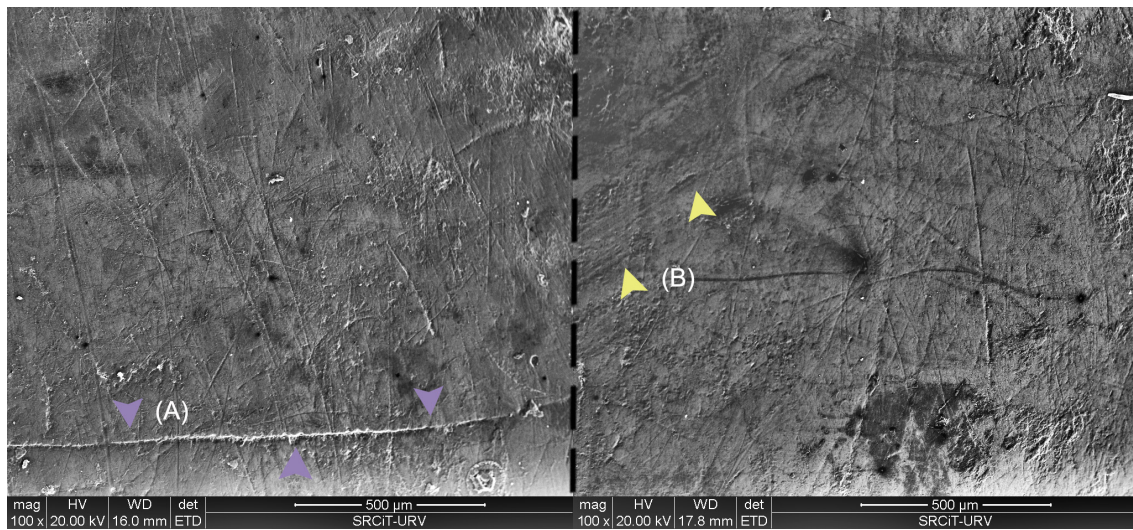


Figura 4. Imatges de microscòpia electrònica de rastreig (a 100x) de les superfícies bucal d'un primer i un segon molars superiors esquerres de l'individu 1, amb l'esmalt de la superfície bucal mal conservat. A i B: estries d'origen tafonòmic. (Autora: Raquel Hernando)

la presa de dimensions per tal d'establir un possible ús de la dentició com a tercera mà.

RESULTATS

Les anàlisis amb microscòpia electrònica van posar de manifest que tant els molars com la dentició anterior d'ambdós individus presenten evidents alteracions tafonòmiques i postdeposicionals que n'afecten la preservació i, per tant, dificulten la correcta observació dels trets de microdesgast. En el cas del microdesgast dental per inferir-ne la dieta, no ha estat possible aplicar la metodologia establerta, ja que, encara que s'observen estries molt possiblement causades pels aliments ingerits, la gran majoria són d'origen tafonòmic, la qual cosa emmascara les estries *ante mortem*. Aquestes estries, assenyalades amb fletxes en la figura 4, es caracteritzen per ser estries amb límits abruptes (fig. 4.A) o, en altres casos, es presenten en forma d'estries paral·leles que podrien haver estat causades per moviments de sediment postdeposicionals (fig. 4.B). En la dentició anterior, també s'hi han identificat alteracions d'origen postdeposicional, com la presència d'esquerdes i clivelles a l'esmalt. No obstant això, en aquest cas s'ha pogut realitzar correctament l'observació per determinar la presència o absència d'aquests trets de desgast relacionats amb l'ús extramasticatori de la dentició, ja que aquests

trets són de dimensions més grans que les estries associades a la dieta, i els efectes de les alteracions tafonòmiques són menors.¹⁸

Malgrat que no ha estat possible inferir-ne patrons de microdesgast relacionats amb la dieta, l'observació i l'anàlisi amb microscòpia electrònica han permès establir la presència de periquematies a l'esmalt dental. Les periquematies són les línies de creixement que es poden veure a la superfície de l'esmalt i que es disposen envoltant la corona dental en intervals que reflecteixen la periodicitat de la formació d'aquest teixit dental. Aquestes línies apareixen més separades als terços oclusal i central de la corona, i solen estar més imbricades i juntes a la zona cervical.¹⁹ Les periquematies ens aporten informació sobre els primers períodes de desenvolupament de l'individu, especialment quan les dents s'estan desenvolupant. La formació dels teixits dentals és molt sensible a qualsevol situació d'estrès —tant com a conseqüència de malaltia com per problemes nutricionals— que pugui afectar l'individu, i deixa evidències en l'esmalt en formació. Una de les més comunes és la hipoplàsia d'esmalt.²⁰ Les periquematies es poden observar fàcilment a les dents acabades d'emergir dels individus infantils i juvenils, però són cada vegada més difícils de percebre en individus adults. La presència de periquematies ben visibles a les corones dentals de l'in-

18 LOZANO *et al.* 2008

19 LALUEZA – CHIMENOS 1993: 105; HILLSON 1996: 161-163.

20 TRANCHO – ROBLEDO 2002: 153-172.

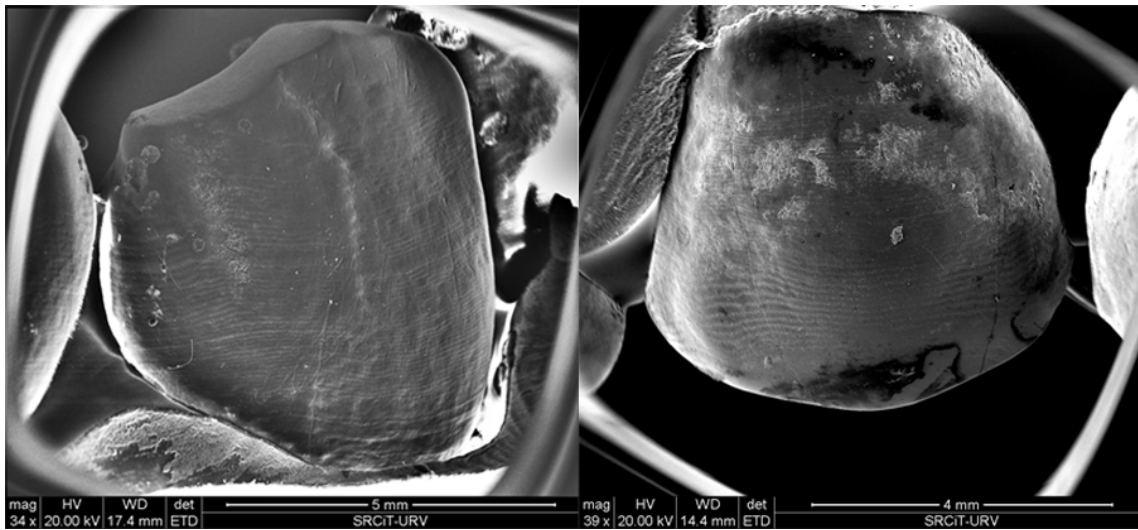


Figura 5. Periquematies a la superfície vestibular d'una canina inferior dreta i d'un segon premolar superior esquerre de l'individu 2. Imatges realitzades amb microscòpia electrònica de rastreig, a 34x i 39x augments respectivament. (Autora: Raquel Hernando)

dividu 2 del Camp de la Bruna corrobora una edat juvenil (fig. 5).

Tot i que la mala conservació de l'esmalt dental a nivell microscòpic no ens ha permès inferir-ne patrons de microdesgast dental relacionats amb la dieta, hem pogut obtenir informació d'aquest particular a través de l'anàlisi del macrodesgast dental de les superfícies oclusals. En primer lloc, l'edat juvenil de l'individu 2 queda contrastada basant-nos en la poca exposició de dentina a la superfície oclusal de les dents. Seguint l'escala proposada per Smith²¹ per avaluar el macrodesgast oclusal, el grau de desgast d'aquests individus es correspondria amb els nivells 2 o 3, caracteritzats per petits solcs de dentina exposada a les incisives, mentre que a les canines i als premolars, s'hi entreveuen petits punts d'exposició de dentina. Les dents amb una exposició de dentina més evident, encara que moderada, són els primers molars, amb tres punts d'exposició que es corresponen amb la part bucal dels molars inferiors i la part lingual dels molars del maxil·lar.²² L'escassa presència de dentina oclusal, conjuntament amb l'emergència recent dels tercers molars, ens corrobora l'edat juvenil d'un dels individus analitzats i l'assignació com a adult jove de l'altre.

Un cop determinada l'edat dels individus, s'ha pogut aplicar la metodologia de Deter,²³ que associa el macrodesgast amb el tipus de dieta. A les figures 2 i 3, podem veure-hi l'exposició de dentina present en cada dent analitzada dels dos individus. Després de calcular el percentatge de dentina exposada en els individus del Camp de la Bruna, s'ha comparat amb altres poblacions arqueològiques d'humans moderns, que es divideixen en dos amplis grups: caçadors-recol·lectors i agricultors de l'Amèrica del Nord.²⁴ A la gràfica de la figura 6, s'hi pot observar el poc grau de desgast d'ambdós individus; en destaca la tendència global que el primer molar sigui la dent de la dentició permanent amb major desgast. Aquest fet no està causat per la dieta, sinó per una condició biològica com és que el primer molar sigui una de les primeres dents permanents a emergir i que, per tant, portin més temps essent funcionals i desgastant-se pel seu ús.

