



# CKQ

03

LEIOA

2013

Estudios de Cuaternario / Kuaternario Ikasketak / Quaternary Studies

ISSN 2340-745X



## **Cambios Ambientales y Huella Humana**

*Ingurumen-aldaketak eta Giza Aztarna*  
*Environmental Changes and Human Fingerprint*



**CKQ (Estudios de Cuaternario / Kuaternario Ikasketak / Quaternary Studies)**

es una revista de la Sociedad de Ciencias Aranzadi editada en colaboración con la Universidad del País Vasco UPV/EHU gracias al Convenio firmado para el desarrollo del programa formativo de los Estudios de Postgrado (Máster y Doctorado) en Cuaternario.

Cada número de **CKQ (Estudios de Cuaternario / Kuaternario Ikasketak / Quaternary Studies)**

está constituido por las Memorias de Tesis que han sido defendidas durante ese curso académico dentro del Máster Universitario en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana ([www.mastercuaternario.ehu.es](http://www.mastercuaternario.ehu.es)) que se imparte actualmente en la Universidad del País Vasco/EHU. La revista presenta trabajos de investigación inéditos en diferentes líneas centradas en la Prehistoria y la Geología del Cuaternario.



**CKQ (Estudios de Cuaternario / Kuaternario Ikasketak / Quaternary Studies)**

Aranzadi Zientzia Elkartearen aldizkari bat da, UPV/EHUK argitaratzen duena Euskal Herriko Unibertsitatearekin lankidetzan. Izan ere, bi erakundeen artean hitzarmen bat sinatu zen Graduondoko Kuaternario Ikasketen (Masterraren eta Doktoregoaren) prestakuntza-programa garatzeko.

**CKQ (Estudios de Cuaternario / Kuaternario Ikasketak / Quaternary Studies)**

aldizkariaren ale bakoitzean, gaur egun UPV/EHUK eskaintzen duen “Kuaternarioa: Ingurugiro Aldaketak eta Giza Oinatza ([www.mastercuaternario.ehu.es](http://www.mastercuaternario.ehu.es))” unibertsitate-masterrean ikasturte akademiko horretan defendatutako hiru tesi-memoriak jasotzen dira. Aldizkarian, inoiz argitaratu gabeko ikerketa-lanak aurkezten dira, Kuaternarioko Geologiaren eta Historiaurrearen hainbat lerrori buruzkoak.



**CKQ (Estudios de Cuaternario / Kuaternario Ikasketak / Quaternary Studies)**

is a Journal of the Aranzadi Science Society edited thanks to the Agreement signed with the University of the Basque Country (UPV/EHU) for the development of the Postgraduate formative programme (Master and Doctorate) in Quaternary Science.

Every issue of **CKQ (Estudios de Cuaternario / Kuaternario Ikasketak / Quaternary Studies)**

is constituted by the MSc thesis dissertations carried out during the last academic course within the Master in Quaternary: Environmental Changes and Human Fingerprint ([www.mastercuaternario.ehu.es](http://www.mastercuaternario.ehu.es)) taught presently at the University of the Basque Country (UPV/EHU). The journal includes different works dedicated to variable research lines focusing on Prehistory and Quaternary Geology.



UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO  
EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA



**ARANZADI**

zientzia elkarteak . society of sciences  
sociedad de ciencias . société de sciences

nº 3	LEIOA	2013	ISSN 2340-745X
------	-------	------	----------------



*Directores / Zuzendariak / Editors: Dr. Alejandro Cearreta - Universidad del País Vasco/EHU - S.C. Aranzadi  
Dra. Lydia Zapata - Universidad del País Vasco/EHU*

*Comité Editorial Prehistoria / Historiaurreko Argitalpen Batzordea / Prehistory Editorial Board:*

*Dr. Alfonso Alday: Universidad del País Vasco/EHU  
Dr. Javier Fernández Eraso: Universidad del País Vasco/EHU  
Dra. Lydia Zapata: Universidad del País Vasco/EHU  
Dr. Pedro Castaños: S.C. Aranzadi*

*Comité Editorial Geología / Geologiako Argitalpen Batzordea / Geology Editorial Board:*

*Dr. Humberto Astibia: Universidad del País Vasco/EHU  
Dr. Alejandro Cearreta: Universidad del País Vasco/EHU - S.C. Aranzadi  
Dra. María Jesús Irabien: Universidad del País Vasco/EHU  
Dr. Iñaki Yusta: Universidad del País Vasco/EHU*

*Consejo de Redacción / Erredakzio Kontseilua / Editorial Board:*

*Dr. Alejandro Cearreta: Secretario de Redacción (Universidad del País Vasco/EHU - S.C. Aranzadi)  
Dra. Lydia Zapata: Secretaria de Redacción (Universidad del País Vasco/EHU)  
D. Juanxo Agirre-Mauleon: Secretario General, S.C. Aranzadi  
Dña. Lourdes Ancín: Responsable de Biblioteca. S.C. Aranzadi*

*Redacción e intercambio / Erredakzio eta Trukaketa: Sociedad de Ciencias Aranzadi/Zientzia Elkarte*

*Zorroagagaina 11 - 20014 Donostia  
Tel: 34 943 46 61 42 / Fax: 34 943 45 58 11  
Redacción: [ckq@aranzadi-zientziak.org](mailto:ckq@aranzadi-zientziak.org)  
Intercambio: [liburutegia@aranzadi-zientziak.org](mailto:liburutegia@aranzadi-zientziak.org)  
[www.aranzadi-zientziak.org](http://www.aranzadi-zientziak.org)*

**PATROCINIO / BABESLEA:**



nº 3	LEIOA	2013	ISSN 2340-745X
------	-------	------	----------------



## Máster en Cuaternario

### Cambios Ambientales y Huella Humana

#### RESPONSABLE DEL MÁSTER

- *Cearreta Bilbao, Alejandro*

#### COMISIÓN ACADÉMICA

- *Presidente: Cearreta Bilbao, Alejandro*
- *Vocal: Fernandez Eraso, Javier Maria*
- *Vocal: Zapata Peña, Lydia*

PROFESORADO	
PROFESOR/A	INSTITUCIÓN DE PROCEDENCIA
<i>Alday Ruiz, Alfonso</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Alonso Alegre, Santos</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Aranburu Artano, Arantza</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Arostegi García, Jose Javier</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Arriortua Marcaida, Maria Isabel</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Arrizabalaga Valbuena, Alvaro</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Astibia Ayerra, Humberto</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Baceta Caballero, Juan Ignacio</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Barandiarán Maestu, Ignacio</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Bazan Blau, Begoña del Pilar</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Bao Casal, Roberto</i>	<i>Universidad de A Coruña</i>
<i>Bermúdez de Castro Risueño, José María</i>	<i>CENIEH</i>
<i>Cava Almuzara, Ana Catalina</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Cearreta Bilbao, Alejandro</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>De la Rúa Vaca, Concepción</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Diez Fernández-Lomana, Carlos</i>	<i>Universidad de Burgos</i>
<i>Diez Martín, Fernando</i>	<i>Universidad de Valladolid</i>
<i>Edeso Fito, Jose Miguel</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Eguiluz Alarcón, Luis</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Etxeberría Gabilondo, Francisco</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Fabián García, Juan Francisco</i>	<i>Junta de Castilla y León</i>
<i>Fernandez Eraso, Javier Maria</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>García Díez, Marcos</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>García García, Francisco</i>	<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>
<i>González Sáinz, César</i>	<i>Universidad de Cantabria</i>
<i>Herrero Rubio, Jose Miguel</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Irabien Gullías, Maria Jesús</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Iriarte Aviles, Eneko</i>	<i>Universidad de Cantabria</i>
<i>Iriarte Chiapusso, María José</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Izagirre Arribalzaga, Neskuts</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Jiménez Sánchez, Montserrat</i>	<i>Universidad de Oviedo</i>
<i>Larrañaga Varga, Aitor</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Lasagabaster Herrarte, Iñaki</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>López Horgue, Miguel Angel</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Mendía Aranguren, Miren Sorkunde</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Mugika Alustiza, José Antonio</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Murelaga Bereikua, Javier</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Parés Casanova, Josep Maria</i>	<i>CENIEH</i>
<i>Pascual Cuevas, Ana María</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Payros Agirre, Aitor</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Peñalver Iribarren, Juan Cruz</i>	<i>Sociedad de Ciencias Aranzadi</i>
<i>Pizarro Sanz, José Luis</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Quirós Castillo, Juan Antonio</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Rodríguez Lázaro, Julio Manuel</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Sáenz de Buruaga Blázquez, José Antonio</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Santos Zalduegui, José Francisco</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Tarriño Vinagre, Andoni</i>	<i>CENIEH</i>
<i>Urtiaga Greaves, Miren Karnele</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Yusta Arnal, Iñaki</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>
<i>Zapata Peña, Lydia</i>	<i>Universidad del País Vasco/EHU</i>

## PRESENTACIÓN DE LOS DIRECTORES

El Cuaternario es la división del tiempo geológico que corresponde a los últimos 2,6 millones de años en la historia de nuestro planeta y que se caracteriza por frecuentes, rápidas e intensas oscilaciones climáticas. Paralelamente a estas extremas variaciones ambientales, durante este período de tiempo aparecen los humanos en la Biosfera y evolucionan hasta adquirir una creciente capacidad para transformar el entorno en el que vivimos.

Dentro de este marco científico y cultural, se inicia la revista **Estudios de Cuaternario** dedicada a la investigación universitaria en temas cuaternaristas.

Cada número anual estará constituido por las Memorias de Tesis que hayan sido defendidas durante ese curso académico dentro del Máster Universitario en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana ([www.mastercuaternario.ehu.es](http://www.mastercuaternario.ehu.es)) que se imparte actualmente en la Universidad del País Vasco/EHU.

La revista **Estudios de Cuaternario** está publicada por la Sociedad de Ciencias Aranzadi ([www.aranzadi-zientziak.org](http://www.aranzadi-zientziak.org)) gracias al Convenio firmado con la UPV/EHU para el desarrollo del programa formativo de los Estudios de Postgrado (Máster y Doctorado) en Cuaternario, y contendrá a lo largo de los años trabajos de investigación en diferentes líneas centradas en la Prehistoria y la Geología del Cuaternario, los dos pilares básicos de este máster universitario.

## ZUZENDARIEN AURKEZPENA

Kuaternarioa gure planetaren historiaren azken 2,6 milioi urteko aro geologikoaren aldia da. Honek maizko oszilazio klimatikoak, azkarrak eta handiak ditu ezaugarri. Ingurumenaren muturreko aldaketa hauekin batera, aro honetan giza espezieak Biosferan agertzen eta garatzen dira, bizi garen inguru eraldatzeko, gero eta ahalmen handiagoa lortuta.

Marko zientifiko eta kultural honetan **Kuaternario Ikasketak** aldizkariak Kuaternarioko gaiei buruzko unibertsitate ikerketako argitalpen serie bat hasi du.

UPV/ Euskal Herriko Unibertsitateko Kuaternario Masterraren barnean eta Giza Aztarna, ([www.mastercuaternario.ehu.es](http://www.mastercuaternario.ehu.es)) kurtso akademiko horretan defendatutako tesien memoriak osatzen dute urteko ale bakoitza.

**Kuaternario Ikasketak** aldizkaria Aranzadi Zientzi Elkarteak ([www.aranzadi-zientziak.org](http://www.aranzadi-zientziak.org)) argitaratzen du Gradu-ondoko (Master eta Doktoretza) ikasketak programa garatzeko UPV/EHUrekin sinatutako akordioari esker eta urteetan zehar ildo desberdinetan egindako hainbat ikerketa lan jasoko ditu, bai Historiaurrean, bai Geologian oinarritutakoak, hauek baitira unibertsitateko master honen bi euskarriak.

## EDITORIAL INTRODUCTION

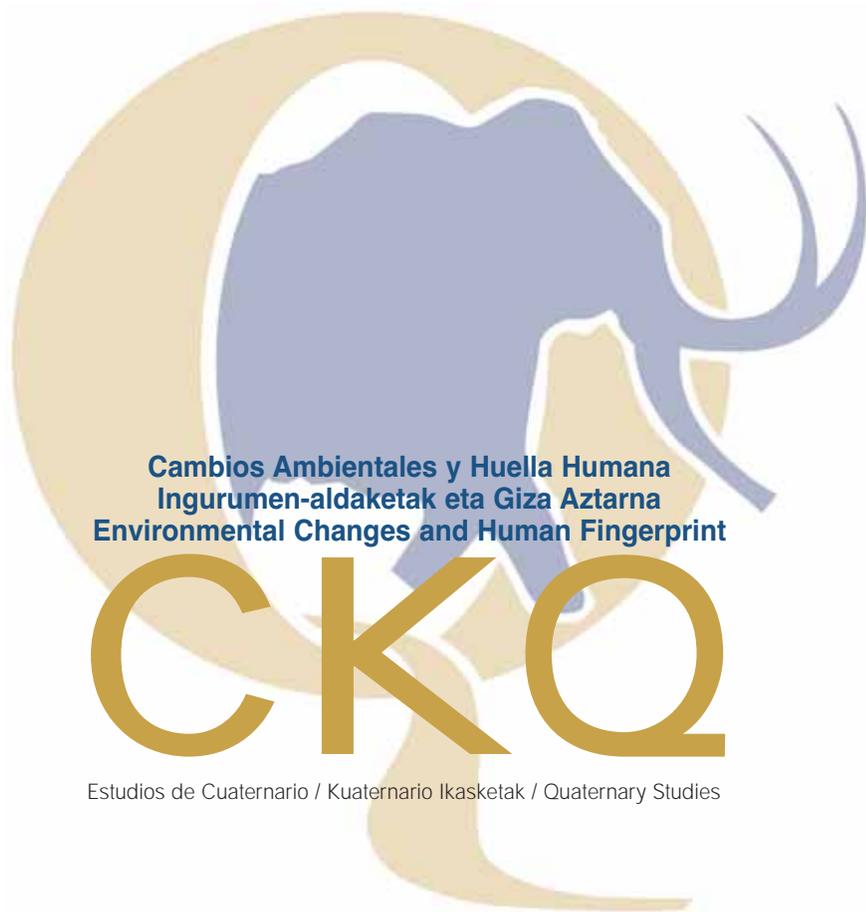
The Quaternary is the geological time period corresponding to the last 2.6 million years in our planet's history, characterized by frequent, rapid and intense climate changes. Simultaneously to these environmental variations, during this time period human species appeared in the Biosphere and evolved to acquire an increasing capacity to transform our surrounding environment.

Under this scientific and cultural framework, it is presented the journal **Quaternary Studies**, that is dedicated to the university research on Quaternary topics.

Each yearly issue is constituted by the MSc thesis dissertations carried out during the last academic course within the Master in Quaternary: Environmental Changes and Human Fingerprint ([www.mastercuaternario.ehu.es](http://www.mastercuaternario.ehu.es)) taught presently at the University of the Basque Country (UPV/EHU).

The journal **Quaternary Studies** is published by the Aranzadi Science Society ([www.aranzadi-zientziak.org](http://www.aranzadi-zientziak.org)) thanks to the Agreement signed with the UPV/EHU for the development of the Postgraduate formative programme (Master and Doctorate) in Quaternary. It will contain throughout the years different works dedicated to variable research lines focusing on the Prehistory and Quaternary Geology, the two basic fundamentals of this university master's degree.

ALEJANDRO GEARRETA  
LYDIA ZAPATA



3

2013

ISSN 2340-745X

## ÍNDICE/ AURKIBIDEA/ CONTENTS

<b>PEDRO BESNÉ TORRE</b> - Aplicación de técnicas LiDAR para localización de áreas propicias para asentamientos humanos ancestrales en rasas mareales emergidas de la costa occidental de Gipuzkoa .....	3-17
<b>MIREN DEL VAL BLANCO</b> - Utilización de los Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LiDAR como instrumento de análisis geomorfológico en el valle del río Oiartzun (Gipuzkoa).....	19-35
<b>CRISTINA FRAILE MARQUEZ</b> - Análisis de la asociación microespacial del agregado lítico del nivel IV de BK (Garganta de Olduvai, Tanzania) ..	37-50
<b>SERGIO HERNÁNDEZ MARTÍN</b> - Evolución ambiental de los estuarios vascos (Urdaibai y Deba) durante el Holoceno como consecuencia del ascenso en el nivel marino .....	51-63

ELISA JIMÉNEZ GÓMEZ	
- La transición del Paleolítico Medio al Superior desde una perspectiva tecnológica: la serie lítica del nivel IV de Lezetxiki (Arrasate, Gipuzkoa) .....	65-75
IÑIGO ORÚE BELTRÁN DE HEREDIA	
- Fotointerpretación y teledetección como herramienta para la localización de estructuras mineras prehistóricas en la Sierra de Araico (Burgos-Araba) .....	77-90
JOSEFA ROSTRO CARMONA	
- Estudio comparado de las piezas dentales de <i>Homo neanderthalensis</i> del yacimiento Musteriense de Axlor (Dima, Vizcaya) .....	91-100
PALOMA SUÁREZ FERRUERO	
- Definición tecno-tipológica y funcional de las laminillas Dufour: el caso de los niveles IX y VIII del Sector Central del Abrigo de La Viña (La Manzaneda, Oviedo, Asturias) .....	101-121
NAIARA URÍA BLANCO	
- Registros sedimentarios como indicadores paleoambientales y de la actividad antrópica durante la Neolitización: La Cueva de Els Trocs y su entorno (Abella, Huesca) .....	123-134
VALENTINA VANGHI	
- Estudio multianalítico de una estalagmita, <i>Novella</i> (Cueva de Praileaitz, Gipuzkoa): detección y caracterización de indicadores de cambios ambientales .....	135-159

**Foto de portada:**  
 Salida de campo al yacimiento de Atapuerca (Burgos) con los profesores J. Parés y J.M. Bermúdez de Castro (CENIEH), 14 Octubre 2011.

# Aplicación de Técnicas Lidar para localización de áreas propicias para asentamientos humanos ancestrales en rasas mareales emergidas de la Costa Occidental de Gipuzkoa

## Use of Lidar Technics for the localization of emerging shore platforms enabling prehistorical human settlements in the west coast of gipuzkoa

**PALABRAS CLAVES:** rasas mareales, erosión, costa de Gipuzkoa, LIDAR, ENVI, dinámica litoral, Plataformas de abrasión.

**KEY WORDS:** shore platforms, erosion, coast of Gipuzkoa, LIDAR, ENVI, coastal dynamics.

**Pedro BESNÉ TORRE<sup>(1)</sup>**

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un estudio preliminar de zonas costeras del Oeste guipuzcoano para localizar franjas que conservan las características de paleo-rasas y relacionar los diferentes niveles de las antiguas plataformas de abrasión para conocer si eran susceptibles de albergar asentamientos humanos. Para ello se analizarán ortofotografías en formato Ráster escala 1:5000, mapa de sombras LIDAR, imágenes satelitales SPOT y shapefile de curvas de nivel, superponiéndolas y creando un Mapa Digital de Elevaciones con los programas informáticos de procesamiento de mapas ArcGis10 y ENVI.

### ABSTRACT

The aim of this investigation is to locate in the west coast of Gipuzkoa areas with the characteristics of relict shore platforms and link them to different levels of ancient shore platforms to know if they could have refuge human settlements. Raster Orthophotographies in scale 1:5000, Lidar maps, Spot images and digital terrain map will be used for this and processed with ArcGis10 and ENVI.

## 1.- INTRODUCCIÓN

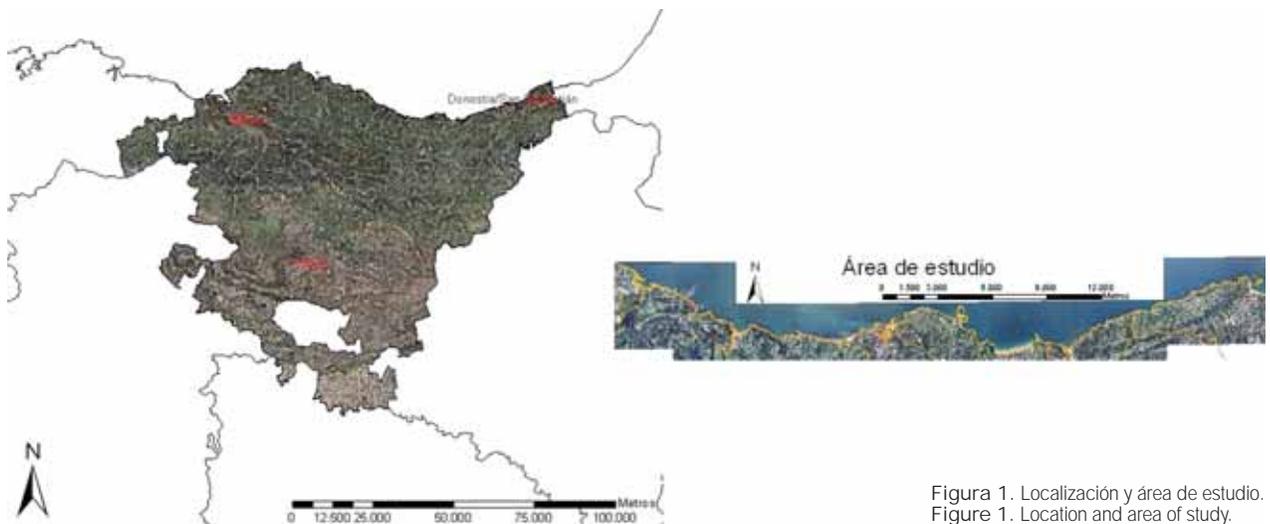


Figura 1. Localización y área de estudio.  
Figure 1. Location and area of study.