Les anàlisis de les dents anteriors d'ambdós individus no han aportat evidències d'ús extramasticatori de la dentició, encara que s'han identificat trets de desgast, com estries i depressions a les superfícies incisives d'incisives i canines, relacionats amb la fase de preparació i ingestió dels aliments abans de ser mastegats amb la dentició posterior. També s'han identificat algunes estelles d'esmalt en

21 SMITH 1984: 45-46.

22 SMITH 1984: 45-46.

23 DETER 2009: 250.

24 DETER 2009: 248.

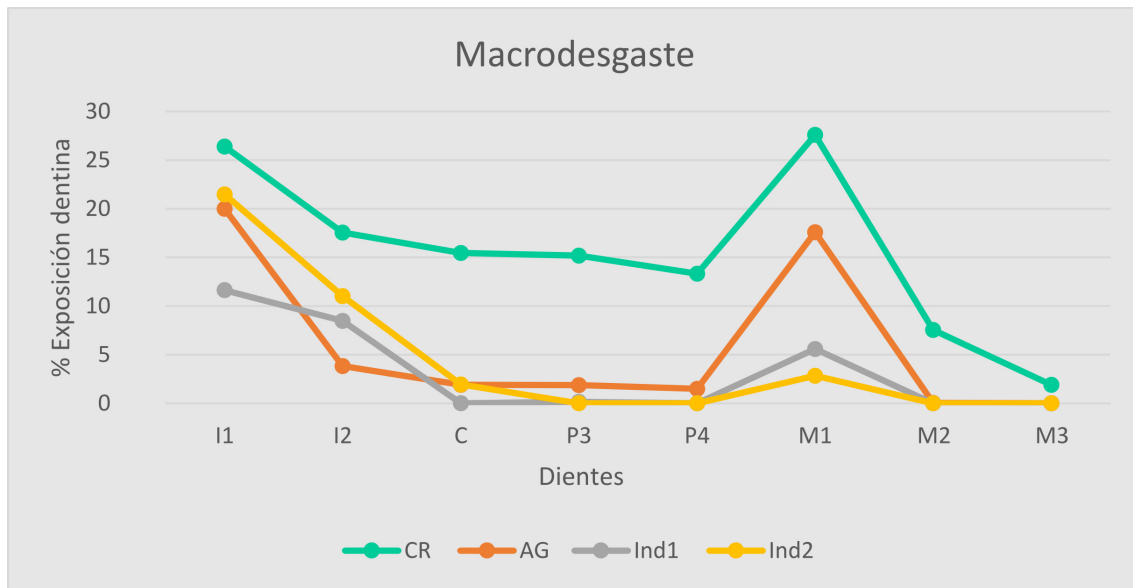


Figura 6. Gràfica de comparació de macrodesgast. CR: caçadors-recol·lectors; AG: agricultors; Ind1: individu 1 del Camp de la Bruna; Ind2: individu 2 del Camp de la Bruna. (Autora: Raquel Hernando)

les àrees de contacte entre dents adjacents i a la vora oclusal d'incisives i canines (fig. 7).

DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

L'edat juvenil de l'individu 2, així com les alteracions de l'esmalt dental a nivell microscòpic de l'individu 1, no ha fet possible obtenir dades precises sobre el patró de microdesgast dental. No obstant això, aquesta escassa informació microscòpica s'ha pogut compensar amb les dades obtingudes amb el macrodesgast dental. D'altra banda, s'ha pogut contrastar l'edat de mort de l'individu 2 amb evidències, com la presència de periquematis visibles a la superfície vestibular i l'escàs grau de desgast oclusal. En el cas de l'individu 1, s'ha establert com a pertanyent a la categoria d'adult jove amb una edat de mort entorn dels 30 anys, degut al desgast oclusal més acusat respecte de l'individu 2.

Centrant-nos en les dades del macrodesgast, podem inferir-ne que la dieta d'aquests individus devia ser molt més similar a la dels adults joves de poblacions agricultores que a la dels adults joves de les caçadores-recol·lectores,²⁵ tal com es mostra

a la gràfica de la figura 6. Tenint en compte que la datació del jaciment del Camp de la Bruna s'enquadra en el neolític mitjà (5060 ± 30 BP; 4980 ± 30 BP), etapa en què les poblacions tenien un estil de vida vinculat amb l'agricultura i la ramaderia, aquest resultat és plenament coherent. Investigacions de microdesgast dental d'individus procedents d'altres jaciments de cronologia similar²⁶ han posat de manifest que la dieta d'aquest tipus de poblacions es caracteritzava per ser mixta, amb consum de cereals i de productes carnis; una dieta que, a escala general, és menys abrasiva que la de les poblacions de caçadors-recol·lectors. El descens generalitzat en el grau d'exposició de dentina a les poblacions agricultores pot ser degut a un canvi no tant en el tipus d'aliment, sinó en el processament dels aliments previ a la ingestió. És a dir, l'ús de molins de mà per moldre els cereals i de recipients ceràmics per cuinar fa que aquests aliments siguin més tous i més fàcils de mastegar i, per tant, menys abrasius.²⁷ Aquest fet queda reflectit en el microdesgast de les dents anteriors, en què l'escàs nombre d'estries i de depressions identificades està en consonància amb una dieta tova i relativament poc abrasiva, que ne-

25 DETER 2009: 248.

26 JAROSOVÁ 2008; ALROUSAN 2009: 185.

27 POLO-CERDÀ *et al.* 2007: 305; MOLLESON *et al.* 1993: 464-466.

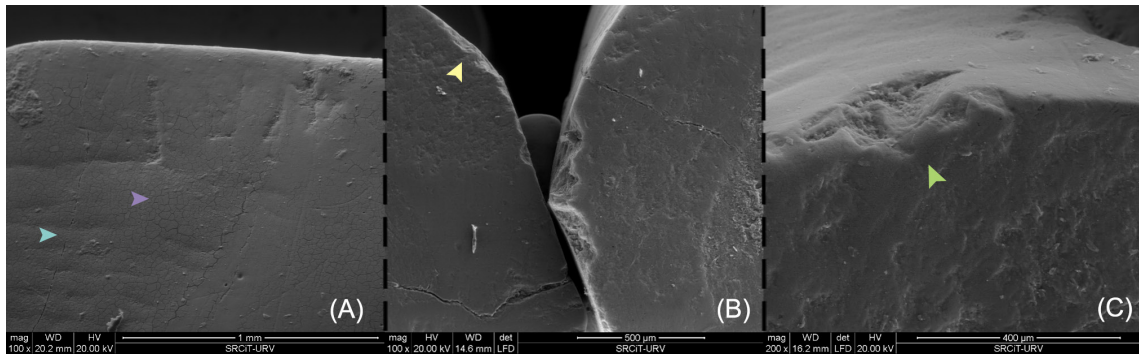


Figura 7. Imatges de microscòpia electrònica de la dentició anterior. A: esmalt clivellat (fletxa morada) i esquerdes postdeposicionals (fletxa blava) a l'esmalt de la superfície vestibular d'una incisiva inferior de l'individu 1; B: petites zones sense esmalt (estelles) a les superfícies incisives d'una primera incisiva inferior (fletxa groga) i d'una segona de l'individu 2; C: estella d'esmalt al terç incisiu d'una segona incisiva inferior de l'individu 2. També s'aprecien petites depressions o clots a l'esmalt de la superfície incisiva. (Autora: Marina Lozano)

cessitava una escassa intervenció de les incisives i les canines per a la seva ingesta. Malgrat això, de manera ocasional, podien manipular o mastegar algun aliment de duresa més gran, que els va ocasionar la pèrdua de petits fragments d'esmalt a la vora incisiva d'algunes dents anteriors (fig. 7).

Un aspecte relacionat amb el mastegament, i que destaca de l'individu 1, és l'exposició de dentina més pronunciada a les dents del costat esquerre, tant al maxil·lar com a la mandíbula, que en les del dret (fig. 2). Això permet inferir una clara preferència per mastegar amb el costat esquerre en comparació amb el dret. Aquest tipus de lateralització

del mastegament és molt comuna, i en resulta un desgast oclusal lleugerament diferent entre ambdós costats de les arcades dentals.

En conclusió, l'anàlisi del desgast dental d'aquests dos individus ens permet proposar un tipus de dieta mixta poc abrasiva en comparació amb altres grups prehistòrics. Fins i tot dins dels grups de ramaders i agricultors juvenils de les mostres de comparació, els individus del Camp de la Bruna tindrien un grau de desgast molt baix i, per tant, haurien consumit aliments poc abrasius per a l'esmalt dental.

	Costat	Individu 1	Individu 2
Mandíbula	Dret	I1,I2,C,P3,P4,M1,M2,M3	I1,I2,C,P3,P4,M1,M2,M3*
	Esquerre	I1,I2,C,P3,P4,M1,M2, M3	I1,I2,C,P3,P4,M1,M2,M3*
Maxil·la	Dret	I1,I2,C,**P3,P4,M1,M2,M3	I2,C,P3,P4,M1,M2
	Esquerre	I1,I2,C,**P3,P4,M1,M2	I1,I2,C,P3,P4,M1,M2

Taula 1. Fórmula dentària dels dos individus. * M3 gèrmens dentals no emergits; ** malgrat que la dentició anterior superior de l'Individu 1 està conservada, no s'ha analitzat amb microscòpia electrònica de rastreig.

Adults joves		I1	I2	C	P1	P2	M1	M2	M3
Caçadors-recol·lectors	Mean	26,38	17,55	15,47	15,20	13,32	27,59	7,54	1,90
	SD	21,67	17,28	15,56	17,10	19,22	21,94	13,19	7,38
	N	67	65	65	65	68	66	64	43
Agricultors	Mean	20,00	3,83	1,91	1,88	1,50	17,60	0,05	0,00
	SD	9,55	3,88	2,90	1,83	0,92	9,07	0,66	0,00
	N	16	18	19	15	14	16	13	5
INDIVIDU 1	Mean	11,63	8,49	0,00	0,15	0,00	5,60	0,00	0,00
INDIVIDU 2	Mean	21,47	11,01	1,93	0,00	0,00	2,84	0,00	NA

Taula 2. Dades de Deter (2009) –de poblacions juvenils– i dades del jaciment del Camp de la Bruna. Mean: mitjana; SD: desviació estàndard; N: nombre total.