<sup>(1)</sup> Departamento de Geografía, Arqueología y Prehistoria.

DIRECTOR: Luis Eguíluz Alarcón

Entendemos las plataformas de abrasión como geformas creadas frente a un acantilado rocoso, al nivel de la marea baja, formada por el oleaje que socava la base del acantilado provocando el derrumbe de la parte superior pero sin afectar apenas a la zona submareal. Las rasas mareales emergidas son materiales heredados donde una antigua plataforma de abrasión se encuentra sobre el nivel del mar actual conservando algunas de las características de cuando se formó especialmente su forma horizontal o subhorizontal. Corrientemente limitan transversalmente y hacia el mar con el acantilado o plataforma de abrasión actual y hacia el continente con un escarpe que era el antiguo acantilado y generalmente bastante erosionado.

La existencia de yacimientos arqueológicos en la localidad de Hondarribia, concretamente sobre los acantilados del monte Jaizkibel, demuestra la posibilidad de que la costa guipuzcoana estuviera habitada desde el Paleolítico Medio gracias a la existencia de un bifaz y dos raederas datados hace unos 150.000 años. Además existen 5 dólmenes y 7 cromlechs con enterramientos humanos correspondientes al Neolítico. El análisis preliminar de la zona presente en este trabajo demuestra que existen zonas llanas litorales relictas, con características similares a las de Jaizkibel, sobre las que se encuentran materiales detríticos que podrían aportar información sobre la evolución del litoral.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG en adelante) y la Teledetección comienzan a desarrollarse como tecnologías independientes en los años 60 si bien ha sido en los últimos años cuando han sufrido un mayor auge y se han convertido en complementos imprescindibles para el análisis de la superficie terrestre y el estudio de la gestión de recursos no solo geográficos si no para todas las áreas de las ciencias de la Tierra. A ello han ayudado la puesta en marcha de nuevos instrumentos de observación, satélites, GPS, etc., la inmensidad de información geográfica gratuita y disponible para el usuario en la red, la catalogación en Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), la cantidad y calidad de metadatos y el desarrollo de un gran número de software, muchos de ellos gratuitos y de libre disposición. Entre las ventajas proporcionadas por ambos sistemas destacan: la cobertura global y exhaustiva, perspectiva panorámica, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones, transmisión a tiempo real, registro digital de la información (Chuvioco, 2002), observación a través de nubes y penetración subsuperficial. Existen trabajos que relacionan las nuevas técnicas de teledetección con el estudio de rasas mareales (Palamara, D.R, Chantada, J.R. 2006) y destacan los trabajos sobre rasas mareales emergidas realizados en el Mar Mediterráneo (Zazo *et al.*, 2008)

En el País Vasco existe información fragmentaria e incompleta (Sanjaume *et al.* 2005) sobre las rasas mareales siendo una serie de pequeños artículos meramente descriptivos que aportan muy poco sobre evolución del litoral vasco y apenas unos pocos niveles marinos bien documentados (Edeso 1992, 1988, Edeso; Ugarte 1993, Cearreta *et al.* 1990; Borja & Collins 2004) centrados en plataformas de abrasión marina y desembocaduras de ríos y ambientes estuarinos (Sanjaume *et al.* 2005) particularmente del Holoceno.

Mediante la elaboración de esta investigación se pretende aportar la utilización de nuevas técnicas en un ámbito en el que la mayoría de los estudios se han centrado en la interpretación desde una perspectiva de la realidad paisajística reciente o la caracterización sedimentológica.

## 2.- MATERIALES Y MÉTODOS

En primera instancia se realiza un análisis general de la costa oeste guipuzcoana limitada entre las coordenadas 545.545,256 y 582.543,543 en X y entre 4.798.059,024 y 4.791186, 019 en Y, UTM 30N, mediante comparación de ortofotografías serie 1:5000 del año 2011 y el mapa de sombras obtenido de las imágenes LIDAR (Light Detection and Ranging) del año 2008 (Fuente: GeoEuskadi). El LIDAR es un sistema telemático de captura de datos mediante un emisor láser que en la banda del espectro electromagnético comprendido entre los rayos infrarrojos y ultravioleta, captura la señal reflejada por la superficie topográfica y el tiempo que ésta señal tarda en recorrer el espacio entre el transmisor y la superficie del terreno. Las imágenes utilizadas pertenecen al proyecto PNOA y tienen una densidad de 0,5 puntos/m<sup>2</sup>. Todas las imágenes presentes en este trabajo están referidas en sistema de referencia ETRS89 y la altitud en cotas ortométricas en base al nuevo modelo de geoide EGM08\_RED NAP. El mapa de sombras obte-

nido, realizado a partir de una nube de puntos del terreno mediante haz de láser desde 2200m de altitud, tiene como ventaja la capacidad de generar modelos de terreno de gran precisión en los que puede eliminarse la vegetación ya que en primera instancia parte del láser se refleja en la copa de los árboles y otra parte consigue atravesar la vegetación y reflejarse en el suelo.

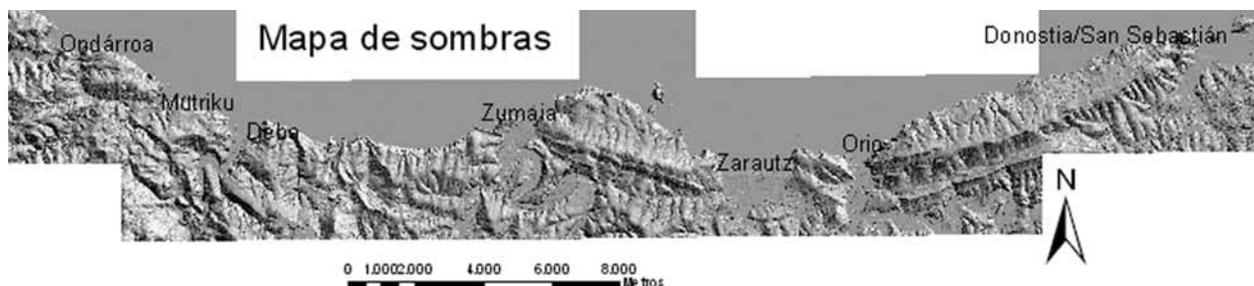


Figura 2. Mapa de sombras (LIDAR). Imagen satélite de alta resolución 1x1m del área de estudio donde se muestra el relieve excluyendo la vegetación.  
Figure 2. Shadow Map (LIDAR). High resolution satellite image (1x1m) where relief is shown without vegetation.

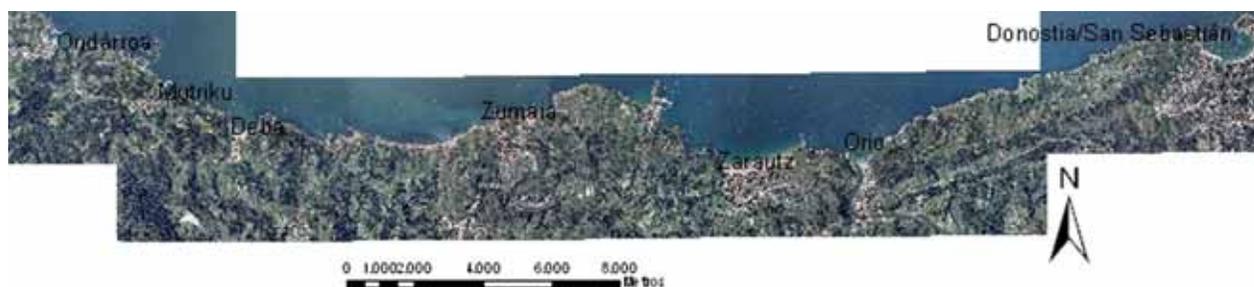


Figura 3. Mosaico de ortofotografías 1:5000 de tramo de costa comprendido entre las localidades de Donostia/San Sebastián y la vizcaina Ondarroa.  
Figure 3. Orthophotographies in 1:5000 scale of the stretch of coast from Donostia/San Sebastián to Ondarroa.

A partir de los datos de LIDAR, formados por ficheros en formato LAS, se procede a la realización de un nuevo shapefile de curvas de nivel con el programa informático de SIG ArcGis10 con el que completar la información. Además y para obtener información aún más precisa se procede a la realización de un mapa digital del terreno (en adelante MDT) basado en la interpolación de triángulos irregulares TIN mediante el software específico 3D Analyst de ArcMap.

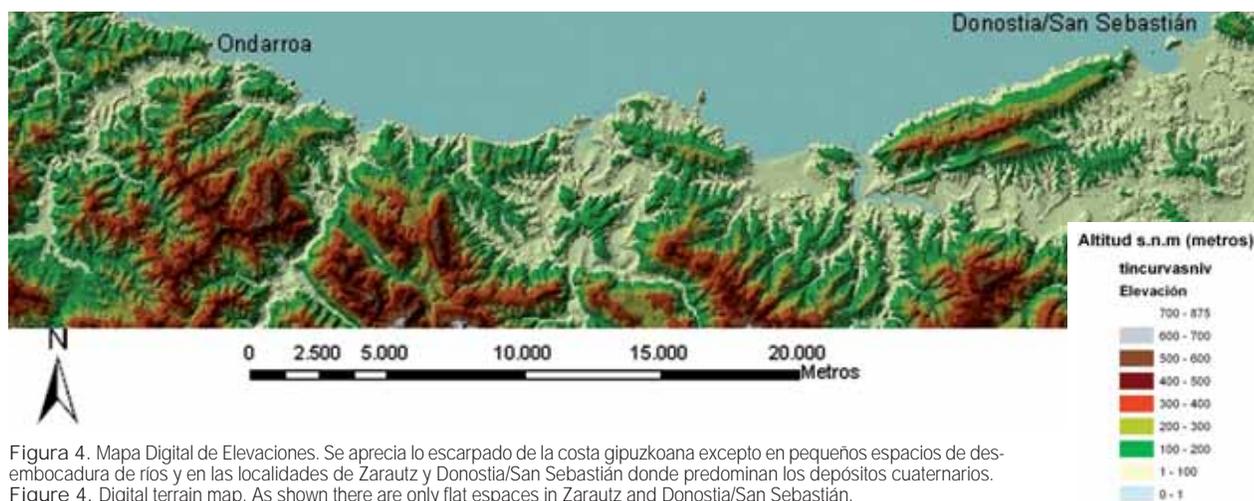


Figura 4. Mapa Digital de Elevaciones. Se aprecia lo escarpado de la costa gipuzkoana excepto en pequeños espacios de desembocadura de ríos y en las localidades de Zarautz y Donostia/San Sebastián donde predominan los depósitos cuaternarios.  
Figure 4. Digital terrain map. As shown there are only flat spaces in Zarautz and Donostia/San Sebastián.

Las posibilidades de ArcGis10 se ven aumentadas en cuanto se hace uso de alguno de los múltiples módulos que dispone. Uno de los utilizados, ArcScene permite la visualización en 3D de la ortofotografía al superponerla al MDT (grado de exageración doble para mejorar visualización) para un reconocimiento general de la costa.



Figura 5. Imagen en tres dimensiones, a modo de ejemplo, de dos tramos de la costa gipuzkoana. Elevación exagerada (x2) para apreciar con mayor calidad lo escarpado de la costa.

Figure 5. 3d exaggerated image (x2) in which steep coast can be appreciated.

Además de las citadas imágenes se utilizan imágenes satelitales procedentes de SPOT5. Este satélite es el último de los SPOT lanzados al espacio por la Agencia Espacial Francesa con colaboración de Bélgica y Suecia desde 1978 y cuenta con instrumentos HRS (alta resolución estereoscópica en sus siglas en francés) para una óptima reconstrucción del relieve de un paisaje y HRG (alta resolución geométrica) en una resolución de 2,5m. El satélite Spot se sitúa en una órbita de 822 km de altitud respecto al Ecuador y proporciona imágenes a partir de dos imágenes de 5m adquiridas simultáneamente. El total de bandas disponibles es el que sigue: 4 bandas en 10m multiespectrales (Verde banda 1, Rojo banda 2, Infrarrojo cercano banda 3 e Infrarrojo medio banda 4) además de 5m en modo pancromático y 2.5m en súper-modo pancromático. A lo que se le añade una frecuencia de observación de 3 días.

## 2.1. Área de estudio y síntesis evolutiva

Para la realización de este trabajo se ha escogido una zona litoral de génesis diversa y muy irregular en donde se intercalan estuarios (Artibai, Deba, Urola y Oria) y bahías (La Concha, Zarautz) con una costa muy escarpada. El área de estudio se extiende a lo largo de 46 km entre el municipio de Donostia/ San Sebastián hasta el municipio vizcaíno de Ondarroa siendo una costa poco recortada y muy abrupta cuyas características provocan que los cambios del nivel marino se deban a factores glacioclásticos y tectónicos a consecuencia de movimientos de las placas Ibérica y Europea (González Amuchastegi, 2000).

La franja litoral a la que nos referimos pertenece al dominio del Arco Vasco formado por materiales Mesozoicos y Terciarios particularmente calizas jurásicas, arrecifales, margas calcáreas, areniscas y arcillas del Complejo Urgoniano, mientras que existen materiales Supraurgonianos compuestos por alternancia de lutitas negras y areniscas. El flysch sito entre Deba y Zumaia supone una excepción por su diferente orientación y litología que abarca rocas sedimentarias desde el Cretácico inferior (zona Oeste, Deba) hasta del Paleógeno inferior (zona Este, Zumaia). En toda la costa se encuentran además depósitos cuaternarios ligados a procesos fluviales o de ladera.

En el litoral vasco solo se han identificado dos niveles de rasas (González Amuchastegi, 2000), bien documentados, situados a 40m y 6m s.n.m. (nivel interglaciar) y ninguno de ellos localizado en el área de estudio pero dadas las modificaciones que acontecen en el ámbito local respecto a las curvas generales de evolución de los niveles marinos cabe pensar que algunas de las rasas encontradas puedan pertenecer a variabilidad local.



Figura 6. Mapa Geológico 1:50000. Instituto Geológico y Minero de España. Leyenda en el Anexo Figura 14.  
Figure 6. Geological Map in 1:50000 scale. Geological and Mining Institute of Spain. Caption is shown in the annex Figure 14.

La reconstrucción cuaternaria del litoral suele comenzarse por el último interglaciar, momento de la gran transgresión Eemiense y causante del modelado de rasa marina a 6m sobre el nivel del mar (González Amuchastegi, 2000), ya que las rasas marinas a niveles superiores son de origen mucho más antiguo y de posible origen tectónico. A partir de ese momento se suceden una serie de fases predominantemente frías y con una importante regresión marina hasta el Último Máximo Glaciar. Durante el periodo Tardiglaciar y hasta el Holoceno (unos 3000 años) se suceden cambios rápidos y bruscos entre periodos fríos y secos y periodos frescos y húmedos durante los cuales se desmantelaron por erosión algunos depósitos sedimentarios. A partir de entonces las temperaturas ascendieron de forma paulatina hasta el óptimo climático (14º de temperatura media global) durante el Younger Dryas. Durante este periodo el mar llegó a situarse 2m por encima del nivel actual (González Amuchastegi, 2000) en la que se conoce como transgresión Flandriense (10.000BP-4.500BP). A partir de entonces y hasta 1.200BP se entra de nuevo en un periodo de enfriamiento más leve conocido como Neoglaciación donde coincide con la caída de grandes imperios instaurados hasta el momento como la civilización egipcia o la mesopotámica y una serie de cambios climáticos más estudiados debido al conocimiento de etapas más recientes (Anexo Figura 1).

## 2.2. Procedimiento

Una vez realizados los mapas de localización, curvas de nivel, MDE y en 3D y localizadas las posibles rasas mareales se utilizarán las imágenes de satélite SPOT5 para aportar información al estudio. Mediante este programa de procesamiento de imágenes especializado en manejo de datos multidimensionales obtenidos por teledetección desde aviones y satélites, analizaremos imágenes multispectrales de satélite SPOT5 que ajustadas a gusto del usuario permiten la máxima separación de elementos en la imagen. Funciona mediante un formato de datos ráster generalizado siendo un fichero binario plano y un fichero de texto asociado tipo ASCII.

El ENVI es en definitiva un programa de sistemas de información geográfica para imágenes satélite mediante las cuales realizar, transformaciones, clasificaciones, georeferenciaciones, ortorectificaciones, análisis topográfico y aplicaciones de filtros para máxima visualización del terreno.

## 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera general puede afirmarse que debido a lo acantilado de la costa vasca existen pocas áreas llanas en el litoral, muchas de esas zonas además, son de génesis antrópica para el uso intensivo de suelo llano casi inexistente en la región. Se trata asimismo de una zona densamente poblada donde prevalece el tipo de construcción dispersa en forma de viviendas unifamiliares en las que predominan actualmente negocios de agroturismo, campings, restaurantes y segundas viviendas de verano.

De la selección preliminar de las rasas mareales emergidas se descartan algunas de las elegidas por ser de origen antrópico. Además existen importantes problemas de accesibilidad, tanto por lo escarpado

de la costa como por ser, en muchos, casos terrenos de propiedad privada, por lo que algunas de las áreas llanas también se descartan. Otro de los motivos para eliminar del estudio algunas de las rasas mareales fue su reducido tamaño que impedía la utilización de imágenes satelitales para el estudio.

Se escogieron algunas posibles plataformas de abrasión relictas situadas en las localidades de Mutriku y Orio, en concreto 2 en Mutriku y 5 en Orio de manera que algunas otras posibles rasas mareales fueron descartadas para concentrarse en las escogidas. Fueron elegidas por su variada tipología y génesis.

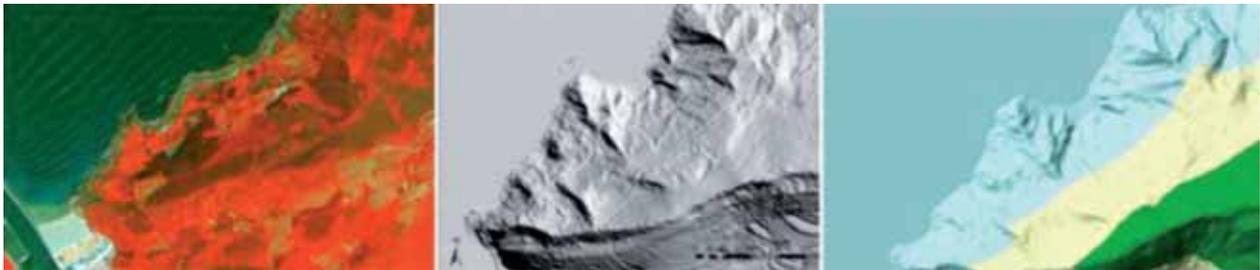


Figura 7. Comparación resumen de las imágenes SPOT5, LIDAR y MDT.  
Figure 7. Comparison between SPOT5, LIDAR and digital terrain map.

La costa Vasca en general y la guipuzcoana en particular es muy acantilada, escarpada y rectilínea debido al fuerte oleaje predominante de dirección NW-SE, relacionado con la posición geográfica del Golfo de Vizcaya. Su significativa diferencia intermareal facilita y ha facilitado en el tiempo el desarrollo de rasas mareales, cuyo mejor ejemplo es la rasa observable en la costa que erosiona el flysch entre Zumaia y Deba, aunque en la costa vasca existen variados ejemplos de la actual rasa mareales presente en el tramo de costa entre Saturrarán y Mutriku, el oeste de Ondarroa, Armintza-Lemoiz o Barrika. Este proceso se ha venido repitiendo y las señales que nos indican este proceso en el pasado son las rasas mareales elevadas. A pesar de no haber demasiados estudios bien documentados en el País Vasco, destacan las plataformas de abrasión emergidas en el entorno del monte Jaizkibel. En él existen varias zonas planas interpretadas como antiguas rasas mareales. Asimismo, otro rasgo característico de las rasas mareales colgadas es la presencia de sedimentos marinos.

Comenzando el itinerario en dirección Este, la primera posible rasa mareal se localiza en el municipio gipuzkoano de Mutriku, situada en las coordenadas 547941 en X y 4796742 en Y frente a la playa de Saturrarán en la bahía de Ondarroa. Localizada concretamente en los terrenos de un antiguo case-río (Saturrarán Zahar) de titularidad privada, a pesar de que el Ministerio de Medio Ambiente ha inten-



Figura 8. Plataforma emergida en la playa de Saturrarán, se aprecia el desarrollo de la rasa mareal actual.

Fuente: <http://www.euskalnet.net/ene.anav/donosti.htm>.

Figure 8. Emerged shore platform in the beach of Saturrarán in Mutriku. The creation of the present shore platform can be seen.

tado adquirirlo para pasarlo a titularidad pública, y por lo tanto inaccesibles. Tras la zona arenosa se extiende una importante rasa mareal conocida como Zazpi Hondartza. La extensión de esta área llana es de 1.517m<sup>2</sup> y varía entre una altura de 5m en su punto más bajo y 6m del punto más elevado.

Debido a la antropización de la zona no sería descartable que se trate de una zona llana creada ad hoc. El perfil topográfico (Anexo Figura 3) demuestra como actualmente se está desarrollando la rasa mareal, ello se aprecia en una inclinación subhorizontal los primeros 125m. Tras ella existe un escarpe de unos 6m que dan lugar a la rasa mareal de Saturrarán de unos 60m de anchura que finaliza en la ladera del monte Arno (608m). La posible rasa mareal se sitúa a unos 12m de altitud sobre el nivel del mar lo que implica la no coincidencia con los niveles identificados hasta el momento.