BIBLIOGRAFIA

- ALROUSAN 2009
M. F. ALROUSAN, *The Neolithic-Mesolithic transition in the Near East. Biological implications of the shift in subsistence strategies through the analysis of dental morphology and dietary habits of human populations in the Mediterranean area, 12,000 - 5,000 B.P.*, tesi, Barcelona, Universitat de Barcelona.
- DETER 2009
C. A. DETER, «Gradients of occlusal wear in hunter-gatherers and agriculturalists», *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, vol. 138, núm. 3, p. 247-254.
- GALBANY *et al.* 2004
J. GALBANY, L. MARTÍNEZ i A. PÉREZ-PÉREZ, «Tooth replication techniques, SEM imaging and microwear analysis in primates: methodological obstacles», *Anthropologie (1962)*, vol. 42, núm. 1, p. 5-12.
- GORDON 1988
K. D. GORDON, «A review of methodology and quantification in dental microwear analysis», *Scanning Microscopy*, vol. 2, núm. 2, p. 1139-1147.
- GRINE 1986
F. E. GRINE, «Dental evidence for dietary differences in Australopithecus and Paranthropus: a quantitative analysis of permanent molar microwear», *Journal of Human Evolution*, vol. 15, núm. 8, p. 783-822.
- HILLSON 1996
S. HILLSON, *Dental anthropology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- JAROSOVÁ 2008
I. JAROSOVÁ, «Dietary inferences using buccal microwear analysis on the LBK population from Vedrovice, Czech Republic», *Anthropologie*, vol. 46, núm. 2/3, p. 175-184.
- LALUEZA – CHIMENOS 1993
C. LALUEZA FOX i E. CHIMENOS KÜSTNER, «Relación entre las periquimatías y el poder abrasivo de la dieta, en individuos medievales», *Avances en Odontostomatología*, vol. 9, núm. 2, p. 105-109.
- LOZANO *et al.* 2008
M. LOZANO *et al.*, «Non-masticatory uses of anterior teeth of Sima de los Huesos individuals (Sierra de Atapuerca, Spain)», *Journal of Human Evolution*, vol. 55, núm. 4, p. 713-728.
- LOZANO *et al.* 2017
M. LOZANO *et al.*, «Diachronic analysis of cultural dental wear at the Atapuerca sites (Spain)», *Quaternary International*, vol. 433, p. 243-250.
- MOLLESON *et al.* 1993
T. MOLLESON, K. JONES i S. JONES, «Dietary change and the effects of food preparation on microwear patterns in the Late Neolithic of Abu Hureyra, northern Syria», *Journal of Human Evolution*, vol. 24, núm. 6, p. 455-468.
- PÉREZ-PÉREZ *et al.* 1994
A. PÉREZ-PÉREZ, C. LALUEZA i D. TURBÓN, «Intraindividual and intragroup variability of buccal tooth striation pattern», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 94, núm. 2, p. 175-187.
- POLO-CERDÀ *et al.* 2007
M. POLO-CERDÀ *et al.*, «The Bronze Age burials from Cova dels Blaus (Vall d'Uixó, Castelló, Spain): An approach to palaeodietary reconstruction through dental pathology, occlusal wear and buccal microwear patterns», *Homo*, vol. 58, núm. 4, p. 297-307.
- ROMERO *et al.* 2004
A. ROMERO, N. MARTÍNEZ-RUIZ i J. DE JUAN, «Non-occlusal dental microwear in a Bronze-Age human sample from East Spain», *Anthropologie (1962)*, vol. 42, núm. 1, p. 65-70.
- ROMERO *et al.* 2012
A. ROMERO *et al.*, «Brief communication: short-and long-term in vivo human buccal-dental microwear turnover», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 148, núm. 3, p. 467-472.
- RUEDEN *et al.* 2017
C. RUEDEN *et al.*, «ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data», *BMC Bioinformatics*, vol. 18, núm. 1, p. 529.
- SMITH 1984
H. B. SMITH, «Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturalists», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 63, núm. 1, p. 39-55.
- TEAFORD – LYTLE 1996
M. F. TEAFORD i J. D. LYTLE, «Brief communication: Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: A case study involving stone-ground maize», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 100, núm. 1, p. 143-147.
- TEAFORD – WALKER 1984
M. F. TEAFORD i A. WALKER, «Quantitative differences in dental microwear between primate species with different diets and a comment on the presumed diet of Sivapithecus», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 64, núm. 2, p. 191-200.
- TRANCHO – ROBLEDO 2002
G. J. TRANCHO i B. ROBLEDO, «Datos culturales y nutricionales aportados por los dientes», dins B. Perea *et al.* (ed.), *Antropología y paleopatología dentarias*, Madrid, Mapfre, p. 151-212.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Quaternary International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quaint



Gigapixel-like imaging strategies for dental anthropology: Applications for scientific communication and training in digital image analysis



John C. Willman^{a,b,c,*}, Marina Lozano^{b,c}, Raquel Hernando^{c,b}, Josep Maria Vergès^{b,c}

^a Laboratory of Prehistory, CIAS – Research Centre for Anthropology and Health, Department of Life Sciences, University of Coimbra, 3000-456, Coimbra, Portugal

^b IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, 43007, Tarragona, Spain

^c Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), 43002, Tarragona, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Scanning electron microscopy
Photomosaic
Extended focus
El Mirador cave
Dental wear
Cingular continuous lesion

ABSTRACT

Gigapixel and gigapixel-like (GPL) imaging strategies are a powerful means of communicating scientific results of visual observations in academic and public spheres. GPL images are made from a photomosaic of multiple, adjacent extended focus images, which allows users to “pan and zoom” across a surface to document or analyze specific features. Microscopic approaches using GPL imaging strategies are gaining popularity in use-wear analyses of lithics and bone implements but have not been applied to the study of human skeletal or dental remains. Here we present three examples of GPL imaging using scanning electron microscopy (SEM) of the dental surfaces of teeth excavated from the Chalcolithic contexts of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). Numerous common features are identifiable in the GPL examples from El Mirador Cave that include wear features (e.g., enamel chipping, labial striations), perikymata, calculus deposits, hypoplasias, and postmortem taphonomic features. One GPL example shows a less-commonly documented pair of lingual surface features (i.e., lingual surface attrition of the maxillary anterior teeth [LSAMAT] and a continuous cingular lesion [CCL]) for which co-occurrence has not been previously documented. Another example using a combination of GPL, macrophotography, and additional high magnification SEM images shows a case of chemical erosion on a labial surface of the tooth - a seldom documented form of wear in bioarchaeological contexts. This latter example also highlights the complementary nature of SEM (and GPL) with digital macrophotography for documenting dental wear features. Together, these examples illustrate the utility of GPL images of dental surfaces for didactic purposes and analysis.

1. Introduction

Dental anthropology makes considerable use of microscopic observations and analyses that include dental microwear analyses of dietary and non-dietary tooth-using behaviors (Teaford et al., 2001; Semprebon et al., 2004; Teaford, 2007; Ungar et al., 2008; Lozano et al., 2008, 2017; Romero and De Juan, 2012; Krueger, 2016; Willman, 2016, 2017; Hernando et al., 2020), anomalous features (Bondioli et al., 2012; Dori and Moggi-Cecchi, 2014); incremental growth (Guatelli-Steinberg et al., 2007; Hillson, 2014; Modesto-Mata et al., 2017), stress indicators and growth disruption (Guatelli-Steinberg et al., 2004, 2013; Hillson, 2014; McGrath et al., 2018), calculus inclusions (Power et al., 2015; Sperduti et al., 2018; Bucchi et al., 2019), and taphonomy (King et al., 1999; Martínez and Pérez-Pérez, 2004) among many other topics. An historical emphasis and continued use of optical light microscopy and scanning electron microscopy (SEM) in dental anthropology has

expanded to include other microscopic imaging technologies such as white light confocal microscopy (Teaford, 2007; Ungar et al., 2008; Schmidt et al., 2019; Ungar, 2019) and 3D microscopy (Hillson et al., 2010; Bello, 2011). However, optical light microscopy (*sensu lato*) and SEM are still powerful tools for the rapid data collection for some dental features, and the visualization of others, in addition to being more widely available to researchers compared to some forms of microscopy (e.g., confocal and Focus Variation Microscopy that allow 3D reconstruction). However, there are some shortcomings associated with optical light microscopy and SEM in dental anthropology. For instance, two-dimensional images of three-dimensional surfaces can leave some aspects of an image out of focus or distorted – an issue that was particularly prevalent in the transition from SEM-based microwear analyses to the use of confocal microscopy and scale-sensitive fractal analysis for dental microwear texture analysis (Ungar et al., 2008; Hernando et al., *this issue*). Another issue occurs when features of

* Corresponding author. Laboratory of Prehistory, CIAS – Research Centre for Anthropology and Health, Department of Life Sciences, University of Coimbra, 3000-456, Coimbra, Portugal.

E-mail address: john.willman@uc.pt (J.C. Willman).

<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.027>

Received 10 January 2020; Received in revised form 12 May 2020; Accepted 13 May 2020

Available online 07 June 2020

1040-6182/ © 2020 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

interest (e.g., instrumental striations or perikymata along an entire labial/buccal surface) can be larger than the entire field of view when using high magnification. These issues and others mean that researchers often negotiate between magnification, depth of field, and field of view. Stitching adjacent images into mosaic or composite images is a common way of dealing with issues of magnification versus field of view (e.g., Ryan and Johanson, 1989; Egocheaga et al., 2004; Guatelli-Steinberg and Reid, 2010; Hillson et al., 2010; Willoughby et al., 2018), and the use of focus-stacking to create extended focus images can deal with depth of field issues (e.g., Willman et al., 2019). However, changing microscope settings during the acquisition of a series of images that will be stitched together to form a mosaic, often contributes to final a mosaic with less than seamless blending. Furthermore, depth of field is generally not reasonably dealt with when subjects in an image are not flat, leaving aspects of mosaics out of focus and further contributing to poorly blended composite images.

With these issues in mind, we describe a microscopic approach that uses focus-stacking (extended focus images) and panoramic stitching to create mosaic images with high depth of field using SEM. This “gigapixel-like” (GPL) imaging strategy (Vergès and Morales, 2014) can be used to create multiscale, high-resolution images of entire, or partial, dental surfaces that can be viewed from a field of view that encompasses an entire surface to high magnification views of dental microstructure, microwear, taphonomic features, among other features. The strict definition of gigapixel images states that they are bitmap images containing at least one billion pixels, but many are simply large mosaics of high-resolution digital photographs (Vergès and Morales, 2014). The term “gigapixel-like” is used to denote that the gigapixel concept is employed, but a smaller number of pixels are generally used in contrast to traditional gigapixel images. Gigapixel and GPL images are not only useful for analysis, but also for scientific communication, publication, and training researchers (Louw and Crowley, 2013; Vergès and Morales, 2014). Gigapixel and GPL images are highly interactive, social, and participatory – characteristics that are ideal for teaching and communicating scientific results with the public (Louw and Crowley, 2013). Web-based viewers are available to publish GPL images online (Louw and Crowley, 2013; Vergès and Morales, 2014), and the original images can be included as data supplements to research articles to allow other researchers to reconstruct GPL images or independently verify results (Vergès and Morales, 2014).

The utility of gigapixel and GPL strategies for imaging petroglyphs (Louw and Crowley, 2013), shale microstructure (Fauchille et al., 2018), entomological specimens (Holovachov et al., 2014), and other subjects has been explored. Archaeological applications of GPL strategies have explored lithic use-wear with SEM (Vergès and Morales, 2014) and reflected light microscopy for lithic use-wear (Fernández-Marchena et al., 2016) and retouch modifications from bone instruments (Mateo-Lomba et al., 2019). The present study concentrates on examples of macro- to microscopic features on dental tissues using SEM as a means of creating multi-scale mosaic images for didactic purposes ranging from scientific publication to teaching and outreach. Through improved teaching and communication of scientific results, GPL imaging strategies can help reduce inter- and intraobserver identification error, provide a cost-effective means for initial observational training before transitioning to data acquisition with a microscope, and improve scientific communication in professional and public spheres.

2. Materials and methods

Examples for the present study are derived from the site of El Mirador Cave (Ibeas de Juarros, Burgos), on the southern slope of the Sierra de Atapuerca, where systematic excavations are ongoing since the 1999 (Vergès et al., 2002, 2008, 2016). The human remains studied here come from Chalcolithic burial context dating between 4000 ± 30 BP (4550-4390 cal. BP) and 4120 ± 30 BP (4880-4480 cal. BP) (Vergès et al., 2016). The dentitions from the site were the subject of

previous analyses of non-alimentary uses of the anterior dentition (Lozano et al., 2017), buccal and occlusal microwear of the deciduous teeth of children (Hernando et al., 2020), morphological trait variation and pathology (Ceperuelo et al., 2015), root canal morphology (Ceperuelo et al., 2014), incremental growth analyses (Modesto-Mata et al., 2017), and microfossils in dental calculus (Bucchi et al., 2019).

Three anterior teeth were chosen for GPL image construction using two different surfaces: the labial surface of a left mandibular lateral incisor (I₂), the lingual surface of a right maxillary central incisor (I¹), and the labial surface of another right I¹. One of us (JCW) is currently analyzing variation in anterior dental wear features for the El Mirador collection, and chose the three examples used here on the basis of observations made macroscopically and with low magnification (~3x headset magnifier with LED light source). The intent was to choose teeth with a variety of wear and morphological features that could be used for didactic purposes. In particular, the examples explore GPL construction with teeth of different size (I¹ and I₂), and the complexity of the surface (relatively smooth labial versus rugose lingual). Enamel surfaces were gently cleaned with alcohol and cotton applicators prior to visualization using an environmental scanning electron microscope (ESEM: FEI Quanta 600) in low vacuum mode.

SEM working distance was variable throughout analyses to collect image stacks for the creation of extended focus images. Working distance was between 10 and 20 mm for the entirety of each image acquisition period. All other SEM parameters (brightness, contrast, stage tilt, etc.) were held constant during image acquisition (Vergès and Morales, 2014). Each tooth surface was oriented as close to horizontal with respect to the detector as possible to reduce the number of images needed for each extended focus image set. Accelerating voltage was set at 20 kV.

The number of micrographs taken at each position on the tooth varied based on the local depth of field. For example, in labial view, the mesial and distal edges of the tooth and root have greater depth of field than the center of the labial surface, which requires more images (e.g., about five to eight) in the former compared to the latter cases (e.g., about two to four). As working distance is adjusted to achieve a focus stack set for an extended focus image, it is better to take too many images than too few. Those images that are too out of focus to be included in an extended focus image stack can be removed later (see **Supplemental Data**). After completing an image set at one location, move to an adjacent area on the same tooth taking care to overlap with the previous focus stack by ~20–25% to ensure adequate photomerging later in the process (Vergès and Morales, 2014).

The creation of extended focus images from a stack of images can be accomplished using a variety of free software options such as Hugin (<http://hugin.sourceforge.net/>) and ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/>), or other subscription-based services like Adobe Photoshop CS6 or Helicon Focus (Helicon Soft Ltd.). Likewise, the same software packages and others (e.g., Microsoft Image Composite Editor [also freely available]: <https://www.microsoft.com/en-us/research/product/computational-photography-applications/image-composite-editor/>) can be used to stitch and merge the extended focus images into a photomosaic. The present analysis uses Photoshop CS6 and Microsoft ICE for the creation of GPL images. Guidelines outlining the full process for creating a GPL image is explained in a tutorial in the open access Supplemental Data.

3. Results

3.1. Example 1 – Labial surface of a left I₂

The labial incisor surface of ATA09-MIR201-REM-489, a left I₂, provides a number features to be explored with GPL panning and zooming (Fig. 1). A series of enamel chips of small to medium size (grades 1 and 2: Bonfiglioli et al., 2004) present well-worn edges indicating an antemortem origin (Scott and Winn, 2011). Microstriations are also visible across the labio-occlusal edge and labial surface, as well

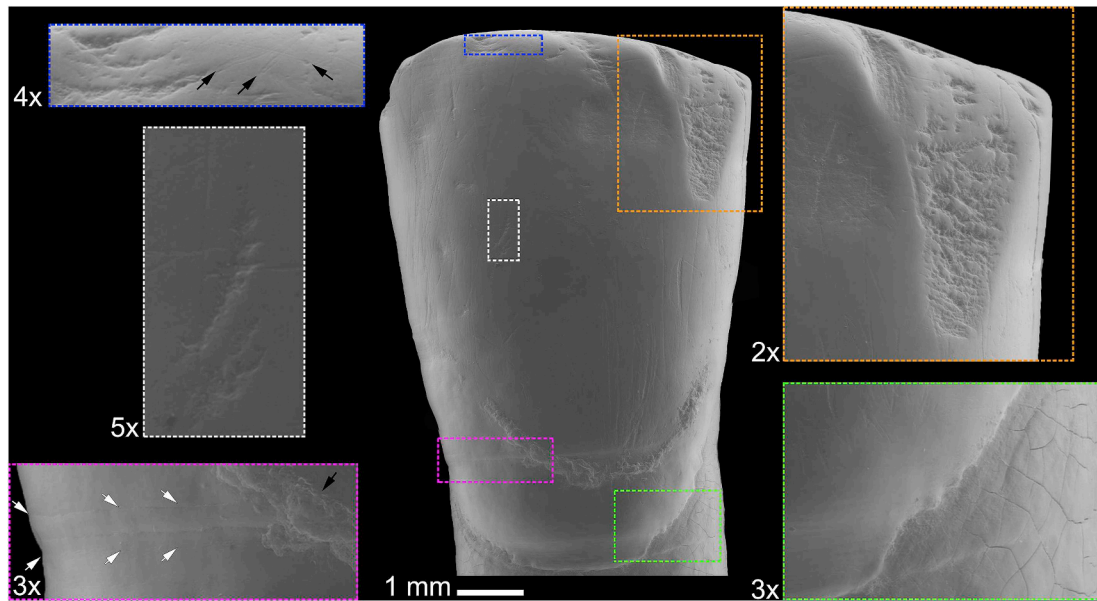


Fig. 1. Gigapixel-like (GPL) image of the labial surface of ATA09-MIR201-REM-489, a left I_2 , from El Mirador Cave with 1 mm scale (center) and call-out boxes features surfaces details under various magnifications. Number next to each call-out box indicates the magnification used relative to the complete GPL image. Descriptions proceed clockwise from upper right corner. *Orange rectangle*: Medium size antemortem enamel chip with well-worn margins. *Green rectangle*: Detail of cemento-enamel junction and root surface. Subtle perikymata (bottom left quadrant) and striations (upper left quadrant) are visible on the enamel. Subtle postmortem cracking of root surface also evident. *Magenta rectangle*: Detail of furrow-form hypoplasia with clearly visible perikymata (between white arrows). Black arrow points to dental calculus deposit. *White rectangle*: Detail of instrumental striation with a right oblique orientation. *Blue rectangle*: arrows indicate microstriations on labio-incisal edge and a well-worn, but small, antemortem enamel chip to the left of the image. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

as right-oblique instrumental striations that suggest the individual performed certain non-alimentary behaviors with the right hand (Bermúdez de Castro et al., 1988). Some perikymata can be seen in addition to a furrow-form hypoplasia. A small deposit of calculus (grade 1: Brothwell, 1981) is present in the cervical third of the labial surface. Subtle postdepositional cracking of the root surface is also easily visualized. While not an exhaustive list of features present on the surface, these few examples show the utility of panning and zooming with a GPL image for the visualization of microscopic features on dental surfaces.

3.2. Example 2 – Lingual surface of a right I^1

The lingual surface of ATA12-MIR201-S36-69, a right I^1 (Fig. 2), is particularly interesting with respect to behavioral reconstruction. The tooth exhibits lingual surface attrition of the maxillary anterior teeth (LSAMAT: Turner and Machado, 1983) involving the enamel and exposing dentin in the cervical third of the lingual surface (grade 2: Tanga et al., 2016). A faint continuous cingular lesion (CCL: Dori and Moggi-Cecchi, 2014; Carrasco et al., 2017; Marado et al., 2017) is also present. While the exact aetiology of CCL is poorly understood, the lesions are probably due to erosion (Dori and Moggi-Cecchi, 2014; Carrasco et al., 2017), although some hypothesize that they are related to abrasive wear from non-alimentary behaviors like fiber or cordage processing (Marado et al., 2017). The lack of localized striations on the CCL suggests an erosive origin in this case. However, the co-occurrence of CCL and LSAMAT has not been previously documented and may indicate that both abrasive and erosive behaviors are contributing to this unique combination of wear features. Multiple antemortem enamel chips are present (grades 1 and 2). Postdepositional cracking and splitting of enamel and dentin is also visible.

3.3. Example 3 – Labial surface of a right I^1

The labial surface of ATA-MIR201-S36-68, a right I^1 (Fig. 3), also exhibits features of interest for behavioral reconstruction. The color

macrograph shows appreciably darker enamel in the middle third of the crown compared to areas immediately surrounding it. The darker color and localized dullness of enamel indicates some thinning of the overlying enamel. These characteristics are commonly associated with erosive wear in clinical studies (Johansson et al., 1996, 2012; Ganss and Lussi, 2014), but erosion is rarely documented in archaeological materials (reviewed in: Coupal and Sołtysiak, 2017). A GPL image was made to transect the lesion to further explore the microscopic wear patterning (Fig. 3).

The cervical-most portion of the GPL image shows a lack of striations, well-preserved enamel lacking striations, and a calculus deposit. Just below the calculus deposit, moving toward the incisal surface, there is a heavy concentration of striations with predominately horizontal to slight right-oblique orientation. The cervical-most striations (immediately incisal to the calculus deposit) are less well-defined (shallower, narrower) than those closer to the incisal edge which are wide with greater rounding of their borders. The cervical to incisal patterning of striations corresponds closely to the color/luster gradient seen in the macrophotograph – the areas of “bright” and well-preserved enamel have more well-defined striations whereas the striations overlying the darkest/dullest enamel are poorly defined. A micrograph (not used for the construction of the GPL image of this tooth) was taken at higher magnification (300x) to obtain details of suspected erosion (Fig. 4).