La segunda rasa mareal se sitúa, de igual modo, en el municipio de Mutriku en las coordenadas 549812 en X y 4795906 en Y, su área total es de 2690m<sup>2</sup>. De difícil acceso a través del Paseo de San Mikolla se encuentra en zona de urbanismo disperso donde la mayoría de la costa se encuentra en manos privadas. No se descarta que sea un relleno actual debido a la presencia de áreas de cultivo en los alrededores en forma de invernaderos y presencia de múltiples vehículos en zonas de aparcamiento. La altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentra esta posible rasa mareal es entre 38 y 40m, coincidiría de esta manera con rasas mareales emergidas identificadas y de gran continuidad en Jaizkibel, Mundaka, Plentzia y Castro-Urdiales. Según algunos criterios científicos en el último máximo glaciario el nivel del mar llegó a estar unos 6m por encima del nivel actual, lo que parece indicar que los depósitos sedimentarios por encima de ese nivel han debido ser desplazados hasta su nivel actual por movimientos tectónicos (Shakelton, 1975) siendo niveles más antiguos probablemente del Pleistoceno. (Anexo Figura 2). En el perfil topográfico (Anexo Figura 4) se aprecia claramente lo acantilado de la costa en este tramo, en apenas 20m de distancia la altura de los acantilados varía de 5m a 38msnm, es a esa altitud donde comienza la probable rasa mareal de unos 60m de anchura, apreciable por su casi nula inclinación.



Figura 9. Ortoimagen y escena 3d de la rasa mareal emergida Mutriku 2.  
Figure 9. Orthoimage and 3d scene of the emerged shore platform Mutriku 2.

Las rasas mareales escogidas en el municipio de Orio son a su vez de distinta tipología ya que se tratan de rasas mareales a distintas altitudes y de variados tamaños. Se trata de la zona costera comprendida entre la playa de La Antilla y el agroturismo Ixaspe, es acantilada y abrupta llegando hasta los 377m de altitud en el pico de Kukuarri a apenas a unos 500m de la costa.

La rasa localizada al oeste del municipio de Orio en las coordenadas 571099 en X y 4793590 en Y es de 2.197m<sup>2</sup> de extensión, 30m de anchura y se sitúa a 42m sobre el nivel del mar. Ello la localizaría en unas características parecidas a las encontradas en Jaizkibel del Paleozoico Medio. En el perfil topográfico (Anexo Figura 5) se aprecia que esta costa es muy abrupta (desnivel de 100m en apenas 200m) aunque con acantilados menos verticales que la costa de Mutriku. A unos 100m del mar se aprecia un área llana de apenas 30m de anchura que posee características de rasa mareal colgada.

La segunda rasa mareal del municipio de Orio se localiza sobre las coordenadas 571295 en X y 4793770 en Y. Se sitúa a menor altitud que todas las rasas analizadas hasta el momento ya que no su-



Figura 10. Orio 1, se aprecia con claridad el espacio llano que conforma la rasa mareal emergida, desarrollada sobre un acantilado a 42 m.s.n.m.  
Figure 10. Orio 1, the flat espace seen in the image composes the emerged shore platform at 42 m. a. s. l.



Figura 11. Orio 2, rasa mareal equivalente a la transgresión flandriense cuando el nivel del mar era 2 metros superior al actual.  
Figure 11. Orio 2, shore platform equivalent to flandrian transgression when the sea level was 2 m above current level.

pera los 5m de altitud sobre el nivel del mar. Localizada a los pies de una costa muy abrupta se trata de una zona subhorizontal de 1.544m<sup>2</sup> de extensión. La rasa mareal comienza a 2m de altitud y llega hasta los 5m en 34m de anchura, estas características son coincidentes con la transgresión Flandriense (6000BP) asociada a un periodo cálido por el que el nivel del mar se situaba 1 o 2 metros por encima del nivel actual. El perfil topográfico (Anexo Figura 6) demuestra claramente la zona subhorizontal en el extremo litoral.



Figura 12. Orio 3, rasa mareal de pequeño tamaño localizada a 150 metros de Orio 2.  
 Figure 12. Emerged shore platform Orio 3, of small size located to 150 metres from Orio 2.

Continuando hacia el este y a apenas unos 150m de la anterior rasa mareal, en las coordenadas 571370 en X y 4793824 en Y, se extiende una pequeña rasa mareal emergida de 603m<sup>2</sup> en fuerte divergencia con esta zona de la costa especialmente escarpada. En el perfil topográfico (Anexo Figura 7) se aprecia un área cuasi llana a 31m de altitud sobre el nivel del mar y 20m de anchura que contrasta con el acantilado (desnivel de 28m en distancia de 22m) y en menor medida, con el escarpe transversal trasero. A pesar de encontrarse a pocos metros del camino que une La Antilla con el caserío Itxaspe es un lugar inaccesible.

A los pies del agroturismo Itxaspe en las coordendas 571727 en X y 4794075 en Y se localiza la rasa mareal más oriental de las analizadas en este proyecto de tesis máster. A primera vista se aprecia que está siendo utilizada como área de cultivo pero a pesar de ello tiene una morfología característica que hace pensar que el uso agrícola proceda precisamente por las características llanas del terreno. Posee un área de 628m<sup>2</sup> y se halla a entre 13 y 15 de altitud sobre el nivel del mar. El perfil topográfico (Anexo Figura 8) revela que la rasa de 20m de anchura, se encuentra entre terrenos de elevada pendiente repletos de plantaciones de pinos.

La última rasa mareal analizada concuerda con el nivel de transgresión Eemiense cuando la temperatura global era como mínimo 2°C superior a la actual influyendo de igual modo en las temperaturas



Figura 13. Orio 4, rasa con la localización más oriental de las tratadas en el estudio. Situada a 15 m. s. n. m. no se corresponde con niveles de rasas anteriormente analizados.

Figure 13. Orio 4, easternmost location of the case of study. Located at 15 m. a. s. l. doesn't correspond to any shore platform level previously studied.



Figura 14. Orio 5, por su situación a entre 5 y 6 m. s. n. m. podría corresponderse con el nivel de Transgresión Eemiense.

Figure 14. Orio 5, located at between 5 and 6 m. a. s. l. it could correspond to the Eemian Transgression.

de los océanos. Se cree que todo ello sucedía debido a una órbita de la Tierra más circular que la actual e incluso que el ángulo de inclinación del planeta era mayor que el actual, lo que provocaba un aumento de la radiación en verano. Nuestra rasa emergida se sitúa en las coordenadas 571662 en X y 4794064 en Y. Su extensión es de 792m<sup>2</sup> y su anchura de 10m aproximadamente. Se encuentra en una zona rodeada de acantilados de fuertes pendientes por lo que es inaccesible. Es una zona bastante protegida ya que se encuentra tras una pequeña elevación que resguarda de los vientos predominantes del NW en nuestras costas, por lo que podría ser un buen lugar de habitación para grupos prehistóricos. La zona llana se encuentra cubierta por una vegetación rala y algunos bloques de gran tamaño procedentes del escarpe superior. En el perfil topográfico (Anexo Figura 9) se aprecia claramente la ruptura de pendiente a 5 metros de altitud y la erosión del escarpe, mientras que en el nivel del mar actual se sigue desarrollando una rasa mareal.

En el monte Talaimendi, entre los municipios de Zarautz y Orio, al este de las reconocibles rocas de Mallaria, existen algunas pistas que podrían indicar cambios en el nivel del mar. En la imagen se aprecia como no existe una rasa mareal como tal pero se adivina que el mar erosionó parte del acantilado provocando un escalonamiento.

Las imágenes obtenidas mediante el procesador de imágenes ENVI (Anexo Figuras 10 y 11), permite observar las rasas desde otra perspectiva. En ellas y tras aplicar los filtros adaptativos se aprecia que las rasas mareales difieren en color en cualquiera de los filtros, ello se debe a un tipo de colonización vegetal diferente por el distinto material que las soportan. Los filtros aplicados han sido Gamma y Frost que aportan mayor resalte y una imagen menos moteada lo que facilita la visión. A pesar de ello los resultados no han sido todo lo buenos que se esperaba.

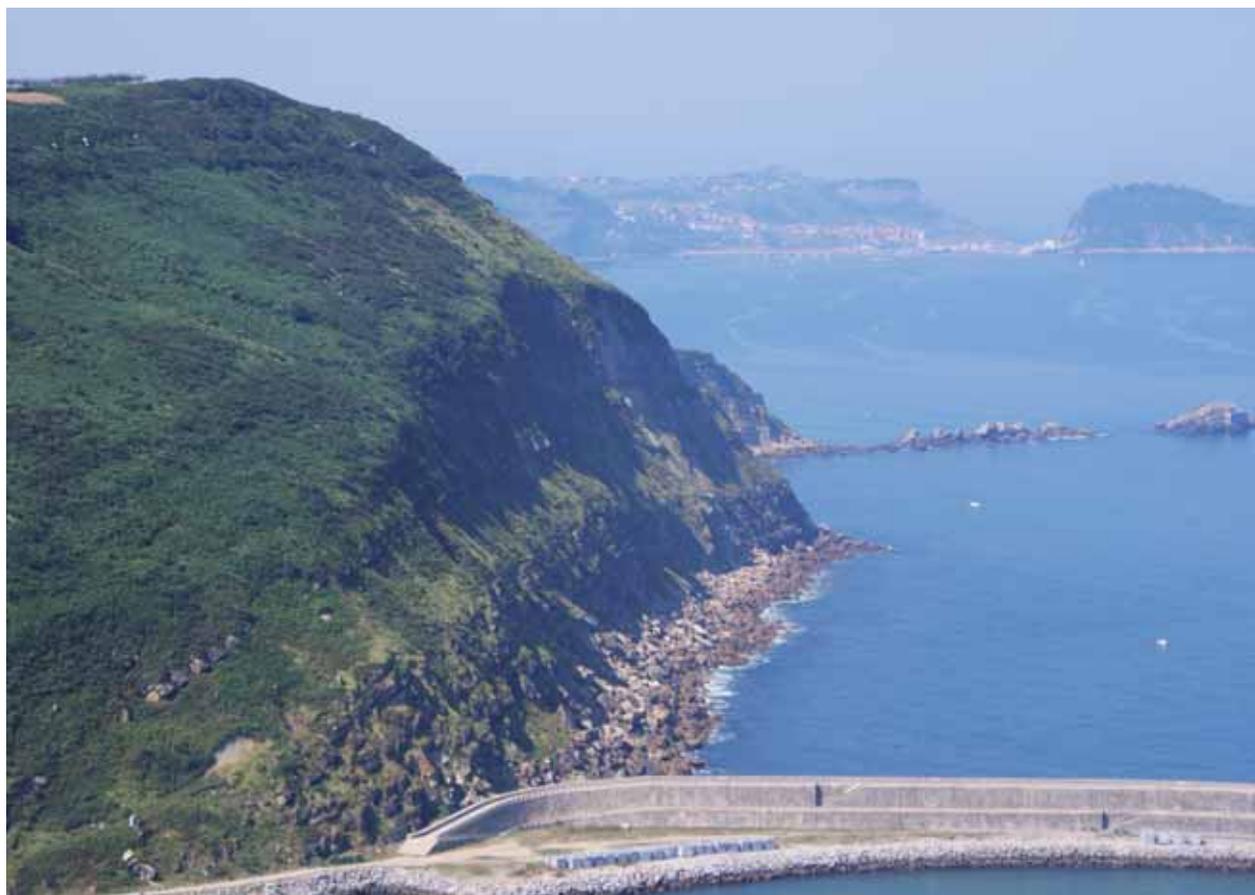


Figura 15. A pesar de no tratarse de una rasa mareal emergida se demuestra mediante la imagen evidencias de niveles marítimos más elevados que el actual en Talaimendi (Zarautz).

Figure 15. Evidence of sea level higher than the current level seen in Talaimendi (Zarautz).

#### 4.- CONCLUSIONES

El análisis del impacto del cuaternario en el litoral vasco aún se encuentra en fase de iniciación. Existen pocos trabajos al respecto, algunos meramente descriptivos, y se han identificado solo dos niveles de rasas mareales. Mediante este trabajo de caracterización preliminar se ha pretendido utilizar técnicas existentes y de amplia utilización pero poco manejadas en este ámbito.

Los primeros resultados indican que existen rasas mareales relacionadas con los niveles existentes pero también a altitudes que no se corresponden con los citados niveles. Es en este momento cuando el trabajo debería continuar con un análisis sedimentológico para comprobar si se tratan de suelos arenosos y disponen de concheros como prueba de que estuvieron habitados.

La mayor dificultad de este proyecto ha consistido en los problemas de accesibilidad a algunos lugares, es por ello por lo que se descartaron algunas posibles rasas mareales. No simplemente por la dificultad que entrañaban si no porque muchas de las áreas llanas se encontraban en zonas privadas o de paso privado a las que era imposible acceder. Cabría la posibilidad de continuar el estudio con un barco para acceder a calas.

En definitiva, siendo una costa de similares características a la que se encuentra en Jaizkibel y siendo zonas costeras refugiadas de los vientos predominantes del NW si se afirmase con rotundidad, tras los análisis sedimentológicos, que son auténticas rasas mareales, podría resultar que se encuentren de la misma forma restos de actividad humana.

#### 5.- AGRADECIMIENTOS

Me gustaría, ahora que termina el Máster en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana, agradecer a las siguientes personas su presencia y apoyo sin quienes no hubiese sido posible escribir este proyecto:

En primer lugar a Luis Eguíluz, director de mi tesis, por su ayuda en la elaboración de este proyecto dejándome la libertad de enfocar el trabajo a mi manera pero colaborando en todo momento.

De forma muy especial a Askoa Ibisate González de Matauko con quien trabajo en el proyecto de investigación SCARCE y que fué quien más me apoyó en la realización de este máster. Sin su convencimiento jamás lo hubiese realizado.

A Alejandro Cearreta, excelente director del máster, a los miembros del jurado que aportaron sus conocimientos en las propuestas de los trabajos, a los profesores del máster de los cuales he aprendido mucho y a los compañeros, especialmente Miren del Val que ha sido una encantadora compañera.

A Iñigo Orue por su ayuda con el programa informático ENVI

A José Miguel Edeso por ser fuente de inspiración para la realización de este proyecto de fin de máster.

Y sobre todo y ante todos a Maialen por su apoyo, ayuda, paciencia y cariño.

#### 6.- BIBLIOGRAFÍA

BORJA, A., COLLINS, M.

2004 *Oceanography and Marine environment of the Basque Country*. Elsevier. Amsterdam, Países Bajos.

CHANTADA, J.R., CASCIANI, M.

2006 Aplicaciones de SIG y teledetección en la exploración de patrones arqueológicos en el ámbito geográfico del Gran Coclé.

CHUVIECO, E.

2002 *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Ed Ariel. Barcelona.

EDESO, J.M.

1988 Microformas en las areniscas eocenas de la formación Jaizkibel. *Lurralde*, 11: 57-84.

1992 Variaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno Medio (Extremo oriental de Guipúzcoa. País Vasco). *Biblid*, 15: 63-106.

EDESIO, J.M., UGARTE, F.M.

1993 Algunos datos sobre la Paleo-Geografía litoral cuaternaria de la costa: Jaizkibel-Bahía de Txingudi (Golfo de Vizcaya).

GONZÁLEZ AMUCHÁSTEGI, M.J.

2000 Evolución morfoclimática del País Vasco durante el cuaternario: estado de la cuestión. *Rev. C. & G.*, 14: 79-99.

PALAMARA, D.R. DICKSON, M.E. KENEDY, D.M.

2007 Defining shore platform boundaries using airborne laser scan data: a preliminary. *Earth Surf. Process. Landforms*, 32: 945-953.

SANJAUME, E. MATEU, J.M.

2005 *Geomorfología Litoral i Quaternari. Homenatge al professor Vicenç M. Roselló i Verger*. Ed PUV Barcelona.

SHAKELTON, N.J.

1975 The stratigraphic record of deep-sea cores and its implications for the assessment of Glacials and Interstadials in the Mid-Pleistocene. En: *After the Australopithecines*. Butzer, K.W., Isaac, G.L. eds. 1-24.

ZAZO, C. DABRIO, C.J. GOY, J.L. LARIO, J. CABERO, A. SILVA, P.G. BARDAJÍ, T. MERCIER, N. BORJA, F. ROQUERO, E.

2008 The coastal archives of the last 15 ky in the Atlantic-Mediterranean Spanish linkage area: Sea level and climate changes. *Quaternary International*, 181: 72-87.

## 7.- ANEXOS

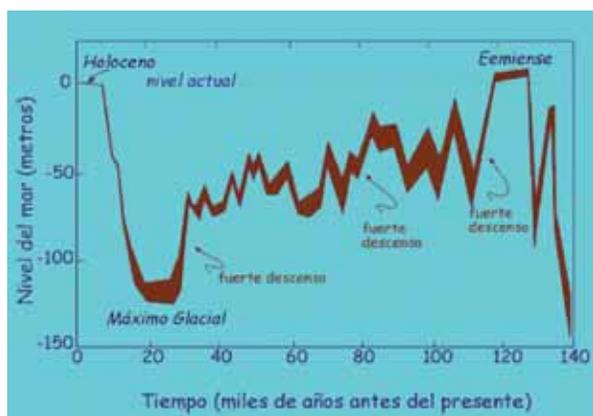
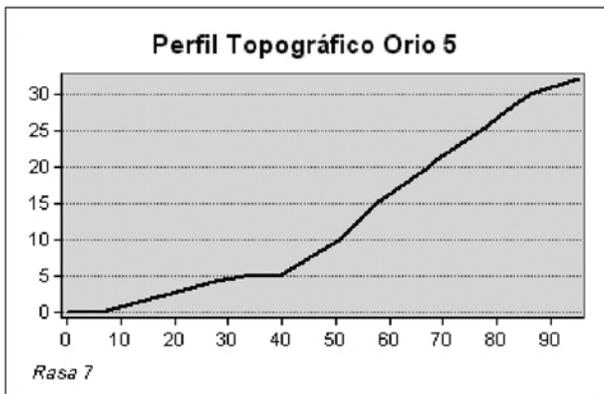
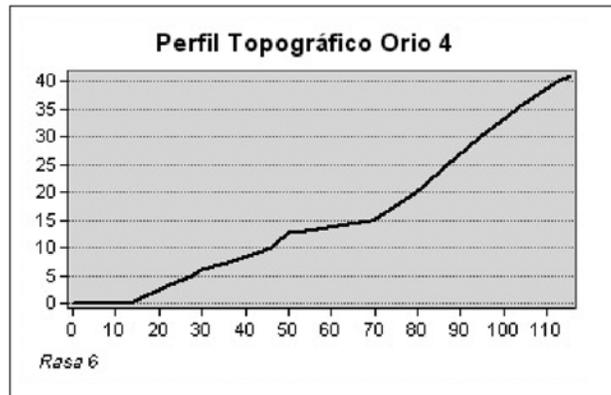
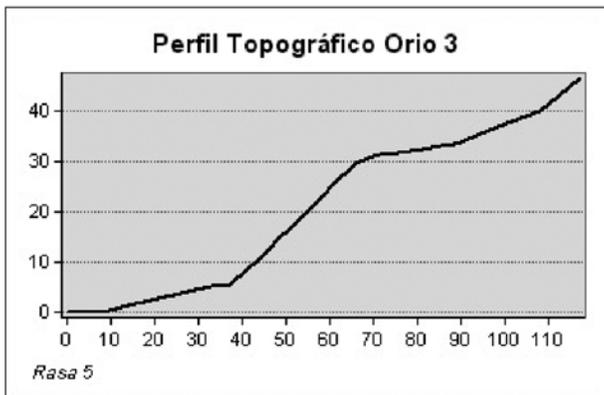
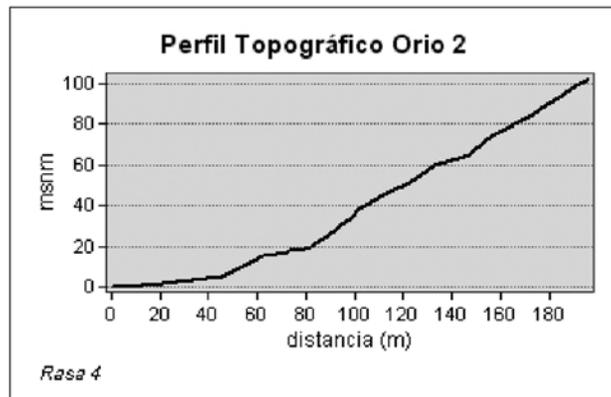
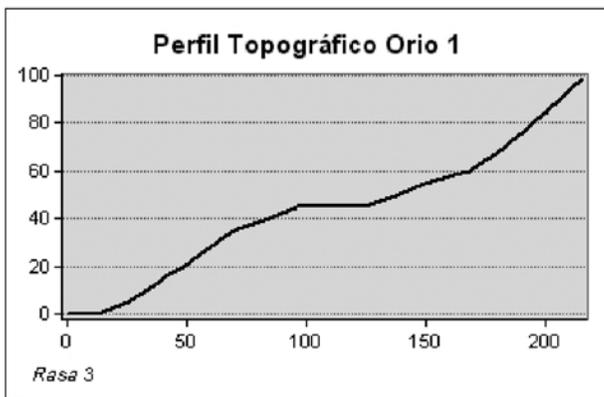
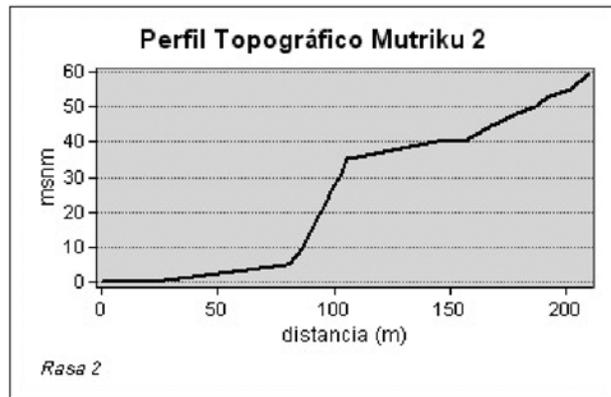
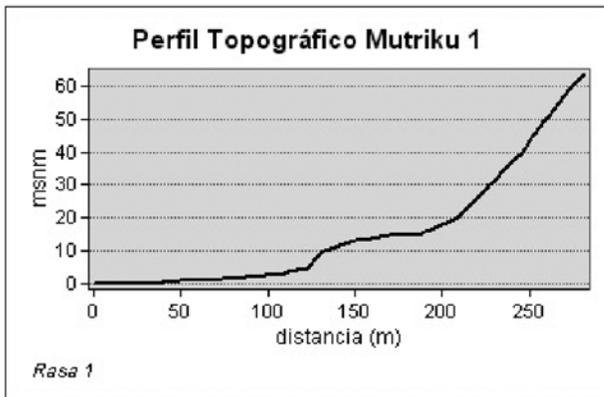


Figura 1. Evolución del nivel del mar. Antón Uriarte.  
Figure 1. Sea-level evolution by Antón Uriarte.

		Cronología				
Época	Edad (B. P.)	Periodo climático	E.I.	Manifestación	Localización	
Holoceno	0	Actual		Transgresión Regresión. Formación de dunas	Estuario del Bidasoa, Zumaia Gros-Miracruz, Fuenterrabía, Zarauz, Zumaia, Gorliz Jaizkibel, Punta Mendata	
		Subatlántico	1	Transgresión Dunquerqueense	Jaizkibel, Punta Mendata	
	10.000	Subboreal Atlántico Boreal Preboreal		Regresión Formación de dunas Transgresión Flandriense	Zarauz, Bidasoa, Gorliz Estuarios cantábricos: Pasajes, Gemika, Bilbao, Bidasoa, Zarauz	
Pleistoceno Superior		Tardiglaciario		Mantenimiento regresión	La Gironde, Fondo Abisal Golfo de Bizkaia	
	18.000	LGM	2	Regresión	La Gironde, Fondo Abisal Golfo de Bizkaia	
			3	Transgresión	La Gironde, Fondo Abisal Golfo de Bizkaia	
	90.000		4 5 a,b			
	125.000	LIG	5 c,d	Regresión	Fondo Abisal Golfo de Bizkaia	
Pleistoceno Medio			5e	Depósitos marinos + 3-6 m.	Castro Urdiales, Gorliz, Zarauz y Anzarán	
	190.000	GM	6			
	250.000	Interglaciario Holsteiniense	7	Rasa +40 m	Castro Urdiales, Bilbao- Plentzia, Bermeo-Mundaka y Jaizkibel-Bidasoa	

Tabla 1. Niveles Marinos. E.I.: Estadio isotópico; GM: Máximo Glaciario; LIG: Último Interglaciario; LG.: Último Máximo Glaciario. La tabla refleja los resultados de la bibliografía citada en el texto.

Table 1. Marine Levels. E.I.: Isotopic stage; GM: Glacial maximum; LIG: Last interglacial; LGM Last glacial maxima. Table reflects the results of the literature cited in the text.



Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9. Perfiles topográficos de rasas seleccionadas.  
 Figures 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9. Topographic profiles of the selected shore platforms.

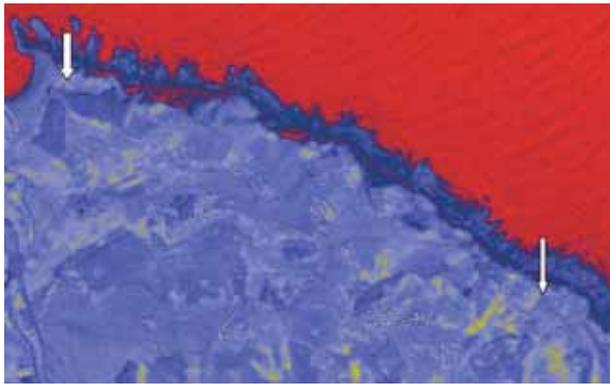


Figura 09 y 10. Imágenes tratadas con el procesador informático ENVI.  
Figure 09 and 10. Images produced by the ENVI computer processor.



Figura 11. Imagen 3D de la selección preliminar de posibles plataformas de abrasión emergidas.  
Figure 11. 3D image of the preliminary selection of possible relict shore platforms.



Figura 12. Detalle 3D de la desembocadura del Río Oria. En la margen derecha del río se sitúan la mayoría de rasas mareales colgadas analizadas en este trabajo.  
Figure 12. 3D detail of the Oria estuary mouth. Most of the relict shore platforms analysed in this study are located on the right bank of the river.

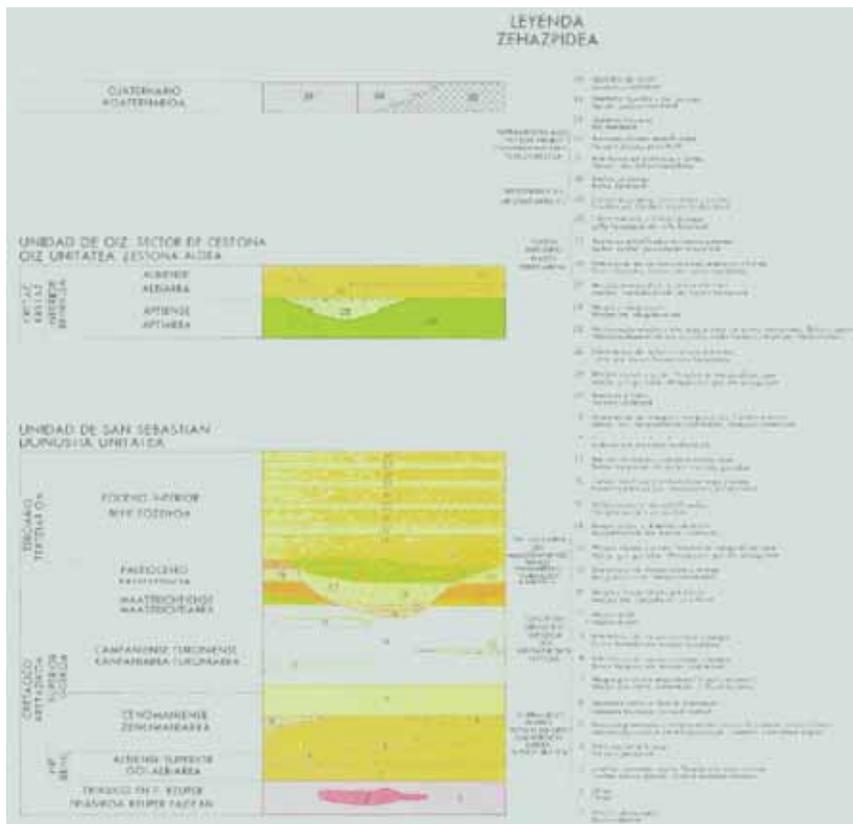


Figura 13. Leyenda mapa geológico 1:50000.  
Figure 13. Legend of the geological map 1:50.000.



# Utilización de los Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LiDAR como instrumento de análisis geomorfológico en el valle del río Oiartzun (Gipuzkoa).

Using LiDAR derived Digital Elevation Models from LiDAR data as geomorphological analysis tool in Oiartzun river valley (Gipuzkoa, North Spain)

**PALABRAS CLAVES:** Terrazas fluviales, LiDAR, MDE, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Oiartzun (Gipuzkoa).  
**KEY WORDS:** Fluvial terraces, LiDAR, DEM, Geographic Information Systems (GIS), Oiartzun (Gipuzkoa).

Miren del VAL BLANCO<sup>(1)</sup>

## RESUMEN

En el presente trabajo se plantea el desarrollo de una metodología basada en Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LiDAR para la detección de terrazas fluviales. El proceso de tal metodología consiste en un tratamiento de los datos LiDAR mediante Sistemas de Información Geográfica, combinado posteriormente con fotointerpretación mediante estereoscopia digital y trabajo de campo. Se ha tomado como "cuenca piloto" el valle del río Oiartzun, en el que se han detectado once niveles de terraza: T2, T5, T7, T10, T17, T25, T30-35, T50-60, T75-80, T100 y T120-130.

Se ha podido verificar por tanto la efectividad del método mediante SIG propuesto y la validez de los datos LiDAR para la detección de las terrazas fluviales, ya que facilita el trabajo de búsqueda, acotando las zonas potenciales de forma rápida y precisa. Un trabajo más extenso de caracterización de los depósitos fluviales, estudios sedimentológicos y cronoestratigráficos de los depósitos hallados permitirán el estudio de la evolución cuaternaria del valle de Oiartzun.

## ABSTRACT

In this work we propose a methodology for detection of fluvial terraces based on Digital Elevation Models and LiDAR data. The process consists of a treatment of LiDAR data with Geographic Information Systems, later combined with digital stereoscopic photointerpretation and fieldwork. The work has been carried out in the Oiartzun river valley, in which eleven potential terrace levels have been detected: T2, T5, T7, T10, T17, T25, T30-35, T50-60, T75-80, T100 and T120-130.

It has been possible to verify both the effectiveness of the GIS method and the validity of the LiDAR data for the detection of fluvial terraces, as well as checking up on its purpose for limiting potential study areas quickly and accurately. Afterwards, a more extensive characterization of the fluvial deposits, sedimentological and chronostratigraphic studies should be done for the study of the Quaternary evolution of the Oiartzun Valley.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Los valles fluviales de las cuencas cantábricas y sobre todo sus terrazas fluviales, han sido escasamente estudiadas. Frente al amplio estudio que existe sobre las terrazas fluviales en la vertiente Mediterránea de la Península Ibérica, las dificultades de estudio del margen cantábrico hacen que los trabajos sean mucho más escasos.

Se trata de valles estrechos y relativamente cortos, donde los ríos llevan grandes caudales debido a la alta pluviosidad típica del clima atlántico, generando altas tasas de erosión. Por tanto, son escasos los vestigios que quedan de sus terrazas.

No obstante, y debido a los avances en la teledetección, existen hoy en día a nuestra disposición nuevas modalidades de datos de alta precisión que potencialmente pueden ser útiles a la hora de detectar terrazas fluviales sobre el terreno. Es el caso de los datos LiDAR (*Light Detection and Ranging*), que para el territorio de la Comunidad Autónoma Vasca están disponibles de forma pública y gratuita.

<sup>(1)</sup> Laboratorio de Evolución Humana. Departamento Ciencias Históricas y Geografía. Universidad de Burgos. Plaza de Misael Bañuelos s/n, Edificio I+D+i. 09001, Burgos SPAIN. Email: mirendelval@hotmail.com

\* Mención especial a la Memoria de Tesis más relevante del curso 2011-12 concedida por la Comisión Académica del Máster en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana.

## 1.1. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo, es el de comprobar la validez de la información de los datos LiDAR y su posterior tratamiento con Sistemas de Información Geográfica (en adelante SIG) para la detección de elementos geomorfológicos y el estudio de la evolución cuaternaria de los valles fluviales de la vertiente cantábrica.

Para cumplir este objetivo, se ha seleccionado un valle "piloto" adecuado a las características de este trabajo de investigación y al tiempo disponible. El valle seleccionado es el valle del río Oiartzun (Giuzkoa oriental), dado que es un valle dimensiones reducidas y por tanto el volumen de datos a manejar es el adecuado para este trabajo, como se explica a continuación.

## 1.2. Localización geográfica y descripción geológica del área de estudio

El Valle del Oiartzun está situado en el noreste de la Comunidad Autónoma del País Vasco (Figura 1). El río nace en el Monte Blanditz (Peñas de Aia) y desemboca en la Bahía de Pasaia, recorriendo 16,5 km. La cuenca tiene una superficie de 85 km<sup>2</sup>, completamente integrada en la provincia de Gipuzkoa. Este

valle ha sufrido un alto grado de antropización del paisaje, y por tanto, la mitad superior está bastante bien conservada, pero la mitad inferior presenta tramos más alterados por asentamientos urbanos e industriales en las llanuras de inundación. El tramo alto del río presenta pendientes muy escarpadas y el tramo bajo está totalmente antropizado, por lo que el estudio se ha desarrollado en el curso medio del río, entre los barrios de Ergoien y Ugaldetxo (Oiartzun), donde la amplitud del valle y una menor antropización permitirían la conservación de las terrazas fluviales.

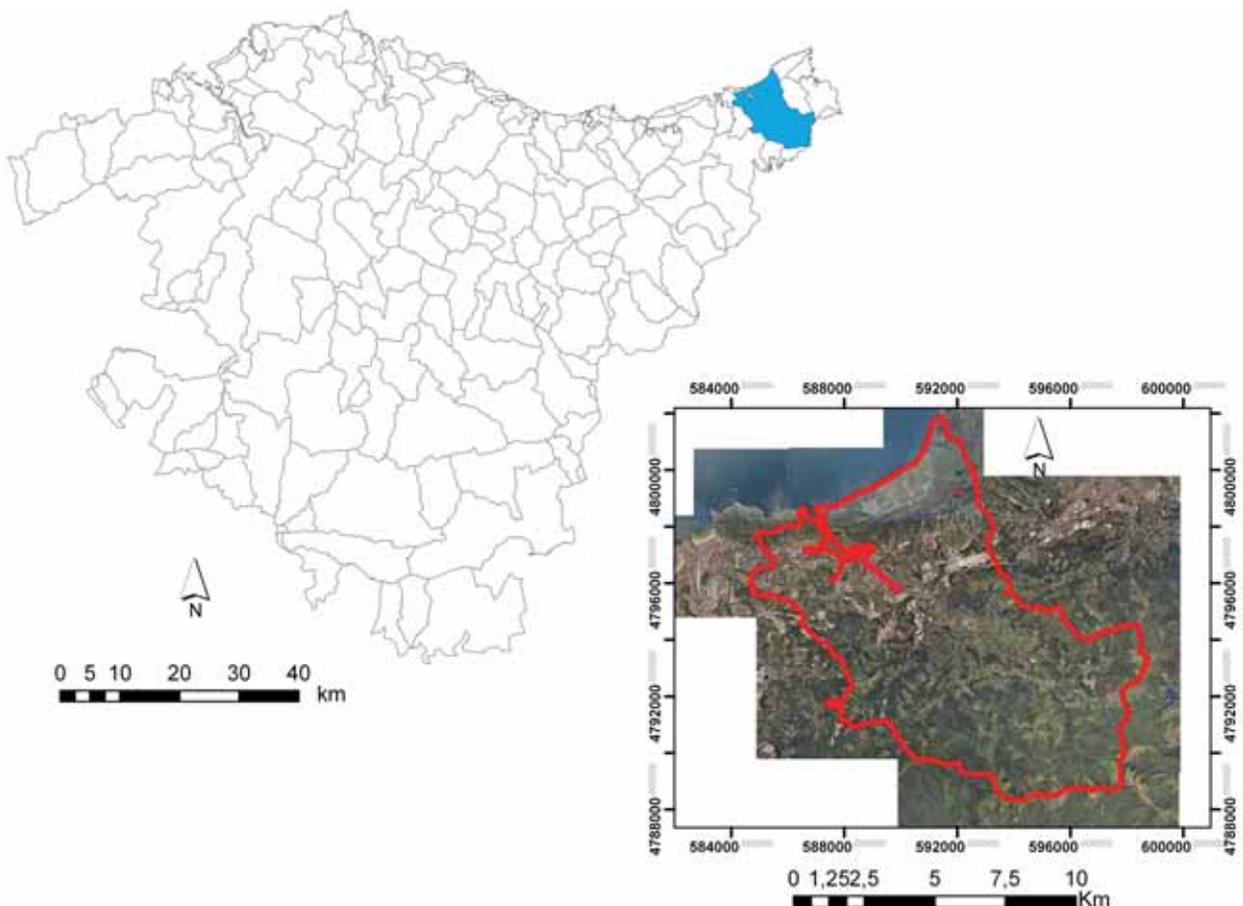


Figura 1. Mapa de localización de la cuenca hidrográfica del río Oiartzun.  
Figure 1. Oiartzun river's basin's location map.

En el área de estudio, los materiales cuaternarios aparecen asociados a los tramos fluviales del curso medio y bajo del Río Oiartzun y a las zonas de marismas de Erreterria, Lezo y Pasaia (Figura 2). Durante la última glaciación, el mar Cantábrico estaba 100-120 metros por debajo del nivel actual y la línea de costa se situaba a unos 13 Kilómetros de su posición actual, de manera que el río Oiartzun transcurría por la actual bahía de Pasajes y atravesaba las rocas de Jaizkibel y Ulía. Con la transgresión marina holocena, el mar inundó la Bahía de Pasajes y el actual emplazamiento de Erreterria se convirtió en zona de marismas (TORRES y VIERA, 1998).

En el curso medio del río, en la zona de Ergoien y Ugaldetxo, el curso fluvial atraviesa materiales blandos del Triásico (lutitas), sobre las que el río ha desarrollado un sistema de terrazas fluviales, donde los materiales más abundantes son los cantos rodados y gravas compuestos por granito, pizarra, arenisca y cuarzo (TORRES y GUTIERREZ, 2006).

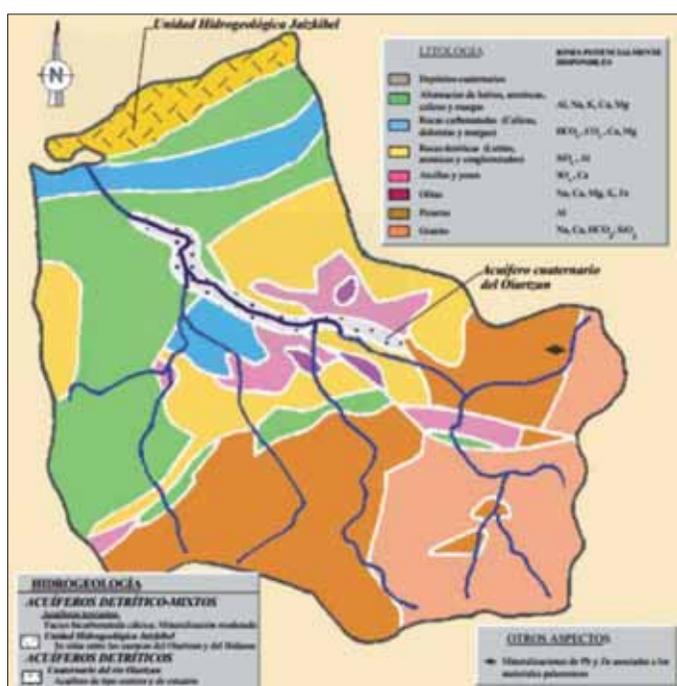


Figura 2. Mapa litológico de la cuenca. (Fuente: UR Agentzia, <http://www.ur-agentzia.euskadi.net>).  
 Figure 2. Lithological map of Oiartzun river basin. (From UR Agentzia, <http://www.ur-agentzia.euskadi.net>).

### 1.3. Antecedentes

En lo referente al conjunto de los valles cantábricos, los estudios sobre la evolución cuaternaria de los distintos ambientes sedimentarios son numerosos, aunque están principalmente centrados en ambientes costeros y estuarinos, p. ej. equipos del Dr. A. Cearreta (Universidad del País Vasco), Dr. G. Flor (Universidad de Oviedo) o centros de investigación como el IH Cantabria, INDUROT y AZTI, ambientes glaciares, equipo de la Dra. Montserrat Jiménez (Universidad de Oviedo) y el Dr. J.J. González Trueba (Universidad de Cantabria), ambientes kársticos, Dra. Arantza Aranburu (Universidad del País Vasco) y ambientes marinos de plataforma costera y talud/llanura abisal (equipos de investigación del IEO).

Respecto a los ambientes fluviales contemplados en este trabajo, existen excelentes trabajos sobre regímenes de caudales o estudios de inundabilidad, es decir, del funcionamiento hidrológico actual, realizados por distintas administraciones públicas (Comunidades Autónomas, Confederaciones Hidrológicas, etc.), pero no así para su evolución pretérita.

Son pocos los trabajos geomorfológicos y/o sedimentarios de ambientes fluviales y en su mayoría se refieren a zonas o afloramientos concretos. Este hecho no es de extrañar debido al carácter extremadamente erosivo de los sistemas fluviales cantábricos, el bajo potencial de preservación de los materiales sedimentarios y formas fluviales y las difíciles condiciones de afloramiento/reconocimiento.

En lo que respecta al valle del Río Oiartzun existen monografías sobre la geología del valle, pero el apartado dedicado a las terrazas cuaternarias es verdaderamente reducido (TORRES y GUTIERREZ, 2006). En este sentido cabe destacar los trabajos de J.M. Edeso, en los que analiza los depósitos fluviales cuaternarios del valle del Oiartzun (EDES0 y UGARTE, 1987; EDES0, 2006).