The higher magnification detail (Fig. 4) of the dark and dull enamel surface shows the characteristic “honeycomb” pattern of prism exposure caused by chemical erosion. Coupal and Sołtysiak (2017) suggest using magnification of 300x to observe chemically eroded surfaces. However, we note here that it is more important to include a scale bar or an indication of the horizontal field of view in a micrograph than relying on magnification alone (Borel et al., 2014; Martín-Viveros and Ollé, 2020; Hernando et al., this issue). Nevertheless, erosion and instrumental striations are evident on the middle third of the labial face (Fig. 4).

The complementary use of SEM and optical light microscopy for studying use-wear and residues on stone tools is well-established (e.g.,

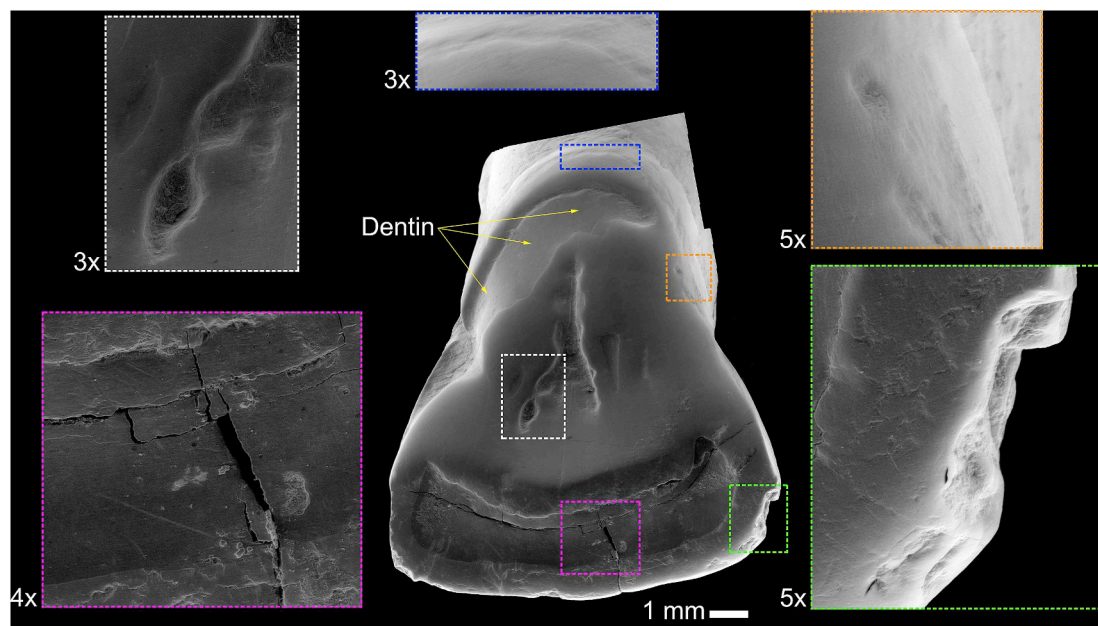


Fig. 2. Gigapixel-like (GPL) image of the lingual surface of ATA12-MIR201-S36-69, a right I¹, from El Mirador Cave with 1 mm scale (center) and call-out boxes features surfaces details under various magnifications. Number next to each call-out box indicates the magnification used relative to the complete GPL image. Descriptions proceed clockwise from upper right corner. *Orange rectangle*: Detail of the margin of a faint continuous cingular lesion (CCL). Cementoenamel junction and root surface also visible. *Green rectangle*: Detail of a medium-sized antemortem enamel chip with well-rounded edges. Occlusal edge exhibits some pitting and microstriations. *Magenta rectangle*: Detail of occlusal surface showing postdepositional cracking of dentin and enamel. *White rectangle*: Detail of portion of lingual fossa showing well-worn surface and exogenous materials in deepest recesses. *Blue rectangle*: Detail of faint CCL. *Yellow arrows*: dentin exposure characteristic of lingual surface attrition of the maxillary anterior teeth (LSAMAT). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

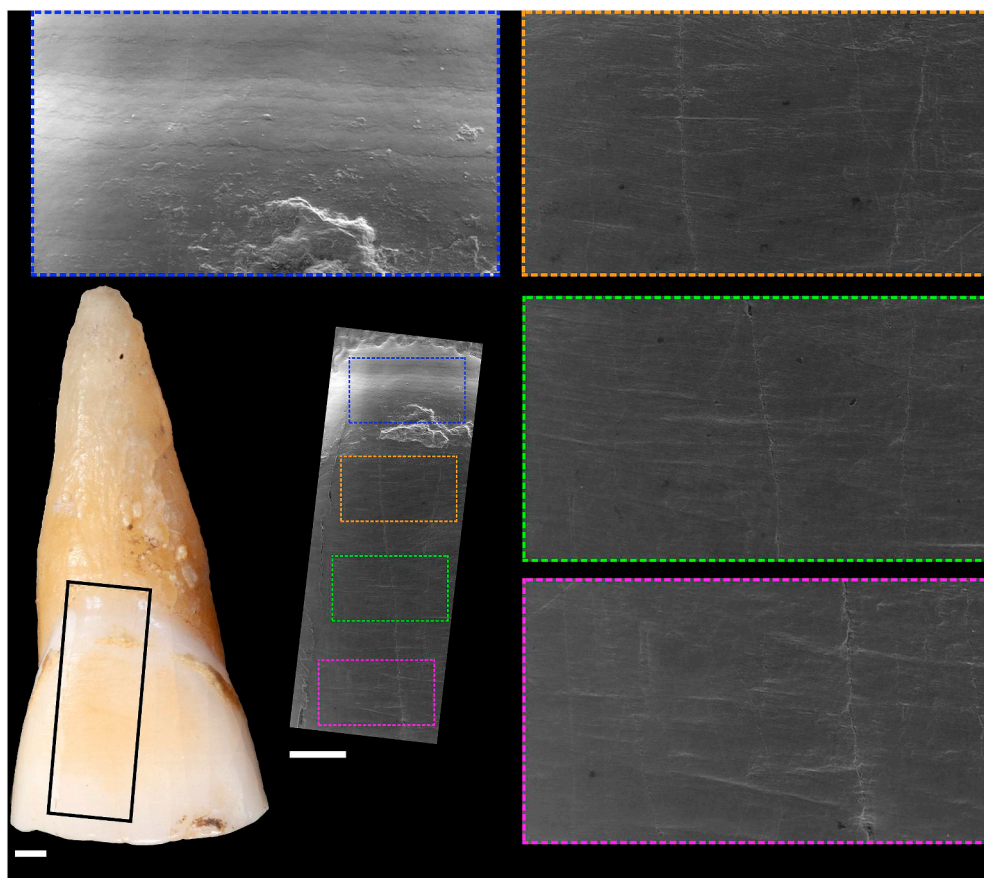


Fig. 3. Macrophotograph with call-out (black box) for gigapixel-like (GPL) image of a portion of the lingual surface of ATA-MIR201-S36-68, a right I¹, from El Mirador Cave. Scales are 1 mm. Call-out boxes with dashed borders represent 4x magnification relative to the central GPL image. Note the broad area of dull and darkened enamel in the middle third of the macrophotograph. Descriptions proceed clockwise from upper left corner. *Blue rectangle*: Detail of enamel near cervix. Large inclusion is a calculus deposit. Note a lack of striations, visible perikymata, and small flecks of calculus. *Orange rectangle*: Heavily striated surface. Striations are predominately horizontal or low-oblique angles. *Green rectangle*: Heavily striated surface. Striations are predominately horizontal or low-oblique angles. Many of the striations are wider and deeper with well-worn edges compared to example above (orange rectangle). *Magenta rectangle*: Appearance very similar to example above (green rectangle). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

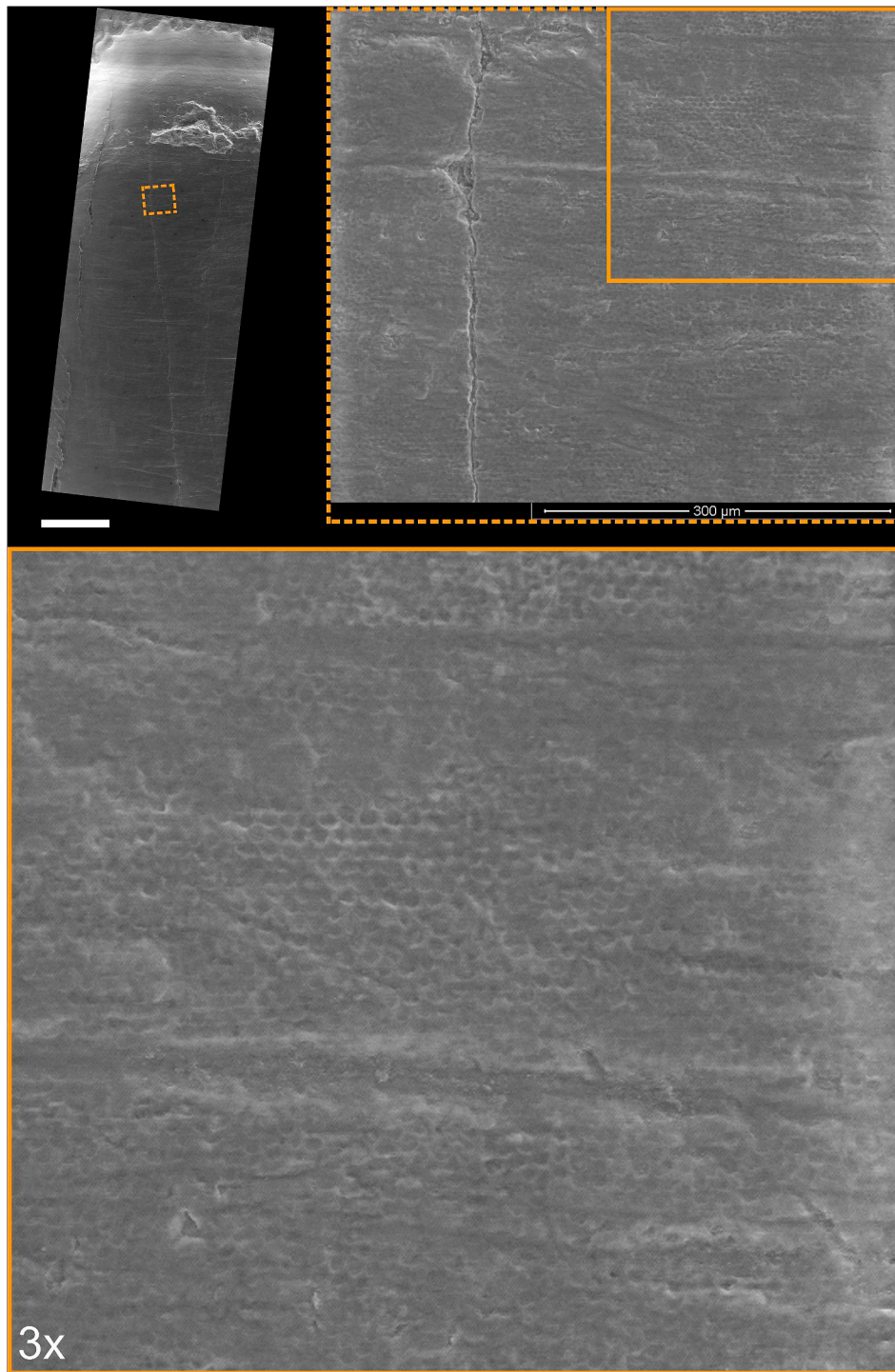


Fig. 4. Gigapixel-like (GPL) image of a portion of the labial surface of ATA-MIR201-S36-68, a right I¹, from El Mirador Cave with 1 mm scale bar. Orange dashed call-out box shows area examined at 300x magnification (with 300 μm scale bar). The solid-border call-out box indicates the area of the micrograph that is magnified 3x in the bottom image to show the characteristic “honeycomb” pattern of enamel prism erosion as well as some horizontal striations. These images were not used for the creation of the GPL image. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Borel et al., 2014; Ollé et al., 2016; Pederagnana and Ollé, 2018), and the use of optical light microscopy as an alternative to SEM for the analysis of buccal dental microwear is promising (Hernando et al., this issue). Combinations of optical and SEM observations are sometimes used to examine, describe, and visually document various dental wear features on hominin teeth (e.g., Lozano et al., 2013; Xing et al., 2017; Willman et al., 2019). These dental-based studies generally use some form of optical light microscopy (*sensu lato*), at lower low magnification

(less than 200x), in combination with SEM-based observations ranging from low to high magnification as a means of improving interpretation and visualization of various dental wear features. The combination of digital macrophotography and SEM in the present study (Fig. 3) also shows how the use of more than one visualization methodology can enhance descriptive and visual presentation of dental wear features (see also Willman, 2016; Willman et al., 2020). While digital (macro)photography is a commonly available resource for studying fossil and

subfossil human teeth, portable or tabletop optical light microscopy (*sensu lato*) may not be. The ATA-MIR201-S36-68 tooth was chosen for GPL imaging in part because of the curious enamel color (dark) and luster (dull) of the labial surface. Had the tooth simply been molded with silicone and observed as a translucent or opaque dental cast at a later date (as is common in many fossil-oriented SEM studies), the eroded surface may not have been as easily identified as interesting enough to observe at higher magnification using SEM. Therefore, we suggest that digital documentation of the original dental surfaces – either with (macro)photography or other low-magnification approaches (e.g., forms of optical light microscopy, *sensu lato*) – should be included alongside the micrographs obtained using SEM when possible in bioarchaeological and paleoanthropological investigations of human dental wear features.

As with the example of ATA09-MIR201-REM-489, the orientation of the striations probably indicates a right-handed manipulative behavior producing the striations (Bermúdez de Castro et al., 1988). The predominately horizontal orientation of the striations is similar to the pattern observed in the Mesolithic human teeth from El Collado (Oliva, Valencia, Spain) and a Neolithic individual from St. Pau (Barcelona, Spain: Lalueza-Fox, 1992). The absence of striations above the large calculus deposit, the presence of fine striations just below the calculus deposit, and the presence of wider striations with well-worn margins closer to the incisal edge is interesting. Macroscopic enamel chipping is also apparent on the incisal edge.

A repetitive manipulative behavior that avoided contact between the exogenous, manipulated material and the gingiva may explain the cervical to incisal distribution of labial surface striations and incisal chipping. However, the labial erosion is somewhat unique in the present study, given how few studies document dental erosion in archaeological contexts (e.g., Robb et al., 1991; Kieser et al., 2001; Ganss et al., 2002; Lanigan and Bartlett, 2013; Tomczyk and Zalewska, 2016; Coupal and Sołtysiak, 2017). At this point, it is unclear from a single example whether the chemical erosion, striations, and dental chipping resulted from a singular behavior or multiple distinct behaviors. However, the aetiology and prevalence of dental erosion in the El Mirador sample is beyond the scope of the present paper, and we cannot extrapolate our results for three dental surfaces to the entire dental sample. As previously noted, a complete analysis of El Mirador anterior dental wear is currently underway.

4. Discussion and conclusion

The multi-scale mosaic images of dental surfaces created here illustrate the broad applications of GPL imaging strategies for didactic purposes ranging from scientific publication, to teaching and outreach. The analysis of dental wear features, incremental growth, calculus deposits, pathology, enamel erosion, and other visually identified features commonly studied by dental anthropologists are well-suited to study and visualization using GPL imaging strategies. Furthermore, technicians can create the raw images necessary for the creation of GPL images that can then be studied and analyzed by trained observers after the acquisition process (Louw and Crowley, 2013; Louw et al., 2013; Vergès and Morales, 2014).

Museums are increasingly integrating digital content into exhibits and websites for public communication of scientific media. The proliferation of software to create Gigapixel and GPL images, has been accompanied by online hosts for sharing and annotating them (www.gigamacro.com, www.gigapan.com). The ability to “pan and zoom” with GPL images offers another way in which the public can interact with scientific content in a self-guided manner (Louw and Crowley, 2013; Louw et al., 2013). Trained researchers can identify features of interest through annotation to create “scavenger hunts” for training purposes and public interaction with GPL images. Thus, the use of GPL imaging in dental anthropology has far reaching possibilities for teaching and communication of scientific results, reducing inter- and

intraobserver identification error, providing a cost-effective means for training researchers in microscopic observational protocols, and improving scientific communication in professional and public spheres.

We intentionally focused on the use of GPL images in the present work for qualitative analyses, training, and outreach rather quantitative analyses. This is partially because several factors may introduce measurement “noise” or mask specific features in the extended focus image during the process of creating a mosaic GPL image (also see: Supplemental Data). Some factors include, but are not limited to: differences in working distance and/or number of images used in each extended focus image stack that make up a single GPL mosaic, total surface depth or surface heterogeneity of an object being analyzed, the magnification under which observations are made, and the software – and methods within each software program – used to stack and stitch images. We have addressed some of these issues here (see Supplemental Data), but it should be noted that the methodology outlined here is provided as a guideline for producing the most appropriate GPL images for the desired research, training, or outreach purposes. For example, the initial examples (Figs. 1 and 2) of whole surfaces are more likely to create distortion or mask features (especially along the edges of highly curved aspects of the tooth) compared to the relatively simple, flat GPL featured in the final example (Fig. 3). The final image (Fig. 3), is unlikely to exhibit distortion of measurements given the parameters of the software (Microsoft ICE) used to create the final GPL (see also Fernández-Marchena et al., 2016 for an similar example featuring rock crystal). In contrast, the complex shape of entire tooth surface (Figs. 1 and 2), or similar objects, may necessitate less stringent algorithms for the stitching of mosaics that impart some imperfections or distortions in a final GPL image (see Supplemental Data). The researcher must make these decisions and the accuracy of the images should be described in the text or supplemental data, or more reasonably – the raw data (original micrographs/images) should be made available (open access) so other researchers can independently assess their reliability for their purposes.

GPL will not replace the need to re-analyze dental fossil surfaces completely – especially since it represents only one form of visual documentation of a surface. While, many researchers already rely on casts to prevent unnecessary handling of original specimens (see also: Hernando et al., this issue), high-resolution GPL images of original fossils may further reduce the need for some re-analysis and handling. Furthermore, GPL images may also enhance remote collaboration between research institutions and curators while simultaneously creating materials to enhance public engagement with this form of scientific communication. Another area of potential elaboration of the GPL approach may be SEM-based microphotogrammetry (e.g., Ball et al., 2017). While this approach would require an even greater amount of uninterrupted SEM use for image acquisition, the creation of 3D models may provide an answer to some issues associated with poor image stitching, loss of resolution, or masking of features along the edges of objects with high relief that we encountered with the dental examples here.

Lastly, it is not known whether the dental wear features documented here using GPL imaging strategies are representative of the entire dental sample from El Mirador Cave, but CCL and labial erosion are seldom documented in bioarchaeological analyses of dental wear. Nevertheless, these three examples illustrate the multifactorial nature of dental wear while simultaneously illustrating the utility of GPL imaging strategies to document disparate features on dental surfaces. We also make an argument that SEM (and SEM-based GPL reconstructions) can be complimented by using optical light microscopy and/or digital (macro)photography of the original dental surfaces – a practice that is exceedingly common in microscope-based studies of archaeological material culture but less commonly employed for the analysis of human remains. We are just beginning to understand the broader geographic and temporal distributions of non-alimentary behaviors in the Holocene. GPL images offer one means of thoroughly

documenting unique forms of wear. GPL images can be downloaded and used to train other researchers in observation protocols; thus, continuing to expand the current spatiotemporal distribution and improve interpretations of these traces of past human behaviors written on the surfaces of teeth.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

We thank the Scientific and Technical Resource Service of Rovira i Virgili University in Tarragona provided access and assistance to the ESEM. This research is supported by funding from the Marie Skłodowska-Curie Actions (H2020-MSCA-IF-2016 No. 749188 and H2020-MSCA-IF-2018 No. 839822), AGAUR (Ref. 2017SGR1040) and URV (Ref. 2019PFR-URV-91) Projects, MICINN/FEDER (Ref. PGC2018-093925-B-C32), and URV Martí-Franquès Research Grant (URV-2019PMF-PIPF-59).

Supplementary Data

The micrographs used in the construction of GPL images used in this manuscript, as well as the extended focus images, final GPL images, and a detailed tutorial for creating GPL images are available open access at (<https://zenodo.org/record/3603353>).

References

Ball, A.D., Job, P.A., Walker, A.E., 2017. SEM-microphotogrammetry, a new take on an old method for generating high-resolution 3D models from SEM images. *J. Microsc.* 267 (2), 214–226.

Bello, S.M., 2011. New results from the examination of cut-marks using three-dimensional imaging. In: Ashton, N.M., Lewis, S.G., Stringer, C.B. (Eds.), *The Ancient Human Occupation of Britain*. Elsevier, Amsterdam, pp. 249–262.