### 1.4. Hipótesis de trabajo

Partiendo de la bibliografía existente se conoce la existencia de cuatro niveles de terrazas a 20-22 m, 15-16 m, 10-12 m y 4-5 m sobre el cauce actual del río (EDES0 y UGARTE, 1987; EDES0, 2006).

El tratamiento de la información LiDAR mediante la metodología SIG desarrollado en este Trabajo de Fin de Master, permitirá delimitar estas zonas de terrazas potenciales con mayor exactitud y resolución, de manera rápida y generando una cartografía de áreas potenciales que sin duda facilitarán el trabajo de localización y caracterización de niveles de terraza en el campo; tareas que permitirán a su vez corroborar, corregir y completar la información generada mediante las herramientas informáticas (*feedback*). Esta retroalimentación entre tareas desarrolladas mediante LiDAR-SIG y en el campo es básica para el correcto desarrollo e implementación del método de investigación propuesto.

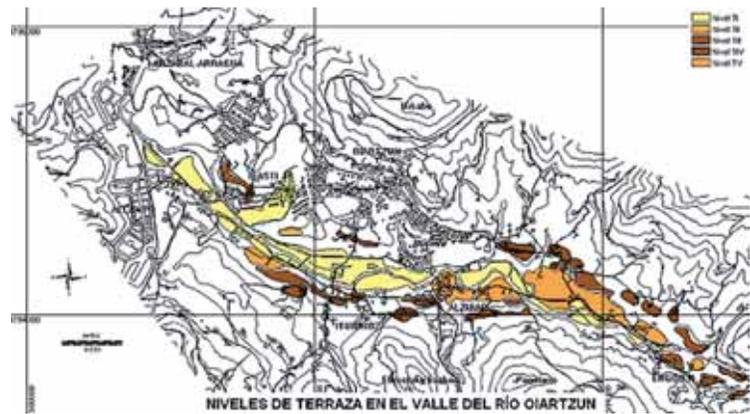


Figura 3. Localización de los niveles de terraza en el Valle del río Oiartzun (EDES, 2006).  
Figure 3. Location of the terrace levels in the Oiartzun river valley (EDES, 2006).

## 2.- METODOLOGÍA

Como ya se ha comentado previamente el estudio se centra en el tramo comprendido entre el barrio de Ugaldetxo y el de Ergoien (Oiartzun). Aguas arriba de Ergoien, encontramos el tramo de cabecera del río, el valle se cierra y los márgenes del río son más abruptos siendo altamente probable que cualquier vestigio de los depósitos fluviales haya sido erosionado debido a la alta pluviosidad y las fuertes pendientes. La dinámica predominante en el curso alto es de carácter erosivo y de transporte de sedimentos.

Del mismo modo, aguas abajo del barrio de Ugaldetxo, la antropización es significativa y ambos márgenes del río están completamente urbanizados tanto por zonas urbanas como industriales. Esta urbanización ha enmascarado totalmente la dinámica natural así como las áreas estuarinas del río en su tramo bajo entre Errenteria y Pasaia.

### 2.1. Obtención de datos

Los nuevos tipos de información topográfica han abierto nuevos caminos para los estudios hidrológicos y geomorfológicos, incluyendo análisis morfológicos superficiales, movimientos de laderas, morfología fluvial, batimetría, tectónica, modelos de inundabilidad y patrones ecológicos entre otros (TAROLLI, 2009). Debido a su creciente grado de detalle y gran accesibilidad, la información obtenida a través de la teledetección (modelo digital de elevaciones, imágenes de satélite de alta resolución y las técnicas SIG para la detección y la elaboración de mapas) se está convirtiendo cada vez más popular en los estudios geomorfológicos (SIART *et al.*, 2009).

En este trabajo el punto de partida del tratamiento SIG ha sido el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) realizado a partir de la información de veintitrés hojas de datos LiDAR de 1 Km<sup>2</sup> de cobertura. Esta información en formato ráster se ha obtenido a través del IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) del Gobierno Vasco.

Se trata de información ráster de alta resolución (píxeles 1x1m) y una precisión en el eje Z de 15-20 cm. Además de su gran precisión, los datos LiDAR permiten mitigar los obstáculos, permitiendo al usuario filtrar entidades de la superficie terrestre como edificios o cobertera vegetal, para extraer solamente la información topográfica en aquellas zonas cubiertas parcial o completamente por la vegetación (BENITO-CALVO, 2010)

La técnica LiDAR se basa en un láser que emite pulsos muy cortos de una señal modulada en el visible o infrarrojo cercano. Esta señal interacciona con las partículas atmosféricas o el suelo, causando su dispersión en función del tipo de elemento encontrado. La energía de retorno se recoge por un te-

lescopio, que a su vez la transmite a través de un filtro óptico a un fotodetector. Esta señal eléctrica es grabada y posteriormente almacenada en un ordenador (CHUVIECO, 2002). El tiempo de retorno y la intensidad de esta señal permiten deducir información sobre el tipo de cubierta de la zona de estudio. Pero además, resulta ser un excelente medidor de distancias. Por ello el altímetro LiDAR se ha utilizado con creciente intensidad en las últimas décadas en estudios topográficos y también para los cálculos de biomasa entre otras aplicaciones.

Normalmente se utiliza un equipo aerotransportado que consta de un distanciómetro láser y de un espejo que desvía el haz perpendicularmente a la trayectoria del avión. El desplazamiento lateral del láser y la trayectoria del avión permiten realizar un barrido del terreno, facilitando información tridimensional muy precisa (Ruiz, 2003). Por tanto, el resultado de un vuelo LiDAR será una colección de puntos de coordenadas conocidas (calculadas a partir de las coordenadas obtenidas del sistema de navegación del avión, los ángulos de actitud y el ángulo del espejo). En definitiva, el funcionamiento del distanciómetro radica en que para medir la distancia del sensor al terreno se mide el tiempo que tarda el rayo de luz en alcanzar el suelo y llegar al sensor.

En este trabajo, además de la información LiDAR, también se ha utilizado información de tipo vectorial, como el mapa de la divisoria de cuencas y el mapa de la red de drenaje, también disponibles en el IDE del Gobierno Vasco. Por último, se han utilizado fotos aéreas disponibles en la IDE de la Diputación de Gipuzkoa para el proceso de fotointerpretación.

## 2.2. El proceso de tratamiento mediante SIG

Se tiene constancia de la realización de estudios utilizando una metodología parecida a la propuesta en diferentes cuencas fluviales a partir de una malla de datos XYZ irregular de una resolución de 20 x 20 m (p. ej. Demoulin *et al.*, 2007). Pero lo novedoso del presente trabajo es su realización a partir de datos LiDAR, potencialmente más adecuados para estudiar sistemas del margen Cantábrico debido a su mayor resolución y precisión.

Por tanto, partiendo de la información topográfica LiDAR, se procede al tratamiento de datos que se expone a continuación para determinar las potenciales áreas de terraza fluviales. El software SIG que se ha utilizado es ArcGIS 10.0 (ESRI ArcMap 10; Tipo de licencia: ArcInfo). La Figura 4 muestra de manera esquemática el proceso de tratamiento de datos mediante SIG que se ha seguido.

A partir de los datos LiDAR se obtiene el MDE que va a servir de base para el proceso de detección de potenciales áreas de terraza. Como capas secundarias, pero indispensables en el proceso, se utilizarán ortofotos, el mapa de la red de drenaje y el mapa de las cuencas hidrográficas.

Mediante estas capas secundarias se recortará el ráster del MDE para ajustarlo a la extensión de la cuenca. A partir de este MDE se realizarán los diferentes modelos digitales de pendientes, dirección de flujo, etc. que permitirán realizar el estudio.

Primeramente, se debe establecer una definición morfológica para las terrazas fluviales, de manera que se abarque todos los restos de las antiguas llanuras fluviales que se hayan preservado hasta la actualidad. Se parte de un concepto de terraza en su más amplio sentido, de modo que se definen como aquellas áreas de baja pendiente que siguen el eje del valle fluvial y drenan actualmente hacia el cauce

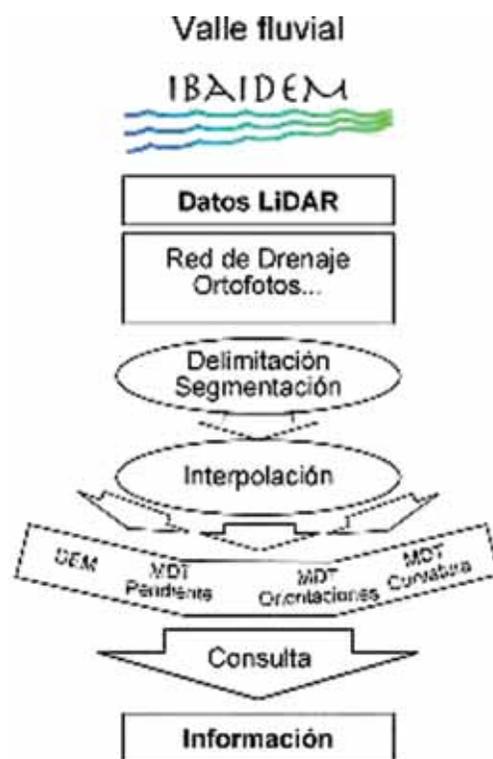


Figura 4. Esquema del proceso de tratamiento de datos mediante SIG.  
Figure 4. Outline of the data processing by GIS.

principal. Será en estas zonas donde se considera la existencia de una mayor potencialidad de encontrar niveles de estabilidad fluvial.

El método se basa en el reconocimiento de las variaciones de pendiente en las laderas, que mediante un posterior tratamiento SIG son caracterizadas, correlacionadas y posicionadas respecto a su altura respecto del cauce del río actual. En un principio, se estableció un umbral de pendiente de 13°, valor típico de las zonas de terraza conocidas en el valle. Los polígonos resultantes mostraban una buena delimitación de áreas interesantes. No obstante, se consideró ampliar el umbral hasta 18° de pendiente para incluir nuevas terrazas más altas identificadas, que si bien eran detectadas, su cartografía mejoraba incluyendo mayores pendientes, hecho que indica su mayor erosión y desmantelamiento.

A continuación se explica el proceso metodológico paso a paso. Para ello se ha dividido el flujo de trabajo en dos etapas, en la primera de ellas se trabaja con el total de la longitud del cauce del río en el área de interés para delimitar su área de drenaje y en una segunda etapa del proceso se estudia la topografía de distintos tramos derivados de la segmentación del área de drenaje.

**Primera etapa del proceso: Delimitación de la cuenca aportante**

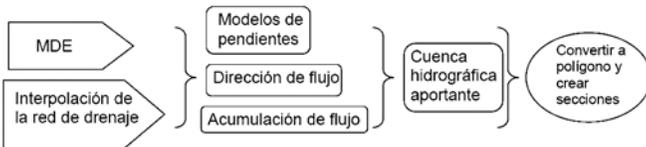


Figura 5. Esquema del proceso SIG para la primera etapa del proceso.  
Figure 5. Diagram of the GIS process for the first stage of the process.

En esta primera etapa el objetivo es delimitar la cuenca aportante al canal principal. Partiendo del Modelo MDE y la información vectorial del cauce del río (que ha sido previamente rasterizada e interpolada para que obtenga los valores de la altura en el eje Z) se construyen el modelo de pendientes del conjunto de la cuenca, el mapa de dirección de

flujos y el mapa de acumulación de flujos, con los que posteriormente se generará el área de drenaje (o cuenca aportante) del canal principal.

El área de drenaje del canal principal se calcula de manera que son excluidas las áreas de terraza potenciales relacionadas con subcuencas de tributarios. Discriminándose las zonas potenciales de terraza en las laderas adyacentes drenadas directamente por el cauce principal, es decir, aquellas áreas afectadas por las variaciones en la tasa de incisión y agradación del canal principal (IRIARTE, 2009).

Una vez obtenida el área de drenaje del cauce principal, en formato ráster, se convierte a formato vectorial en forma de polígonos. Esto permitirá segmentar dicha área en tramos del área de drenaje que serán estudiados de manera individual en una segunda etapa de trabajo.

El polígono del área de drenaje del canal principal resultante se dividirá en secciones de menor extensión trazando líneas perpendiculares a la dirección del cauce principal en aquellos puntos donde desembocan los ríos tributarios al río Oiartzun. De esta manera, al realizar los cálculos posteriores independientemente en cada tramo, se conseguirá reducir el error de las alturas sobre el nivel del cauce de las terrazas.

La nomenclatura de lo tramos se ha establecido en orden ascendente de aguas abajo a aguas arriba, indicando también el margen del río al que se refiere (derecha: D o izquierda:I). (Por ejemplo: Tramo 1D, Tramo1I, Tramo2D, etc.).

**Segunda etapa: Determinar y caracterizar las potenciales áreas de terraza por tramos**

Con el fin de detectar las potenciales áreas de terraza, se aplica el siguiente procedimiento para cada tramo obtenido en la fase etapa anterior:

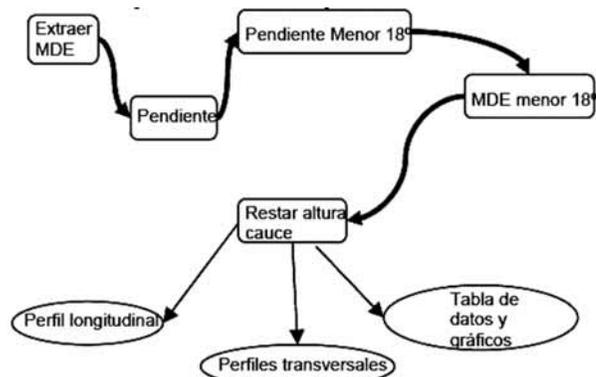


Figura 6. Esquema del proceso SIG de la segunda etapa del proceso.  
Figure 6. Diagram of the GIS process for the second stage of the process.

A partir del MDE se calcula el mapa de pendientes sobre el cual se van a seleccionar las superficies que cumplan la condición previamente establecida, es decir, que la pendiente sea menor a  $18^\circ$ . De esta manera ya se ha delimitado la superficie que potencialmente alberga las formas y depósitos fluviales (Figura 7 y Anexo 5).

Para finalizar, se procede a calcular la cota relativa sobre el nivel del cauce de estas áreas. Para ello, se resta el valor de la cota del punto más bajo del cauce del río en el tramo sobre el que se está trabajando.

Dada la diferencia entre el punto más bajo y el punto más alto del canal en cada tramo considerado (aproximadamente 2 metros), los niveles de terraza tendrán un error máximo de + 2 metros en la altura sobre el cauce asignada. Este error es asumible dado que la cota de los niveles de terraza varía de igual manera en paralelo al perfil del río (IRIARTE, 2009).

Finalmente, una vez conseguido el mapa de áreas de terraza potenciales, se debe generar una tabla de datos en la que se recogen el número de píxeles que existen para cada cota en cada tramo estudiado y representar los datos en gráficos para que el acceso a la información sea más visual y fácilmente analizable (Figuras 8 y 9). De su estudio se extraen las posibles cotas en las que podrían situarse los distintos niveles de terrazas. Adicionalmente, se realizarán cortes topográficos transversales en cada tramo para identificar los cambios de pendiente atribuibles al escalonamiento de las laderas debido al desarrollo de terrazas (Figuras 8 y 9).

Finalmente, se calcula y representa el perfil longitudinal del río sobre el que se proyectan la localización de las posibles áreas de terraza (Figura 10).

Los resultados obtenidos son validados y/o completados con un estudio de fotointerpretación mediante el análisis de pares estereográficos de fotografías aéreas. La información obtenida, perfil longitudinal y niveles potenciales de terraza y la cartografía de áreas potenciales es utilizada en una segunda fase de estudio en el campo que sirve para corroborar, corregir y/o completar la información extraída mediante la metodología explicada y en la que podrían abordarse estudios sedimentológicos, estratigráficos, etc.

### 2.3. Trabajo de fotointerpretación

La cartografía obtenida en el tratamiento mediante SIG, fue contrastada mediante el trabajo de fotointerpretación. Las fotografías aéreas se han obtenido del servicio de cartografía de la Diputación de Guizkoa y se han analizado mediante estereoscopia digital mediante el software PC-Scope 3D viewer. Este proceso permitió definir mejor y corroborar las posibles áreas de terrazas fluviales.

### 2.3. Trabajo de campo

Una vez determinadas las áreas potenciales de terrazas fluviales y localizados los posibles niveles de terraza en el valle, se acudió al campo para contrastar la información obtenida y, en su caso, obtener datos que permitan mejorar su estudio y tratamiento mediante SIG (retroalimentación). Debido a las características de este trabajo, sólo se aborda la localización geográfica de afloramientos de sedimentos fluviales y la descripción de estos observados en distintas áreas potenciales obtenidas del desarrollo de la metodología expuesta, y que por tanto corroboran su buen funcionamiento.

## 3.- RESULTADOS

A continuación se procede a presentar los principales resultados obtenidos, de manera que primero se plasman los resultados cartográficos y después la representación gráfica de los datos.

### 3.1. Resultados cartográficos

En primer lugar se ha delimitado mediante el procedimiento anteriormente descrito el área de drenaje del canal principal del río Oiartzun entre Ugaldetxo y Ergoien (Anexo 1).

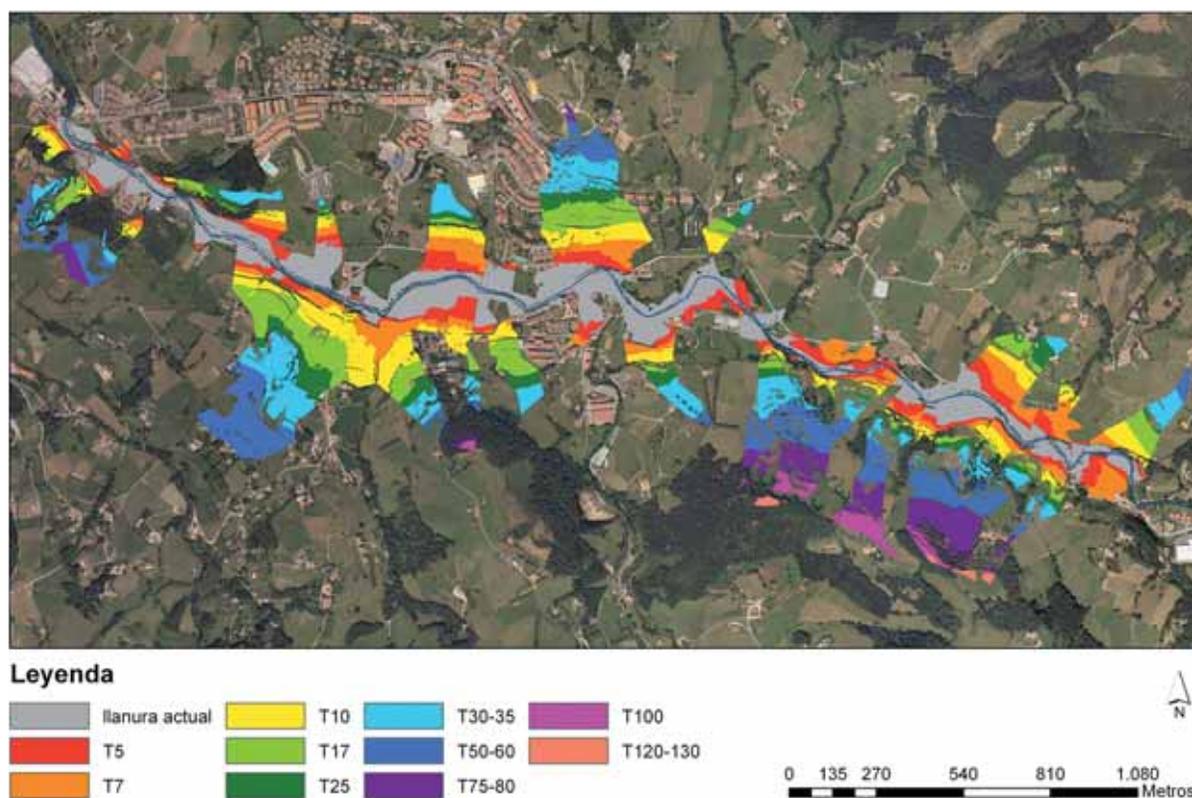


Figura 7. Niveles de terraza en el valle del río Oiartzun.  
Figure 7. Terrace levels in the Oiartzun river valley.

La superficie que ocupa esta área es un porcentaje muy pequeño respecto al total de la cuenca (2,36%) y es considerada como el área con mayor potencialidad para la conservación de las terrazas fluviales.

Sobre esta superficie se aplica el procedimiento SIG descrito en el apartado anterior con el que se delimitan las áreas donde la pendiente es menor de  $18^\circ$ , para posteriormente calcular su altura relativa respecto del cauce del río.

A continuación se muestra el mapa en el que las alturas relativas sobre el cauce de las distintas áreas potenciales de terraza han sido agrupadas para representar las diferentes cotas o niveles de terraza (Figura 7)(Ver figura con mayor resolución en el Anexo 2).

Esta clasificación se ha realizado en base a la representación gráfica del número de píxeles correspondiente a cada cota (Figura 8), del la cual se han extraído los valores más repetidos para cada tramo del río (Anexo 3). Los niveles obtenidos son los siguientes: T5, T7, T10, /17, T25, T30-35, T50-60, T75-80, T100 y T12-30.