Bermúdez de Castro, J.M., Bromage, T.G., Jalvo, Y.F., 1988. Buccal striations on fossil human anterior teeth: evidence of handedness in the middle and early Upper Pleistocene. *J. Hum. Evol.* 17 (4), 403–412. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(88\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0047-2484(88)90029-2).

Bondioli, L., Coppa, A., Frayer, D.W., Tartaglia, G., Vidale, M., Macchiarelli, R., 2012. Dental lesions on the permanent teeth at Neolithic Mehrgarh, Pakistan. In: Lefèvre, V. (Ed.), *Orientalismes De l'Archéologie au Musée Mélanges en l'honneur de Jean-François Jarrige*. Brepols Publisher, Turnhout, pp. 115–126.

Bonfiglioli, B., Mariotti, V., Facchini, F., Belcastro, M.G., Condemni, S., 2004. Masticatory and non-masticatory dental modifications in the Epipalaeolithic necropolis of Taforalt (Morocco). *Int. J. Osteoarchaeol.* 14 (6), 448–456. <https://doi.org/10.1002/oa.726>.

Borel, A., Ollé, A., Vergès, J.M., Sala, R., 2014. Scanning Electron and Optical Light Microscopy: two complementary approaches for the understanding and interpretation of usewear and residues on stone tools. *J. Archaeol. Sci.* 48, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.ja.2016.02.005>.

Brothwell, D.R., 1981. *Digging up Bones: the Excavation, Treatment, and Study of Human Skeletal Remains*. Cornell University Press, Ithaca.

Bucchi, A., Burguet-Coca, A., Expósito, I., Aceituno Bocanera, F.J., Lozano, M., 2019. Comparisons between methods for analyzing dental calculus samples from El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11 (11), 6305–6314. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00919-z>.

Carrasco, S.R., Bonilla, M.D.-Z., Mateo, V.F., Sanjuán, L.G., 2017. Bioarchaeological analysis at the copper age site of valencina de la Concepción (Seville, Spain): the PP4-montelirio sector. In: Tomé, T., Bonilla, M.D.-Z., Silva, A.M., Cunha, C., Boaventura, R. (Eds.), *Current Approaches to Collective Burials in the Late European Prehistory*. Archaeopress, Oxford, pp. 103–118.

Ceperuelo, D., Lozano, M., Duran-Sindreu, F., Mercadé, M., 2015. Supernumerary fourth molar and dental pathologies in a chalcolithic individual from the el mirador cave site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Homo* 66 (1), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2014.05.007>.

Ceperuelo, D., Lozano, M., Duran-Sindreu, F., Mercadé, M., 2014. Root canal morphology of chalcolithic and early bronze age human populations of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Anat. Rec.* 297 (12), 2342–2348. <https://doi.org/10.1002/ar.22958>.

Coupal, I., Sołtysiak, A., 2017. Dental erosion in archaeological human remains: a critical review of literature and proposal of a differential diagnosis protocol. *Arch. Oral Biol.*

84 (Suppl. C), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.09.011>.

Dori, I., Moggi-Cecchi, J., 2014. Brief Communication: an enigmatic enamel alteration on the anterior maxillary teeth in a prehistoric North Italian population. *Am. J. Phys. Anthropol.* 154 (4), 609–614. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22535>.

Egocheaga, J.E., Pérez-Pérez, A., Rodríguez, L., Galbana, J., Martínez, L.M., Antunes, M.T., 2004. New evidence and interpretation of subvertical grooves in Neandertal teeth from Cueva de Sidron (Spain) and Figueira Brava (Portugal). *Anthropol* 42, 49–52. <https://www.jstor.org/stable/26292671>.

Fauchille, A., Van den Eijnden, A., Ma, L., Chandler, M., Taylor, K., Madi, K., Lee, P., Rutter, E., 2018. Variability in spatial distribution of mineral phases in the Lower Bowland Shale, UK, from the mm-to μm -scale: quantitative characterization and modelling. *Mar. Petrol. Geol.* 92, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.02.029>.

Fernández-Marchena, J.L., Ollé, A., Rodríguez-Nóvoa, A.A., Amado-Rodríguez, E., Díaz-Rodríguez, M., Pérez-Tenorio, R., de la Torre-Llorca, M.J., 2016. Traceological analysis of a singular artefact: the rock crystal point from O Achadizo (Boiro, A Coruña, Galicia). *J. Lit. Stud.* 3 (2), 1–19. <https://doi.org/10.2218/jls.v3i2.1542>.

Ganss, C., Klimek, J., Borkowski, N., 2002. Characteristics of tooth wear in relation to different nutritional patterns including contemporary and medieval subjects. *Eur. J. Oral Sci.* 110 (1), 54–60. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0722.2002.00117.x>.

Ganss, C., Lussi, A., 2014. *Diagnosis of erosive tooth wear*. In: Lussi, A., Ganss, C. (Eds.), *Erosive Tooth Wear: A Phenomenon of Cultural Significance*. Karger Publishers, Basel, pp. 22–31.

Guatelli-Steinberg, D., Buzhilova, A.P., Trinkaus, E., 2013. Developmental stress and survival among the mid upper paleolithic sungir children: dental enamel hypoplasias of sungir 2 and 3. *Int. J. Osteoarchaeol.* 23, 421–431. <https://doi.org/10.1002/oa.1263>.

Guatelli-Steinberg, D., Larsen, C.S., Hutchinson, D.L., 2004. Prevalence and the duration of linear enamel hypoplasia: a comparative study of Neandertals and Inuit foragers. *J. Hum. Evol.* 47 (1–2), 65–84. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10324>.

Guatelli-Steinberg, D., Reid, D.J., 2010. Brief communication: the distribution of perikymata on Qafzeh anterior teeth. *Am. J. Phys. Anthropol.* 141 (1), 152–157. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21158>.

Guatelli-Steinberg, D., Reid, D.J., Bishop, T.A., 2007. Did the lateral enamel of Neandertal anterior teeth grow differently from that of modern humans? *J. Hum. Evol.* 52 (1), 72–84.

Hernando, R., Willman, J.C., Vergès, J.M., Vaquero, M., Alonso, S., Oms, X., Cebrià, B., Morales, J.I., Lozano, M., 2020. Inferring childhood dietary maturation using buccal and occlusal deciduous molar microwear: a case study from the recent prehistory of the Iberian Peninsula. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 12 (1), 30. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00997-z>.

Hernando, R., Fernández-Marchena, J.L., Willman, J.C., Ollé, A., Vergès, J.M., Lozano, M., 2020. This issue. Exploring the utility of optical light microscopy versus scanning electron microscopy for the quantification of dental microwear. *Quat. Int.* doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.022.

Hillson, S., 2014. *Tooth Development in Human Evolution and Bioarchaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.

Hillson, S.W., Parfitt, S.A., Bello, S.M., Roberts, M.B., Stringer, C.B., 2010. Two hominin incisor teeth from the middle Pleistocene site of Boxgrove, Sussex, England. *J. Hum. Evol.* 59, 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2010.06.004>.

Holovachov, O., Zatushevsky, A., Shydlovsky, I., 2014. Whole-drawer imaging of entomological collections: benefits, limitations and alternative applications. *J. Conserv. Mus. Stud.* 12 (1). <https://doi.org/10.5334/jcms.1021218>.

Johansson, A.-K., Johansson, A., Birkhed, D., Omar, R., Baghdadi, S., Carlsson, G.E., 1996. Dental erosion, soft-drink intake, and oral health in young Saudi men, and the development of a system for assessing erosive anterior tooth wear. *Acta Odontol. Scand.* 54 (6), 369–378. <https://doi.org/10.3109/00016359609003554>.

Johansson, A.-K., Omar, R., Carlsson, G.E., Johansson, A., 2012. Dental erosion and its growing importance in clinical practice: from past to present. *Int. J. Dent.* <https://doi.org/10.1155/2012/632907>. 2012.

Kieser, J.A., Dennison, K.J., Kaidonis, J.A., Huang, D., Herbison, P.G.P., Tayles, N.G., 2001. Patterns of dental wear in the early Maori dentition. *Int. J. Osteoarchaeol.* 11 (3), 206–217. <https://doi.org/10.1002/oa.534>.

King, T., Andrews, P., Boz, B., 1999. Effect of taphonomic processes on dental microwear. *Am. J. Phys. Anthropol.* 108 (3), 359–373. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199903\)108:3<359::AID-AJPA10>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199903)108:3<359::AID-AJPA10>3.0.CO;2-9).

Krueger, K.L., 2016. *Dentition, behavior, and diet determination*. In: Irish, J.D., Scott, G.R. (Eds.), *A Companion to Dental Anthropology*. John Wiley & Sons, Inc., Malden, pp. 396–411.

Lalueza-Fox, C., 1992. Information obtained from the microscopic examination of cultural striations in human dentition. *Int. J. Osteoarchaeol.* 2 (2), 155–169. <https://doi.org/10.1002/oa.1390020207>.

Lanigan, L., Bartlett, D., 2013. Tooth wear with an erosive component in a Mediaeval Iceland population. *Arch. Oral Biol.* 58 (10), 1450–1456. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2013.06.019>.

Louw, M., Ansari, A., Bartley, C., Sanford, C., 2013. *Stories in the rock: a design case of an explorable image viewer in a natural history museum*. *Int. J. Des. Learn.* 4 (2), 56–71.

Louw, M., Crowley, K., 2013. New ways of looking and learning in natural history museums: the use of gigapixel imaging to bring science and publics together. *Curat. Mus.* 56 (1), 87–104. <https://doi.org/10.1111/cura.12009>.

Lozano, M., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Carbonell, E., 2017. Diachronic analysis of cultural dental wear at the Atapuerca sites (Spain). *Quat. Int.* 433 (Part A), 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.028>.

Lozano, M., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Arsuaga, J.L., 2008. Non-masticatory uses of anterior teeth of Sima de los Huesos individuals (Sierra de Atapuerca, Spain). *J. Hum. Evol.* 55 (4), 713–728. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2008.04>.

- 007.
- Lozano, M., Subirà, M.E., Aparicio, J., Lorenzo, C., Gómez-Merino, G., 2013. Toothpicking and periodontal disease in a neanderthal specimen from cova foradà site (Valencia, Spain). *PloS One* 8 (10), e76852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076852>.
- Marado, L.M., Cunha, C., Scott, G.R., Tomé, T., Machado, H., Silva, A.M., 2017. On the applicability of the assessment of dental tooth wear for the study of collective pre-historic burials. In: Tomé, T., Bonilla, M.D.-Z., Silva, A.M., Cunha, C., Boaventura, R. (Eds.), *Current Approaches to Collective Burials in the Late European Prehistory*. Archaeopress Archaeology, Oxford, pp. 11–19.
- Martín-Viveros, J.I., Ollé, A., 2020. Use-wear and residue mapping on experimental chert tools. A multi-scalar approach combining digital 3D, optical, and scanning electron microscopy. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 30, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102236>.
- Martínez, L.M., Pérez-Pérez, A., 2004. Post-mortem wear as indicator of taphonomic processes affecting enamel surfaces of hominin teeth from Laetoli and Olduvai (Tanzania): implications to dietary interpretations. *Anthropol* 42 (1), 37–42. <http://www.jstor.org/stable/26292668>.
- Mateo-Lomba, P., Rivals, F., Blasco, R., Rosell, J., 2019. The use of bones as retouchers at unit III of teixoneres cave (MIS 3; moia, barcelona, Spain). *J. Archaeol. Sci. Rep.* 27, 101980. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.101980>.
- McGrath, K., El-Zaatari, S., Guatelli-Steinberg, D., Stanton, M.A., Reid, D.J., Stoinski, T.S., Cranfield, M.R., Mudakikwa, A., McFarlin, S.C., 2018. Quantifying linear enamel hypoplasia in Virunga Mountain gorillas and other great apes. *Am. J. Phys. Anthropol.* 166 (2), 337–352. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23436>.
- Modesto-Mata, M., Dean, M.C., Bermúdez de Castro, J.M., Martínón-Torres, M., Rodríguez-Hidalgo, A., Marín, J., Canals, A., Vergès, J.M., Lozano, M., 2017. Perikymata numbers and enamel extension rates in the incisors of three archaeological modern human populations from two caves located in Spain: maltravieso Cave (Cáceres) and Mirador Cave (Burgos). *Quat. Int.* 433 (Part A), 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.024>.
- Ollé, A., Pedergrana, A., Fernández-Marchena, J.L., Martín, S., Borel, A., Aranda, V., 2016. Microwear features on vein quartz, rock crystal and quartzite: a study combining Optical Light and Scanning Electron Microscopy. *Quat. Int.* 424 (Suppl. C), 154–170. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.005>.
- Pedergrana, A., Ollé, A., 2018. Building an experimental comparative reference collection for lithic micro-residue analysis based on a multi-analytical approach. *J. Archaeol. Method Theor* 25 (1), 117–154. <https://doi.org/10.1007/s10816-017-9337-z>.
- Power, R.C., Salazar-García, D.C., Straus, L.G., González Morales, M.R., Henry, A.G., 2015. Microremains from El Mirón Cave human dental calculus suggest a mixed plant–animal subsistence economy during the Magdalenian in Northern Iberia. *J. Archaeol. Sci.* 60, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.04.003>.
- Robb, N.D., Cruwys, E., Smith, B.G.N., 1991. Regurgitation erosion as a possible cause of tooth wear in ancient British populations. *Arch. Oral Biol.* 36 (8), 595–602. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(91\)90110-G](https://doi.org/10.1016/0003-9969(91)90110-G).
- Romero, A., De Juan, J., 2012. SEM, teeth, and palaeoanthropology: the secret of ancient human diets. In: Schatten, H. (Ed.), *Scanning Electron Microscopy for the Life Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 236–256.
- Ryan, A.S., Johanson, D.C., 1989. Anterior dental microwear in *Australopithecus afarensis*: comparisons with human and nonhuman primates. *J. Hum. Evol.* 18 (3), 235–268. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(89\)90051-1](https://doi.org/10.1016/0047-2484(89)90051-1).
- Schmidt, C.W., Remy, A., Van Sessen, R., Willman, J., Krueger, K., Scott, R., Mahoney, P., Beach, J., McKinley, J., D'Anastasio, R., Chiu, L., Buzon, M., De Gregory, J.R., Sheridan, S., Eng, J., Watson, J., Klaus, H., Da-Gloria, P., Wilson, J., Stone, A., Sereno, P., Droke, J., Perash, R., Stojanowski, C., Herrmann, N., 2019. Dental microwear texture analysis of *Homo sapiens sapiens*: foragers, farmers, and pastoralists. *Am. J. Phys. Anthropol.* 169 (2), 207–226. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23815>.
- Scott, G.R., Winn, J.R., 2011. Dental chipping: contrasting patterns of microtrauma in Inuit and European populations. *Int. J. Osteoarchaeol.* 21 (6), 723–731. <https://doi.org/10.1002/oa.1184>.
- Semprebon, G.M., Godfrey, L.R., Solounias, N., Sutherland, M.R., Jungers, W.L., 2004. Can low-magnification stereomicroscopy reveal diet? *J. Hum. Evol.* 47 (3), 115–144. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2004.06.004>.
- Sperduti, A., Giuliani, M.R., Guida, G., Petrone, P.P., Rossi, P.F., Vaccaro, S., Frayer, D.W., Bondioli, L., 2018. Tooth grooves, occlusal striations, dental calculus, and evidence for fiber processing in an Italian eneolithic/bronze age cemetery. *Am. J. Phys. Anthropol.* 167 (2), 234–243. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23619>.
- Tanga, C., Quintili, V., Tinarelli, R., D'Anastasio, R., Viciano, J., 2016. Non-masticatory dental lesions in the Samnite necropolis of Alfedena (V–III centuries BCE; central-southern Italy). *J. Paleopathol.* 26 (1), 15–26.
- Teaford, M.F., 2007. Dental microwear and paleoanthropology: cautions and possibilities. In: Bailey, S.E., Hublin, J.-J. (Eds.), *Dental Perspectives on Human Evolution: State of the Art Research in Dental Paleoanthropology*. Springer, Dordrecht, pp. 345–368.
- Teaford, M.F., Larsen, C.S., Pastor, R.F., Noble, V.E., 2001. Pits and scratches: microscopic evidence of tooth use and masticatory behavior in La Florida. In: Larsen, C.S. (Ed.), *Bioarchaeology of Spanish Florida*. University Press of Florida, Gainesville, pp. 82–112.
- Tomczyk, J., Zalewska, M., 2016. Mechanical and chemical dental wear in historical population from the Syrian lower Euphrates valley. *Arch. Oral Biol.* 62, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.11.011>.
- Turner, C.G., Machado, L.M.C., 1983. A new dental wear pattern and evidence for high carbohydrate consumption in a Brazilian archaic skeletal population. *Am. J. Phys. Anthropol.* 61, 125–130. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330610113>.
- Ungar, P.S., 2019. Inference of diets of early hominins from primate molar form and microwear. *J. Dent. Res.* 98 (4), 398–405. <https://doi.org/10.1177/0022034518822981>.
- Ungar, P.S., Scott, R.S., Scott, J.R., Teaford, M., 2008. Dental microwear analysis: historical perspectives and new approaches. In: Irish, J.D., Nelson, G.C. (Eds.), *Technique and Application in Dental Anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 389–425.
- Vergès, J.M., Allué, E., Angelucci, D., Burjachs, F., Carrancho, A., Cebrià, A., Expósito, I., Fontanals, M., Moral, S., Rodríguez, A., 2008. Los niveles neolíticos de la cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): nuevos datos sobre la implantación y el desarrollo de la economía agropecuaria en la submeseta norte. In: Hernández-Pérez, M.S., Soler-Díaz, J.A., López-Padilla, J.A. (Eds.), *IV Congreso del Neolítico Peninsular*. MARQ, Museo Arqueológico de Alicante: Diputación Provincial de Alicante, pp. 418–427.
- Vergès, J.M., Allué, E., Angelucci, D.E., Cebrià, A., Díez, C., Fontanals, M., Manyanós, A., Montero, S., Moral, S., Vaquero, M., 2002. La Sierra de Atapuerca durante el Holoceno: datos preliminares sobre las ocupaciones de la Edad del Bronce en la cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos). *Trab. Prehist.* 59 (1), 107–126. <https://doi.org/10.3989/tp.2002.v59.i1.213>.
- Vergès, J.M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J.I., Martín, P., Carrancho, Á., Expósito, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., 2016. El mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): a whole perspective. *Quat. Int.* 414, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.044>.
- Vergès, J.M., Morales, J.I., 2014. The gigapixel image concept for graphic SEM documentation. Applications in archeological use-wear studies. *Micron* 65, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2014.04.009>.
- Willman, J.C., 2016. Dental wear at Dolní Věstonice II: habitual behaviors and social identities written on teeth. In: Svoboda, J. (Ed.), *Dolní Věstonice II: Chronostratigraphy, Paleoethnology, Paleoanthropology*. Archeologický ústav AV ČR, Brno, pp. 353–371.
- Willman, J.C., 2017. The dental remains: non-masticatory wear. In: Trinkaus, E., Walker, M.J. (Eds.), *The People of Palomas: Neandertals from the Sima de las Palomas, Cabezo Gordo, Southeastern Spain*. Texas A&M University Press, College Station, pp. 155–174.
- Willman, J.C., Ginter, B., Hernando, R., Lozano, M., Sobczyk, K., Stefański, D., Szczepanek, A., Wertz, K., Wojtal, P., Zajac, M., Zarzecka-Szubińska, K., Valde-Nowak, P., 2019. Paleobiology and taphonomy of a middle paleolithic neandertal tooth from ciemna cave, southern Poland. *J. Paleol. Archaeol.* 2 (4), 359–377. <https://doi.org/10.1007/s41982-019-00026-4>.
- Willman, J.C., Hernando, R., Matu, M., Crevecoeur, I., 2020. Biocultural diversity in late pleistocene/early Holocene africa: olduvai hominid 1 (Tanzania) biological affinity and intentional body modification. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1, 18. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24007>.
- Willoughby, P.R., Compton, T., Bello, S.M., Bushozi, P.M., Skinner, A.R., Stringer, C.B., 2018. Middle stone age human teeth from magubike rockshelter, iringa region, Tanzania. *PloS One* 13 (7), e0200530. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200530>.
- Xing, S., O'Hara, M., Guatelli-Steinberg, D., Ge, J., Liu, W., 2017. Dental scratches and handedness in east asian early pleistocene hominins. *Int. J. Osteoarchaeol.* 27 (6), 937–946. <https://doi.org/10.1002/oa.2601>.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
EL MICRODESGASTE DENTAL COMO INDICADOR DE LA DIETA EN GRUPOS DE LA PREHISTORIA RECIENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A TRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS MICROSCÓPICAS
Raquel Hernando Santamaria