### 3.2. Representación gráfica de los resultados

De todos los tramos estudiados se presentarán dos de los más representativos, el Tramo 12 y el Tramo 18, ya que en ellos aparecen representados todos los potenciales niveles de terraza detectados para el área de estudio.

En cada tramo, para cada margen del río, se ha representado gráficamente el número de píxeles para cada cota y se ha realizado un perfil transversal al cauce del río (Figuras 8 y 9).

En los gráficos de las figuras 8 y 9 (Anexo 5 y 8), el eje de las ordenadas corresponde a los valores de las cotas de altitud, mientras que en el eje de las abscisas se representa el conteo o número de píxeles. En ambos casos, tanto en el Tramo 12 como en el Tramo 18, se observa que en la margen derecha del río,

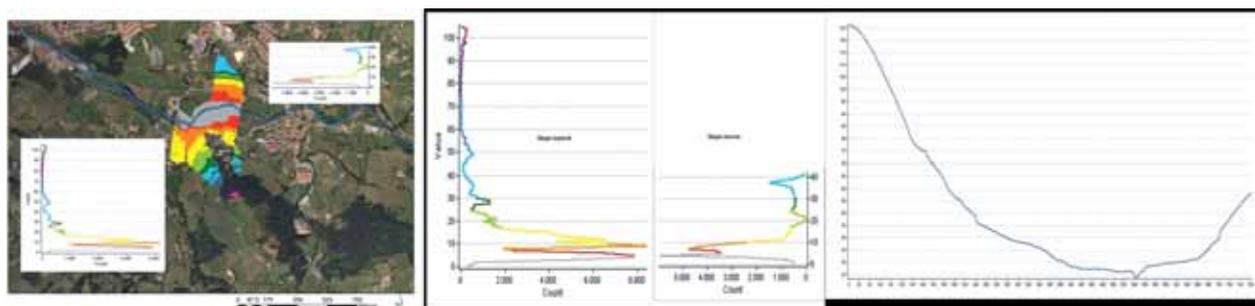


Figura 8. Representación gráfica de los resultados del Tramo 12. (Ampliación en Anexos 4, 5 y 6).  
Figure 8. Graphic representation of the results for Stretch 12 (Enlargement of images in Annex 4, 5 and 6).

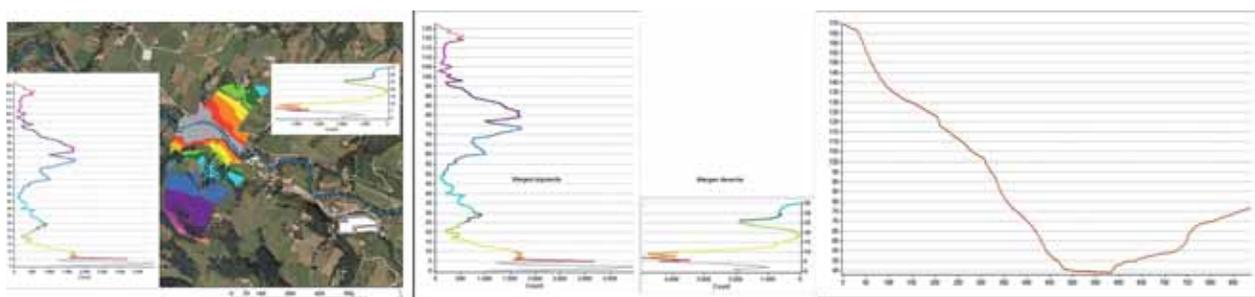


Figura 9. Representación gráfica de los resultados del Tramo 18 (Ampliación en Anexos 7, 8 y 9).  
Figure 9. Graphic representation of the results for Stretch 18 (Enlargement of the images in Annex 7, 8 and 9).

no se han hallado terrazas de las cotas altas, pero en cambio, los niveles más bajos aparecen representados en ambos lados.

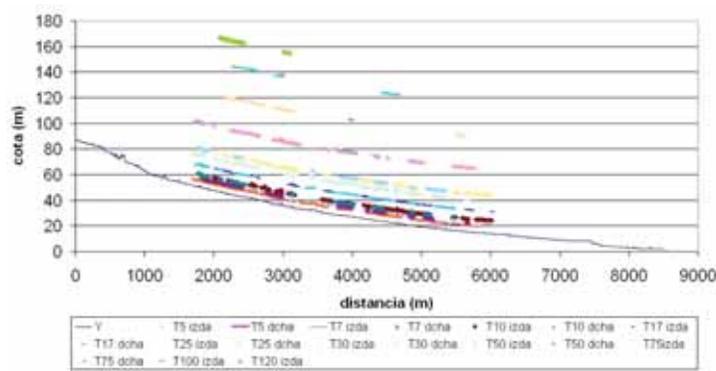
Además es interesante destacar que los máximos coinciden en los dos márgenes del río en ambos tramos, siendo T5 y T30-35 para el Tramo 12, y T5, T7 y T30-35 para el Tramo 18.

En cotas más altas, en el Tramo 12, aunque ya con valores de contaje mucho más discretos, se pueden distinguir picos en los niveles de T50 y T100.

En el Tramo T18 en cambio, son notables los máximos a los niveles de T75-80 y T120-130.

Los perfiles transversales (Anexo 6 y 9) reflejan pequeñas discontinuidades topográficas o rupturas de pendiente allá donde aparecen los taludes que delimitan las posibles terrazas y que corresponderían a intervalos temporales con predominio de la incisión fluvial.

La representación de todas las posibles áreas de terrazas fluviales junto con el perfil longitudinal del río (Figura 10) permite caracterizar y destacar la continuidad longitudinal que tienen estos niveles de terrazas a lo largo de todo el área de estudio, el curso medio del río Oiartzun (CAROZZA, 1999).



### 3.3. Descripción de los depósitos

En la siguiente imagen (Figura 11) se destacan sobre una ortofotografía la localización de los afloramientos de distintos niveles de terraza localizados a partir de la información obtenida en la etapa de tratamiento SIG de datos LiDAR.

Figura 10. Perfil longitudinal del río Oiartzun con los perfiles de las posibles terrazas fluviales.  
Figure 10. Longitudinal section of the Oiartzun river with the associated possible fluvial terrace profiles.

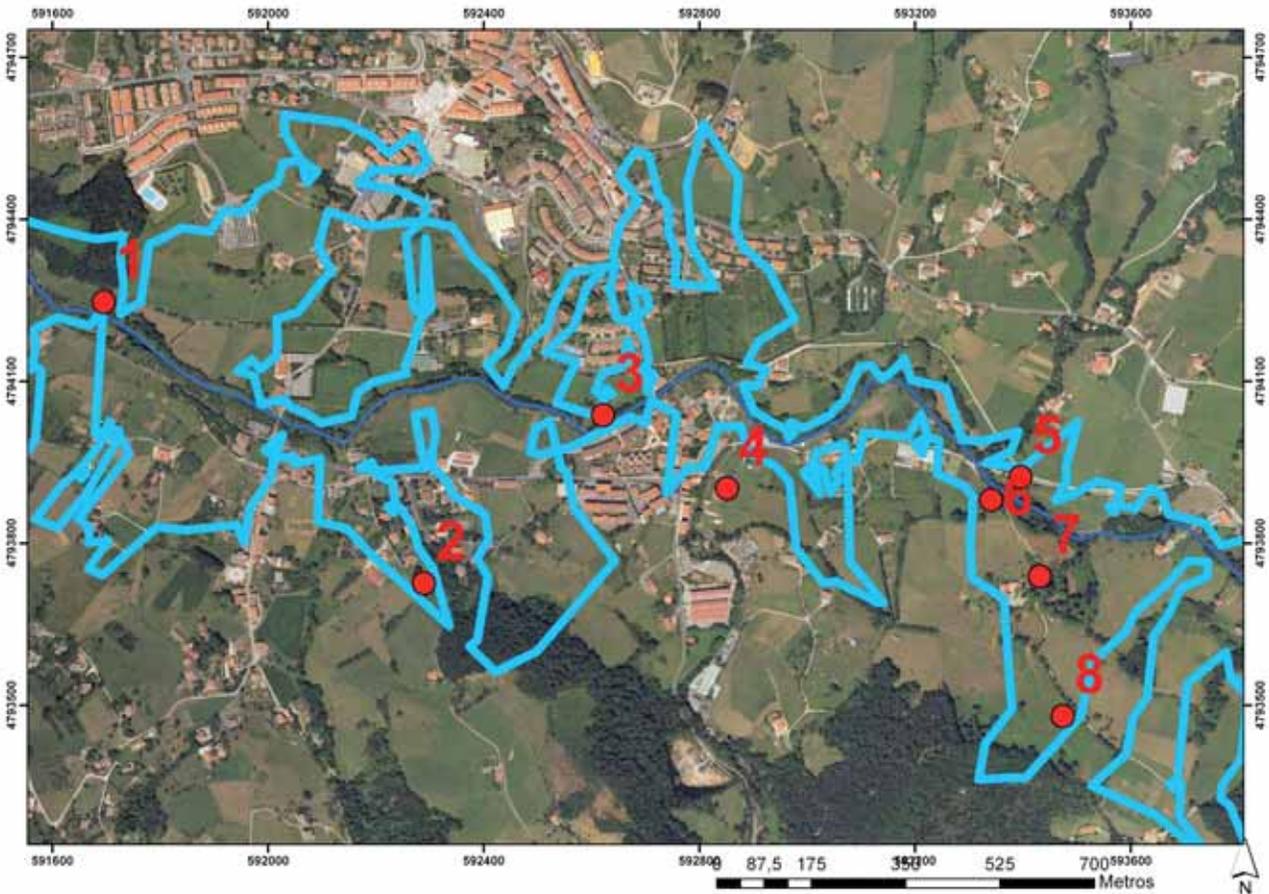


Figura 11. Localización de los afloramientos de los distintos niveles de terraza identificados mediante el procesado de datos LiDAR.  
Figure 11. Location of the outcrops of different terrace levels identified by LiDAR data processing.

### Terraza T2

En la margen derecha del río, se ha tomado esta imagen (Figura 12, a) del escarpe que separa las terrazas +2 metros (llanura de inundación actual) y +5 metros.

Desde el propio cauce del río, se observa el depósito de la terraza +2 metros. (Figura 12, b) En este depósito predominan cantos decimétricos, sobre los que se disponen sedimentos finos de llanura de inundación.

### Terraza T5

En el talud de la carretera, aflora la terraza +5 metros en la margen derecha del río. (Figura 12, c) El porcentaje de cantos respecto a los finos es menor en comparación con el depósito de la terraza +2. Los cantos son de gran tamaño y bien redondeados igual que en el caso anterior.

### Terraza T10

A 10 metros sobre el cauce del río, afloran estos cantos de gran tamaño y con un alto grado de redondeamiento (Figura 12, d).

La excavación de una obra, hace aflorar el nivel T10 (Figura 12, e). Debido a la imposibilidad de acercarse, no se pudo realizar una descripción detallada de los sedimentos, pero la presencia de cantos redondeados en una matriz de materiales más finos es evidente desde la lejanía.



Figura 12. Fotografías de los depósitos fluviales detectados en el valle del río Oiartzun.  
Figure 12. Photographs of fluvial deposits detected in the Oiartzun river valley.

### **Terraza T25**

En otro emplazamiento de la misma obra, unos metros más arriba se encuentra un afloramiento de la terraza T25 (Figura 12, f). Como se puede apreciar en la imagen, se trata de un depósito de aproximadamente dos metros de espesor, compuesto prácticamente en su totalidad de cantos decimétricos. En el caso de este depósito, la granoselección es muy alta a simple vista.

### **Terraza T35**

Afloramiento (Figura 12, g) de un depósito de finos con presencia escasa de cantos de pequeño tamaño con un grado de redondeamiento notable en la cota de 35 metros con respecto al cauce actual del río.

### **Terraza T50**

Al sur de las edificaciones de Iturrioz, en un claro entre la vegetación, aflora un escarpe que quedaría por debajo de la terraza +50. Se trata de un depósito caracterizado por una matriz de finos, muy arcillosa, donde eventualmente aparece algún canto, de tamaños muy variables desde centimétricos hasta decimétricos, y todos ellos muy redondeados y muy poco angulosos. Internamente, los cantos presentan un alto grado de meteorización (Figura 12, h).

### **Terraza T100**

A 100 metros sobre el cauce actual del río, encontramos esta superficie plana donde gracias a la construcción de una carretera, aflora un depósito de una potencia superior a dos metros. Se trata de un depósito arcilloso donde ocasionalmente se encuentran cantos rodados (Figura 12, i).

#### 4.- DISCUSIÓN

A la vista de los resultados obtenidos, se puede decir que la metodología llevada a cabo ha permitido reconocer la distribución y desarrollo del sistema de terrazas en el tramo medio del valle del río Oiartzun.

Las terrazas más modernas, hasta la T30, presentan una continuidad a lo largo de todo el eje del tramo medio. Las más antiguas en cambio, han sido desmanteladas por el paso del tiempo, pero se conservan vestigios puntuales de ellas difícilmente identificables por fotointerpretación o cartografía sobre el terreno. Este hecho, a permitido recopilar la información de partida suficiente para proceder a un estudio en profundidad de los materiales fluviales y la evolución del valle a lo largo del cuaternario.

Llegados a este punto, cabe mencionar que aunque el método presenta indiscutibles ventajas, tiene ciertos *handicaps* que también se deben señalar.

En primer lugar, al detectar todas las zonas de baja pendiente, quedarán incluidas las vías de comunicación, los aplanamientos del terreno para la construcción urbanística e industrial, así como todas las alteraciones antrópicas sobre la topografía. Por tanto, se debe conocer el valle con cierta rigurosidad para poder desechar todas aquellas grandes infraestructuras antrópicas que enmascaran la verdadera topografía.

Además, por otro lado, se debe de ser consciente de que el cálculo del área de drenaje del cauce principal (Anexo 1) excluye las áreas de drenaje de los tributarios del río actual, que son los principales agentes de erosión de las terrazas fluviales. Por tanto, quedan excluidas del estudio zonas que potencialmente podrían albergar depósitos de terraza, pero relacionadas a los tributarios que también albergan información interesante. En un trabajo más exhaustivo se podrán estudiar de la misma manera las subcuencas de los tributarios y completar la información obtenida en relación al cauce principal. Dado que estas subcuencas llegan a cotas más altas del valle fluvial, es probable que allí se puedan encontrar (si las hubo) depósitos de las terrazas más altas que no están o están escasamente representadas en el área de drenaje del canal principal.

En lo que respecta a la evolución cuaternaria del valle, observando el perfil longitudinal del río (Figura 10) se aprecia un encajamiento del valle cíclico y de una intensidad uniforme, donde cada nivel podría correlacionarse a determinados eventos climáticos. J.M. Edeso describe en su trabajo (2006) cuatro niveles de terrazas (situadas a 20-22, 10-12, 3-5 y 0-2 metros), de las cuales la más reciente sería holocena, y las otras tres de edad Tardiglaciár, Würmiense y, posiblemente, Rissiense, (paleolítico medio y superior) aunque no dispone de datación absoluta.

Entre las tareas a futuro, y con más tiempo y recursos, se podría abarcar un estudio más detallado para la caracterización de los depósitos encontrados, además de la posibilidad de realizar dataciones absolutas para establecer con precisión las fases de incisión y agradación del sistema fluvial, y su relación con eventos climáticos y variaciones del nivel del mar.

#### 5.- CONCLUSIONES

Se ha cumplido el objetivo de desarrollar una metodología SIG que permitiese detectar áreas de terrazas fluviales a partir de datos LiDAR.

La metodología desarrollada ha sido validada, ya que se ha corroborado la existencia de de terrazas fluviales en las zonas potenciales obtenidas. Se consigue por tanto acotar las zonas de interés para que el posterior trabajo de campo y la fotointerpretación sean más productivos, ya que disminuye notablemente el trabajo de búsqueda y facilita la logística y el planteamiento de la investigación. El método permite analizar grandes superficies de terreno (valles enteros) de manera relativamente rápida, sistemática y barata.

El estudio de la evolución cuaternaria del valle sería de gran interés, ya que, además de los objetivos obvios de la investigación geomorfológica, sedimentaria y medioambiental también permitiría integrar y contextualizar otro tipo de evidencias. Así ocurriría con restos óseos pleistocenos de mamuts, rinoceron-tes lanudos, bisontes, renos, etc. en las terrazas y otros restos relacionados con la presencia humana (TORRES y VIERA, 1998). Concretamente un fragmento de hueso de albatros tallado con numerosas figuras animales, tallado por manos humanas hace 12.000 años, hallado en la cavidad kársticas de Torresko koba (Iturriotz). Para obtener resultados y avanzar más en el conocimiento de la dinámica fluvial del valle, en un futuro se deberían completar los estudios aquí esbozados y abordar la investigación sedimentológica, cro- noestratigráfica, etc. de los depósitos fluviales.

## 5.- AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar estas líneas a toda la gente que ha hecho que sea posible: En primer lugar al director Eneko Iriarte, por todo. A Arantxa Aranburu y al equipo de Geo-Q por su confianza, a Martin Arriolabengo por su ayuda, y a mis compañeros Valentina, Haizea, Pedro e Ivan porque esta experiencia no hubiese sido la mismo sin ellos.

Este trabajo a contribuido al proyecto de investigación *KantaurDEM: Lurrazalaren eredu digitalen bizketa Kantarualdeko ibai-arroen eta kontinente-plataformaren bilakaera geomorfologikoaren ikerketa* de Eusko Ikaskuntza en 2011.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

BENITO-CALVO, A., TARRIÑO, A., LOBO, P.J., JUNGUITU, I., y LARREINA, D.

2010. Geomorphology and prehistoric flint mining evidence in the Sierra de Araico (Basque – Cantabrian Basin), Burgos – Álava, Spain. *Journal of Maps*, 6: 584-590.

CAROZZA, J.M. y DELCAILLAU, B.

1999 L'enregistrement geomorphologique de la tectonique quaternaire par les nappes alluviales: l'exemple du bassin de la Têt (Roussillon, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 329: 735-740

CHUVIECO, E.

2002 Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ariel Ciencia. Barcelona.

DEMOULIN, A., BOVY, B., RIXHON, G. y CORNET, Y.

2007 An automated method to extract fluvial terraces from digital elevation models: The Vesdre valley, a case study in eastern Belgium. *Geomorphology*, 91: 51-64.

EDESO, J.M.

2006 Caracterización granulométrica, morfométrica, litológica y sedimentológica de las terrazas fluviales del valle del río Oiartzun (Gipuzkoa, País Vasco). *Lurralde*, 29.

EDESO, J.M. y UGARTE, F.M.

1987 Los depósitos detríticos cuaternarios del Valle del río Oyarzun (Gipuzkoa). *Munibe Ciencias Naturales*, 39: 103-114.

IRIARTE, E.

2009 Utilización del MDT como instrumento de análisis geomorfológico en la plataforma continental y valles fluviales del Margen Cantábrico, Trabajo de Fin de Master inédito, Universidad de Girona, 42 pp.

RUIZ, A. y KORNUS, W.

2003 Experiencias y aplicaciones del LiDAR. Institut Cartogràfic de Catalunya. Barcelona.

SIART, C., BUBENZER, O. y EITEL, B.

2009 Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. *Geomorphology*, 112: 106-121.

TAROLLI, P.

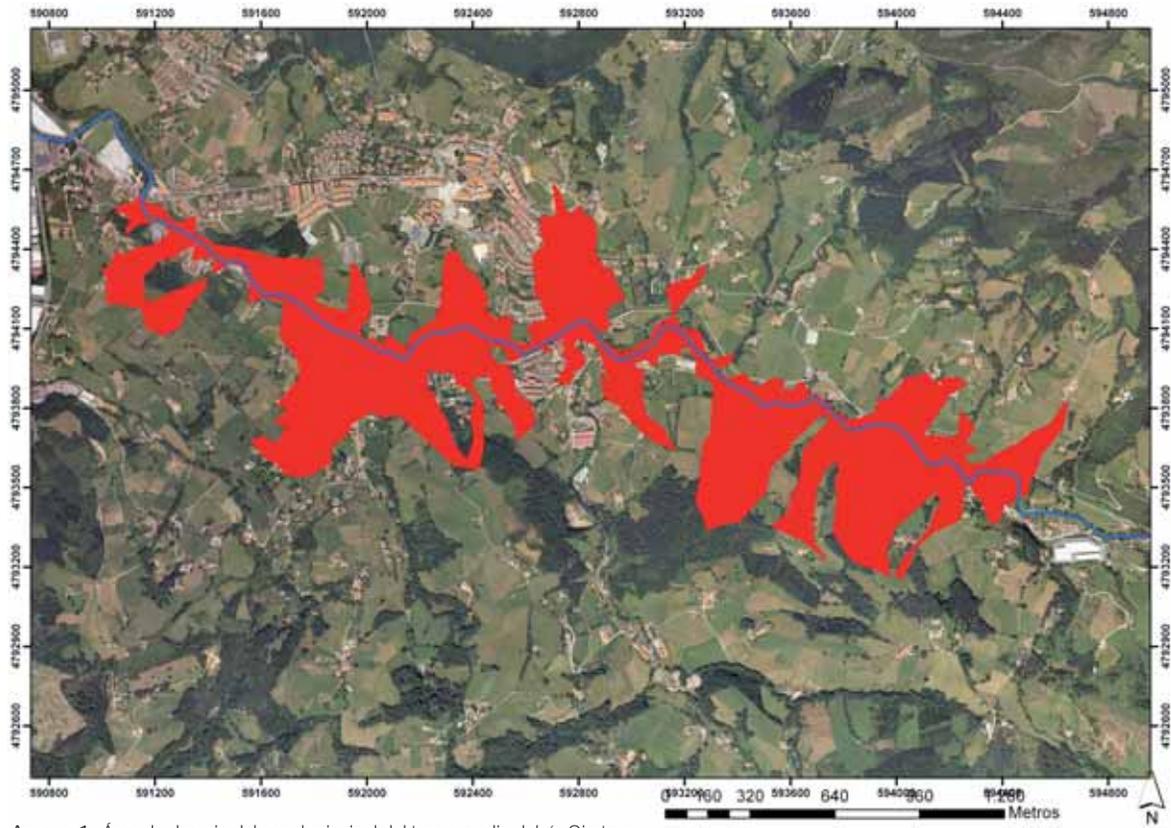
2009 Understanding Earth surface processes from remotely sensed digital terrain models. *Geomorphology*, 113: 1-3.

TORRES, J.A. y GUTIERREZ, K.

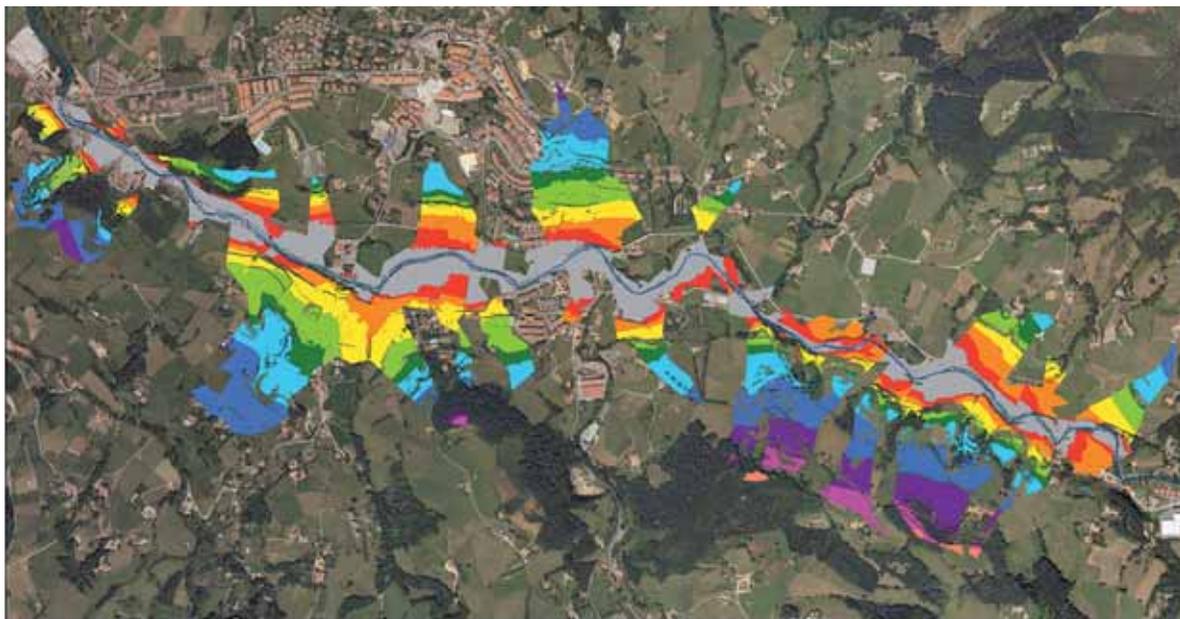
2006 Guía Geológica del Valle de Oiartzun. Luberrí. Oiartzun.

TORRES, J. A. y VIERA, L. I.

1998 Geología del valle de Oiartzun. Mugarri – Oiartzungo Udala. Oiartzun.



Anexo 1. Área de drenaje del canal principal del tramo medio del río Oiartzun.  
Annex 1. Drainage area of the main channel of the middle section of the Oiartzun river.

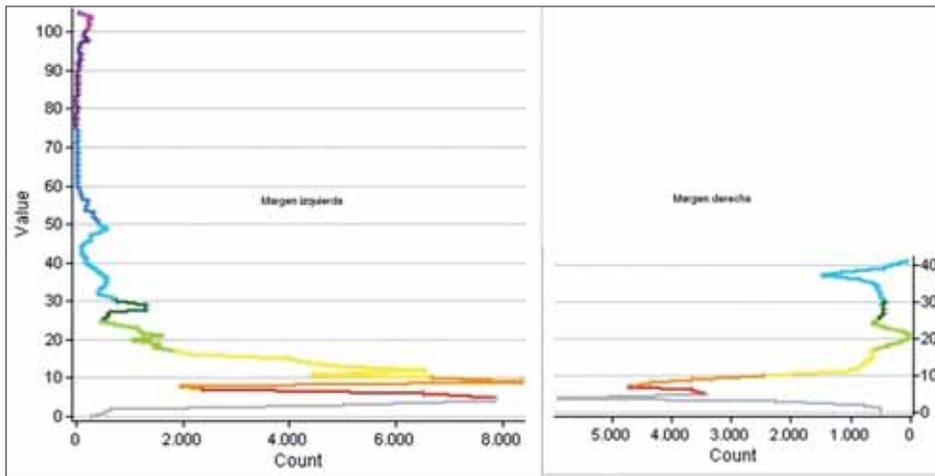


**Leyenda**

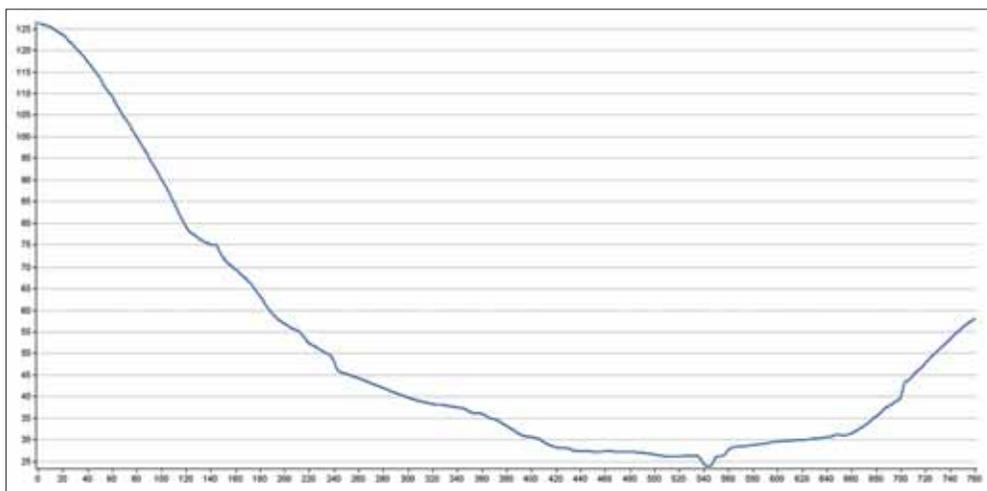
llanura actual	T10	T30-35	T100
T5	T17	T50-60	T120-130
T7	T25	T75-80	

Anexo 2. Niveles de terrazas potenciales en el valle del río Oiartzun.  
Annex 2. Potential terrace levels in the Oiartzun river valley

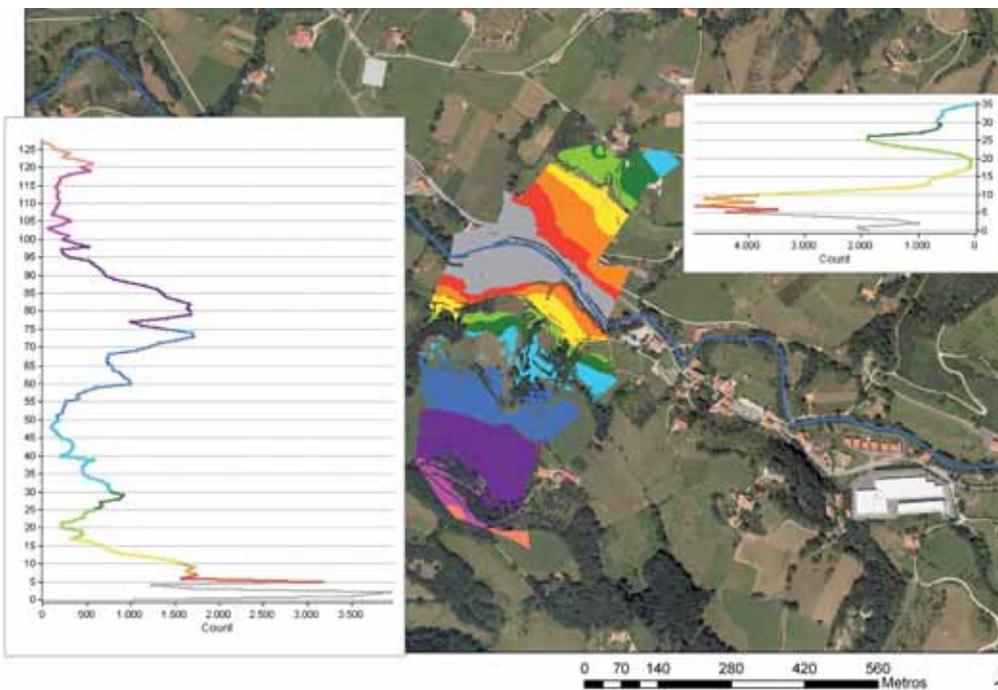




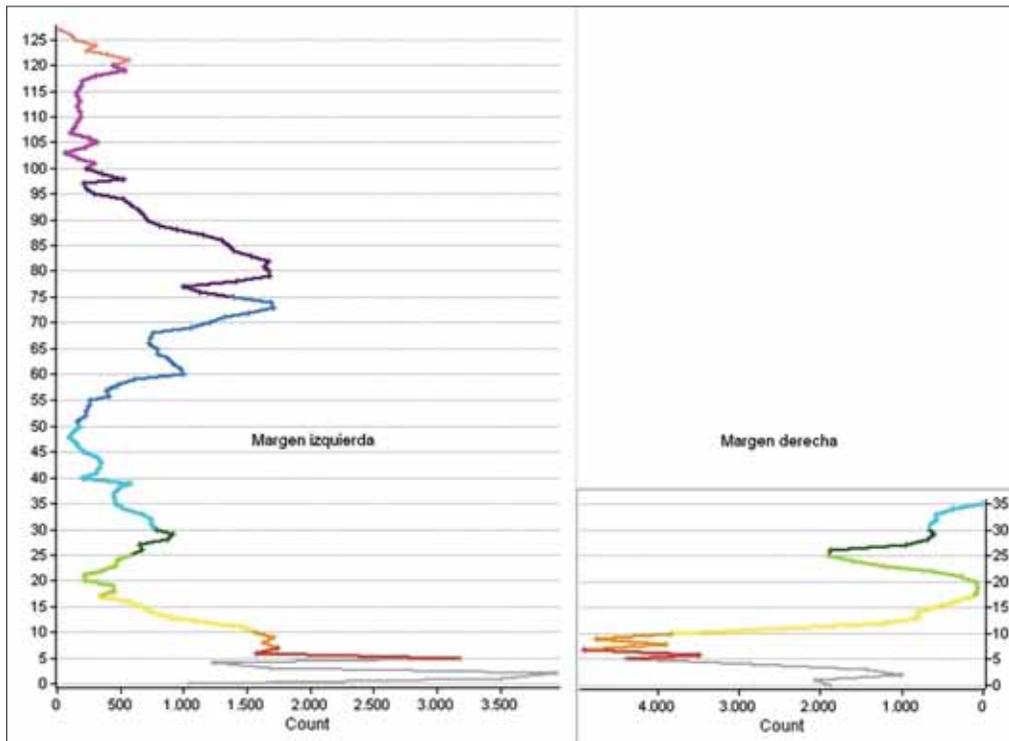
Anexo 5. Representación gráfica del número de píxeles para cada cota del Tramo 12.  
Annex 5. Graphic representation of the number of pixels for each elevation for Stretch 12.



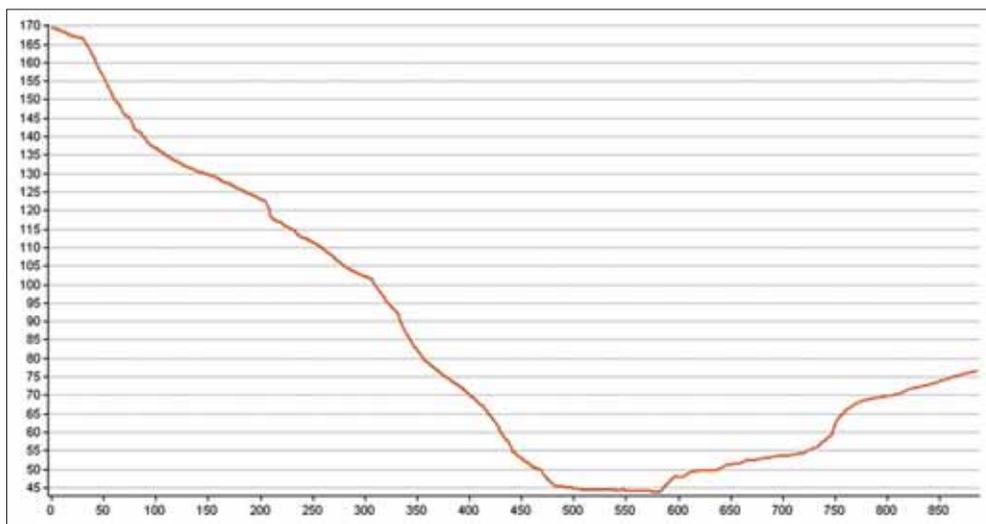
Anexo 6. Perfil transversal del Tramo 12.  
Annex 6. Transversal profile of Stretch 12.



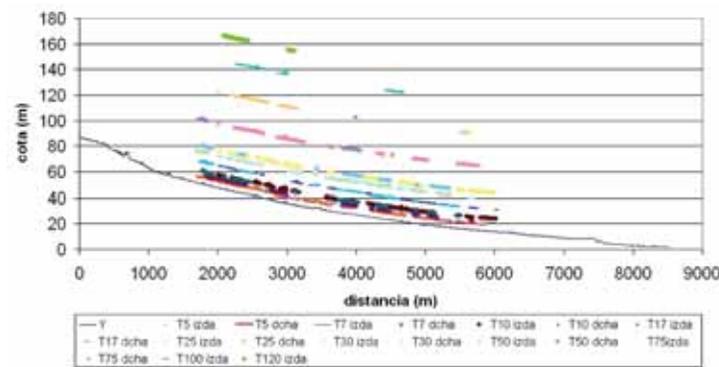
Anexo 7. Posibles niveles de terrazas en el Tramo 17 del río Oiartzun.  
Annex 7. Possible terrace levels for the Stretch 17 in Oiartzun river.



Anexo 8. Representación gráfica del número de píxeles para cada cota del Tramo 18.  
Annex 8. Graphic representation of the number of pixels for each elevation for Stretch 18.



Anexo 9. Perfil transversal del Tramo 18.  
Annex 9. Transversal profile of Stretch 18.



Anexo 10. Perfil longitudinal del río Oiartzun con los perfiles de los posibles niveles de terrazas fluviales identificados.  
Annex 10. Longitudinal profile of Oiartzun river with the profiles of the possible fluvial terrace levels identified.



# Análisis de la asociación microespacial del agregado lítico del nivel IV de BK (Garganta de Olduvai, Tanzania)

## Micro-spatial analysis of the lithic scatter retrieved in level IV, BK (Olduvai Gorge, Tanzania)

**PALABRAS CLAVES:** Garganta de Olduvai, Pleistoceno inferior, análisis microespacial, industria lítica.

**KEY WORDS:** Olduvai Gorge, Lower Pleistocene, intrasite spatial analysis, lithic industry.

**Cristina FRAILE MÁRQUEZ<sup>(1)</sup>**

### RESUMEN

El notable incremento de la superficie excavada conseguido tras las últimas campañas arqueológicas realizadas en BK (Garganta de Olduvai, Tanzania) ha hecho posible la puesta al descubierto de densas asociaciones de artefactos líticos y restos de fauna en un contexto de alteración postsedimentaria de baja energía. En las páginas siguientes se presentan los primeros resultados del estudio microespacial llevado a cabo a partir del agregado lítico registrado en un área delimitada del nivel BKIV. A través de una metodología que combina el análisis tecnológico, el análisis espacial y la identificación de remontajes se pretende obtener alguna información acerca del comportamiento de aquellos homínidos que ocasionaron estas acumulaciones. La relativa fragmentación de las cadenas operativas técnicas así como la ausencia casi total de remontajes podrían estar indicando unas ocupaciones puntuales y episódicas de los individuos que frecuentaron este enclave.

### ABSTRACT

Recent archaeological fieldwork carried out at BK (Olduvai Gorge, Tanzania) has made possible the discovery of dense patches of lithic artefacts and faunal remains in a low energy context. This paper shows the first results of the intrasite analysis applied in the high concentration of lithic objects exposed in a discrete area of level BKIV. Through a methodology that combines lithic technology, spatial distribution and lithic refitting we aim to provide some information about the behavior of those hominids that caused these accumulations. The relative fragmentation of *chaines opératoires* and the almost total lack of refits suggest successive and repeated short-term occupations of this site.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Desde hace ya varias décadas, exactamente a partir de los años setenta del pasado siglo, el espacio, en sus diferentes escalas, se ha convertido para la disciplina arqueológica en foco de atención de primera magnitud (CLARKE, 1977; HODDER y ORTON, 1976), identificándolo como un componente más del registro, al servicio del análisis de los distintos procesos de adaptación y cambio socio-cultural, tecnológico y cognitivo de los grupos humanos del pasado (DIEZ-MARTÍN, 2008; OBREGÓN, 2012).

En concreto, la arqueología microespacial o *intrasite*, que tiene como objeto de estudio todas aquellas asociaciones significativas de artefactos registradas en el interior del propio yacimiento y de las cuales es posible extraer inferencias acerca del comportamiento de aquellos individuos que las ocasionaron, se viene configurando como un área de conocimiento imprescindible en la investigación de cualquier conjunto arqueológico (SAÑUDO y FERNÁNDEZ, 2007; OBREGÓN, 2012).

Centrándonos exclusivamente en el periodo pleistoceno, este tipo de trabajos se han llevado a cabo tradicionalmente en yacimientos del Paleolítico superior (ALMEIDA, 2007, 2008; KEELER, 2007; KÖRNER, 1994; SIMEK y LARICK, 1983; THOMAS y ZIEHAUS, e.p.) y del Paleolítico medio (EIXEA, 2010; MACHADO *et al.*, 2011; MARRERO *et al.*, 2011; SAÑUDO y FERNÁNDEZ, 2007; VAQUERO y PASTÓ, 2001; VAQUERO, 2008; VAQUERO *et al.*, 2012). Sin embargo, los estudios de distribución espacial en yacimientos del Paleolítico inferior resultan todavía hoy bastante escasos (GALLOTTI y PIPERNO, 2004;

<sup>(1)</sup> Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Valladolid, Pza. del Campus s/n, 47011 Valladolid. E-mail: cristinafrailemarquez@gmail.com

Director: Dr. Fernando Diez Martín

GALLOTTI *et al.*, 2011; KROLL, 1994; LÓPEZ-ORTEGA *et al.*, 2011; OBREGÓN, 2012; POPE y ROBERTS, 2005).

La principal causa de esta importante diferencia cuantitativa es obvia. Los conjuntos del Paleolítico superior y medio suelen ser sitios en los que se exponen amplias superficies de excavación, en las cuales se suelen conservar estructuras de hábitat fácilmente identificables y hogares con indicios de áreas de actividad. Por el contrario, el notable menor grado de preservación de los restos materiales sumado al hecho de que las estructuras realizadas por los homínidos también decrecen en cantidad y variabilidad cuanto mayor sea la antigüedad del yacimiento, hacen, *a priori*, menos atractivos los estudios microespaciales para enclaves arqueológicos del Paleolítico inferior (LÓPEZ-ORTEGA *et al.*, 2011; OBREGÓN, 2012).

Esta tesis de máster presenta, por tanto, una relevancia sustancial en el campo de los estudios espaciales en arqueología, puesto que aún resultan muy escasos los trabajos que analicen de forma detallada, y aplicando las técnicas de restitución más recientes, las relaciones espaciales que se establecen entre los objetos documentados en yacimientos africanos de periodo pleistoceno. Y es que, hoy por hoy no abundan, por un lado, ni registros arqueológicos de esta antigüedad susceptibles de ofrecer información relativa a las asociaciones microespaciales de los materiales arqueológicos ni, por otro, trabajos en marcha destinados a su estudio. La riqueza del registro documentado en los distintos enclaves de la Garganta de Olduvai, de una abundancia abrumadora y sin posibilidad de comparación en otros lugares del mismo rango cronológico, sumado a la calidad de preservación del mismo, nos permite plantear este estudio de corte microespacial de alta resolución.

El significativo incremento del área excavada logrado durante las sucesivas campañas arqueológicas llevadas a cabo en BK ha posibilitado la puesta al descubierto de densas asociaciones de industria lítica de formatos diversificados y restos de animales de gran tamaño. De acuerdo con nuestra hipótesis de partida, estas excepcionales acumulaciones estarían revelando un claro significado comportamental. La reconstrucción de ese comportamiento de los grupos humanos que un día frecuentaron este lugar, a través del análisis y la interpretación de los datos espaciales contenidos en el registro arqueológico, se constituye, por tanto, como el principal objetivo de este trabajo.

## 2.- ÁREA DE ESTUDIO

La Garganta de Olduvai, situada en la zona norte de Tanzania, constituye uno de los enclaves arqueológicos más importantes y emblemáticos del mundo (Figura 1). Conocido ya desde 1913 como fuente de restos fósiles, este legendario complejo es, sin duda, el más rico en hallazgos relacionados con los primeros representantes del género *Homo*, sirviendo de base para la definición de especies como *Homo habilis* o *Paranthropus boisei* e industrias como el Olduvayense (DE LA TORRE, 2004, 2008; DIEZ-MARTÍN, 2005; LEAKEY, 1971). Asimismo, este lugar ha proporcionado a la comunidad científica el mayor fondo documental para el análisis sobre el significado de los primeros yacimientos arqueológicos y la discusión en torno a alguno de los más intensos debates surgidos en las últimas décadas, tales como el origen del tecnocomplejo achelense o la controversia en torno a la caza o el carroñeo como actividad subsistencial de estos homínidos (DIEZ-MARTÍN, 2005).

La cuenca de Olduvai se originó a causa del levantamiento que experimentaron las tierras volcánicas situadas al sur y al este de la misma hace dos millones de años y el consiguiente surgimiento de un sistema endorreico (DE LA TORRE, 2004, 2008). A partir de entonces esta gran depresión comenzó a ser rellenada por sedimentos lacustres, fluviales y eólicos, los cuales esconden una asombrosa e inigualable riqueza paleoantropológica, paleontológica y cultural. Sin embargo, la impresionante garganta que observamos en la actualidad (Figura 2), que corta la gran llanura del Serengeti, no empezó a moldearse hasta fechas muy recientes, hace apenas 200.000 años. Fue en este momento cuando las corrientes de agua iniciaron la excavación de los más de cien metros de espesor de los depósitos, sacando a la luz la enorme riqueza fósil del lugar (DIEZ-MARTÍN, 2005).

La Garganta de Olduvai se extiende alrededor de unos cincuenta kilómetros de extensión y se divide en dos ramales diferentes: la garganta principal y la garganta lateral. Sus más de cien metros de profun-



Figura 1. Localización de la Garganta de Olduvai (Fuente: Google Earth).  
Figure 1. Geographical location of Olduvai Gorge (Source: Google Earth).

edad, que cubren un rango temporal entre los 2,1 millones de años y los 15.000 BP, han sido compartimentados en siete unidades estratigráficas sucesivas denominadas, de muro a techo, los Lechos I, II, III, IV, Masek, Nduu y Naisiusu (DE LA TORRE, 2004, 2008; DIEZ-MARTÍN, 2005; HAY, 1976; LEAKEY, 1971).

En definitiva, este enclave arqueológico continúa hoy en día siendo la región privilegiada para el estudio del comportamiento de los homínidos del Pleistoceno inferior en África oriental, tanto por el dilatado lapso cronológico que abarcan sus yacimientos como por las excelentes condiciones de conservación de los mismos o la riqueza de su registro (DE LA TORRE, 2004, 2008; LEAKEY, 1971).

BK (Bell's Korongo) se localiza en la garganta lateral de Olduvai, a unos 3,2 km de la confluencia con la garganta principal (Figura 3). Este yacimiento se asienta sobre la toba IID, que en su día fue datada en 1,2 millones de años. Estratigráficamente, por tanto, se trata del conjunto más reciente del Lecho II superior (DE LA TORRE, 2004; DIEZ-MARTÍN *et al.*, 2009; DOMÍNGUEZ-RODRIGO *et al.*, 2009; LEAKEY, 1971).



Figura 2. Vista panorámica de la Garganta de Olduvai.  
Figure 2. Panoramic view of Olduvai Gorge.

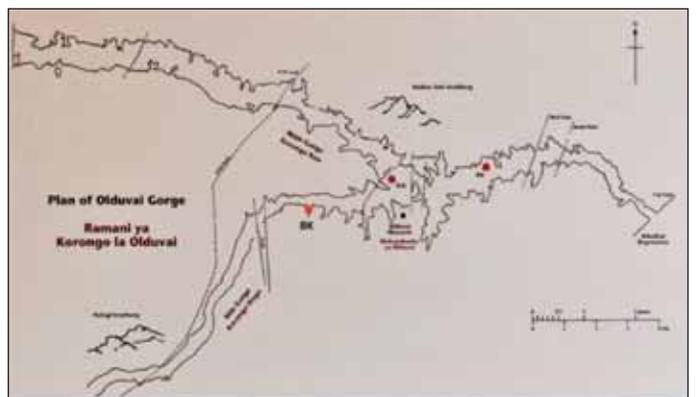


Figura 3. Plano de la Garganta de Olduvai y localización de BK (Fuente: Museo de la Garganta de Olduvai).  
Figure 3. Map of Olduvai Gorge and location of BK (Source: Olduvai Gorge Museum).

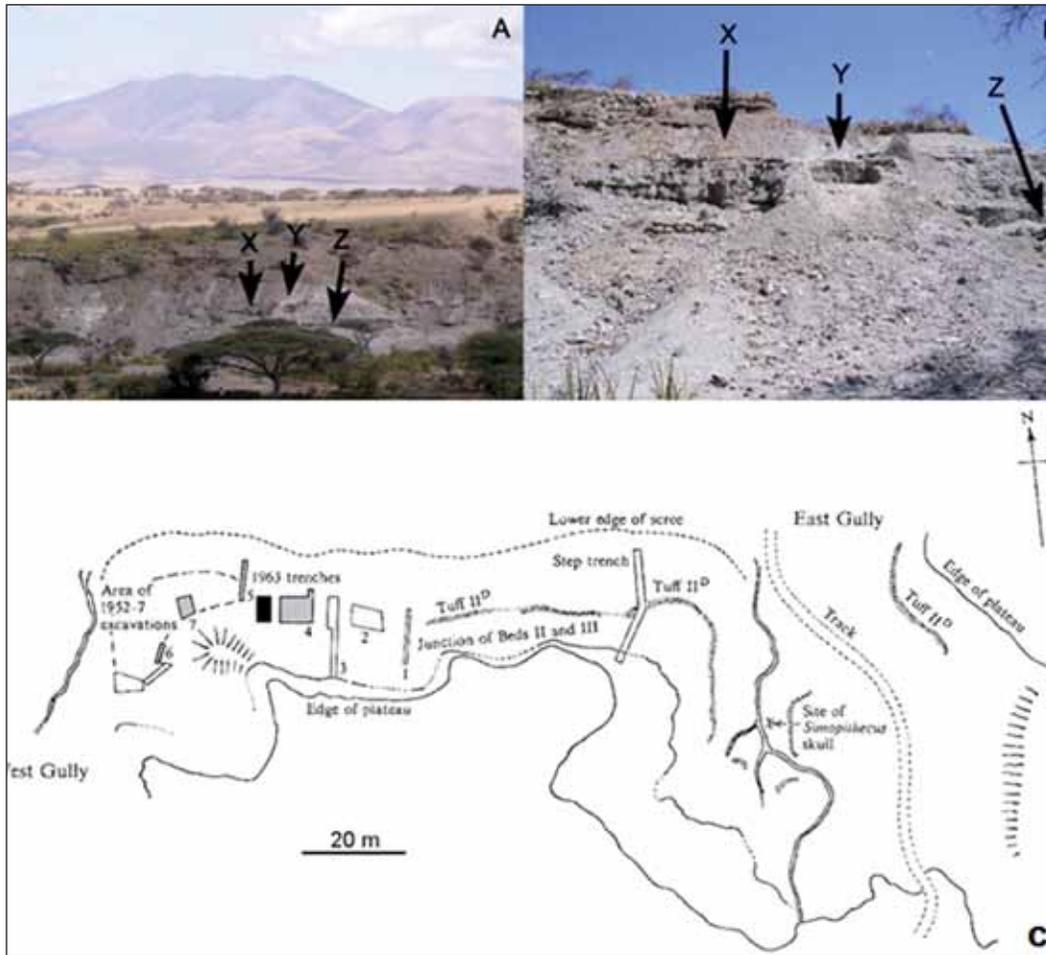


Figura 4. A) Señalización de algunas de las intervenciones arqueológicas realizadas en BK: X, trinchera 4; Z, trincheras 5 - 6 - 7; Y, trinchera excavada por el equipo hispano-tanzano en el año 2006. B) Detalle de las citadas trincheras (Fuente: Domínguez-Rodrigo *et al.*, 2009). C) Plano de BK (modificado de Leakey, 1971).

Figure 4. A) Indication of some archaeological activities carried out at BK: X, Trench 4; Z, Trench 5 - 6 - 7 set; Y, trench excavated by the Spanish-Tanzanian team in 2006. B) Detail of these trenches (Source: Domínguez-Rodrigo *et al.*, 2009). C) Sketch map of BK (based on Leakey, 1971).

Conocido desde 1935, los primeros trabajos en este yacimiento fueron llevados a cabo por Louis y Mary Leakey, quienes durante los años cincuenta realizaron algunas excavaciones a pequeña escala y recogidas selectivas en superficie. Por fin, en 1963 emprendieron en BK una intensa aunque no del todo meticulosa intervención, que consistió en la apertura de diez trincheras a lo largo de todo el afloramiento (DIEZ-MARTÍN *et al.*, 2009; DOMÍNGUEZ-RODRIGO *et al.*, 2009; LEAKEY, 1971).

En el año 2006, es decir, casi medio siglo después de las labores arqueológicas de este legendario matrimonio británico, un equipo internacional, liderado por Manuel Domínguez-Rodrigo, de la Universidad Complutense de Madrid, y Audax Mabulla, de la Universidad de Dar es Salaam, reanudó los trabajos en BK mediante la apertura de una nueva zanja de 10 m x 3 m entre la trinchera 4 y las trincheras 5-6-7 (Figura 4), documentando un depósito de unos tres metros de potencia en el cual cuatro niveles arqueológicos (BK I, BK II, BK III y BK IV) han sido diferenciados (DIEZ-MARTÍN *et al.*, 2009; DOMÍNGUEZ-RODRIGO *et al.*, 2009).

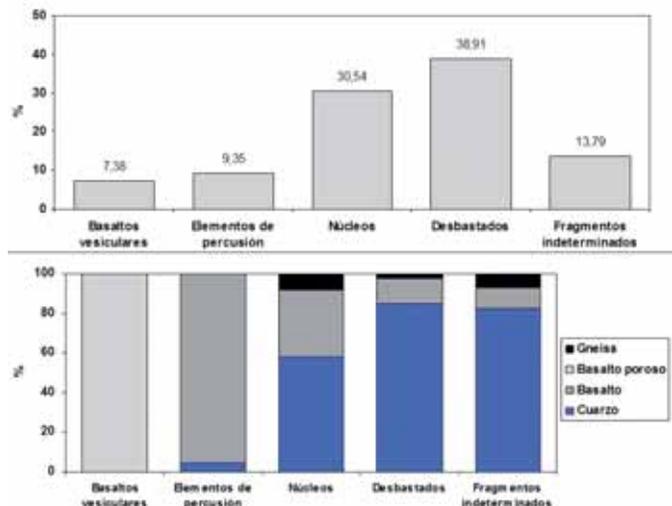


Figura 5. Clasificación de la industria lítica en función de las categorías tecnológicas (arriba) y las materias primas (abajo).  
Figure 5. Classification of the lithic industry by technological categories (top) and raw materials (below).

### 3.- MATERIALES Y MÉTODOS

Esta tesis de máster ha sido elaborada a partir del estudio de 203 objetos líticos del nivel BKIV, los cuales fueron recuperados durante las campañas de 2009 y 2010 dentro de un área delimitada de la trinchera abierta en el año 2006 en este enclave arqueológico (Figuras 6 y 7). A falta del correspondiente análisis arqueostratigráfico, el cual será acometido en futuros trabajos con el objetivo de intentar establecer las unidades temporales mínimas presentes en paquetes de sedimento homogéneo (CANALS, 1993; HARICHANE, 2008; MARRERO *et al.*, 2011; OBREGÓN, 2012; SAÑUDO y FERNÁNDEZ, 2007), la colección lítica examinada para este estudio ha sido elegida por los indudables vínculos espaciales que ofrece.

La primera tarea realizada ha sido el análisis tecnológico básico de las piezas, el cual ha consistido principalmente en el reconocimiento de las materias primas, las categorías tecnológicas y los rasgos tipométricos (DE LA TORRE, 2004; DIEZ-MARTÍN *et al.*, 2009, 2010, 2011; LE-AKEY, 1971).

Elaborado el estudio tecnológico, el siguiente cometido ha sido la identificación de las relaciones espaciales entre el material arqueológico, a través del estudio depurado tanto por los datos tecnológicos y de materias primas como por el análisis de las conexiones horizontales de objetos. Para realizar esta fundamental tarea se ha requerido la ayuda del programa Surfer 8, sin duda, uno de los mejores softwares que existen en la actualidad para representar de manera gráfica información localizada espacialmente.

Por último se ha llevado a cabo la identificación de posibles remontajes del material lítico. Esta herramienta metodológica se ha convertido, de unos años a esta parte, en elemento fundamental de cualquier trabajo, ya que proporciona información sobre la conducta que generó la concentración arqueológica, ayudando a la reconstrucción de los procesos técnicos de fabricación de los artefactos y del uso del espacio por parte de los homínidos que ocuparon el yacimiento, sin olvidar su enorme utilidad a la hora de comprender los procesos de formación de los depósitos arqueológicos (ALMEIDA, 2007, 2008; ARAÚJO y ALMEIDA, 2008; CAHEN y KEELEY, 1980; CATTIN, 2002; COOPER y QIU, 2006; CZIESLA *et al.*, 1990; DE BIE, 2007; DE LA TORRE *et al.*, 2004; DELAGNES y ROCHE, 2005; HALLOS, 2005; HOFMAN, 1992; LAUGHLIN y KELLY, 2010; LÓPEZ-ORTEGA *et al.*, 2011; MACHADO *et al.*, 2011; POPE y ROBERTS, 2005; SCHURMANS, 2007; SISK y SHEA, 2008; VAQUERO, 2008; VILLA, 1982).

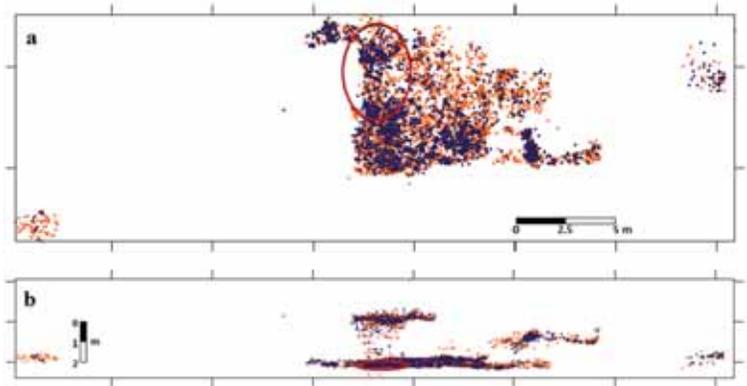


Figura 6. Mapa de dispersión de puntos en planta (a) y perfil (b) del material arqueológico (en azul la industria lítica y en naranja la fauna) registrado en BK durante las campañas de 2006, 2009, 2010 y 2011. Los espacios señalados delimitan la procedencia de la colección lítica seleccionada para este estudio.

Figure 6. Plan (a) and section (b) of the archaeological material (lithic industry in blue and fauna remains in orange) recovered at BK during the 2006, 2009, 2010 and 2011 seasons. Highlighted areas delimit the sector where the lithic assemblage used for this research come from.

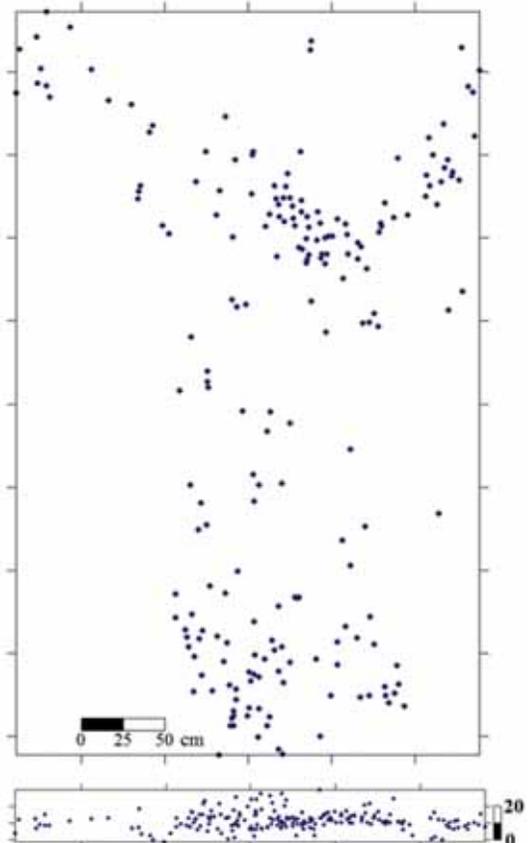


Figura 7. Ampliación de las áreas destacadas anteriormente en la que se puede observar en planta (arriba) y perfil (abajo) la distribución espacial de la colección lítica examinada en este trabajo.

Figure 7. Detail of the previously highlighted areas in which the spatial distribution of the lithic assemblage examined in this research can be seen in plan (top) and section (below).

## 4.- RESULTADOS

### 4.1. Análisis tecnológico

La colección arqueológica examinada para este trabajo ha sido en gran parte tallada sobre rocas metamórficas, fundamentalmente cuarzo ( $n = 127 / 62,56\%$ ) y, en mucha menor medida, gneiss ( $n = 9 / 4,43\%$ ). El resto de los objetos ( $n = 67 / 33\%$ ) está elaborado sobre rocas volcánicas, en concreto, basaltos. Por lo que a las categorías líticas se refiere, los artefactos estudiados han sido clasificados en cinco grupos tecnológicos generales: basaltos vesiculares, elementos de percusión, núcleos, desbastados y fragmentos indeterminados (Figura 5).

El primero de los grupos, por tanto, es el de los basaltos vesiculares, el cual engloba una serie de cantos naturales de basalto ( $n = 15 / 7,38\%$ ) caracterizados por su irregularidad morfológica, su estructura vesicular y su mala calidad. Este material lítico, que no muestra ningún signo aparente de modificación antrópica pero que se encuentra de manera frecuente en muchos de los yacimientos de la Garganta de Olduvai, sin que dicha presencia pueda ser explicada por procesos geológicos, ha sido objeto de intensos debates entre diversos investigadores (DE LA TORRE, 2004; DE LA TORRE y MORA, 2005; LEAKEY, 1971; POTTS, 1988, 1991).

La segunda categoría tecnológica está constituida por los elementos de percusión ( $n = 19 / 9,35\%$ ), es decir, cantos rodados de basalto, a excepción de un esferoide de cuarzo, que muestran en parte de su superficie daños, ya sean estigmas o descamaciones, provocados por su empleo en tareas de percusión, además de aquellos otros que se han fracturado en el transcurso de su utilización.

Por su parte, un total de 62 objetos (30,54%) han sido englobados en la categoría de núcleos. La materia prima predominante dentro de este grupo tecnológico es el cuarzo ( $n = 36 / 58,06\%$ ), seguida del basalto ( $n = 21 / 33,87\%$ ) y el gneiss ( $n = 5 / 8,06\%$ ). Dos métodos de talla diferentes han sido reconocidos en esta muestra: la talla a mano alzada y la talla bipolar. Para el primero de ellos se han seleccionado preferentemente cantos de basalto de mediano tamaño y buena calidad y, en menor medida, bloques de cuarzo de un tamaño y calidad muy heterogénea. En cambio, la talla bipolar sobre yunque, un método de explotación no tan frecuente como el anterior, se registra exclusivamente en cuarzo, constituyendo, en realidad, una adecuación técnica de primer orden que permite hacer frente a las peculiares características mecánicas de este material (DIEZ-MARTÍN *et al.*, 2009, 2010, 2011). Muchos de estos núcleos bipolares, así como algunos otros tallados a mano alzada, son habitualmente reciclados como percutores/machacadores mediante el aprovechamiento de sus aristas, algo que pone de relieve la importancia que en esta colección tienen las actividades de percusión y machacado. Este proceso modifica a las matrices implicadas, las cuales presentan unas características comunes. Se trata de objetos espesos, facetados, de morfología más o menos esférica y que muestran regiones intensamente machacadas.

La categoría de desbastados engloba las lascas simples ( $n = 38$ ), los objetos configurados sobre lasca ( $n = 4$ ) y los debris/fragmentos de talla ( $n = 37$ ), sumando todo ello un total de 79 objetos líticos (38,91%). Por lo que a las materias primas se refiere, el cuarzo domina de nuevo de forma abrumadora ( $n = 67 / 84,81\%$ ), seguido muy de lejos por el basalto ( $n = 10 / 12,65\%$ ) y el gneiss ( $n = 2 / 2,53\%$ ). Esta desigual distribución está en parte relacionada con la naturaleza friable del cuarzo y, por tanto, su respuesta ante la talla, la cual genera una gran cantidad de desecho. Por fin, una última categoría estaría constituida por todos aquellos fragmentos indeterminados imposibles de clasificar ( $n = 28 / 13,79\%$ ).

### 4.2. Análisis espacial

Tanto el extraordinario grado de preservación que exhiben, en términos generales, la fauna y los objetos líticos documentados en este nivel, los cuales apenas muestran signos de abrasión y/o pulido en sus superficies y filos, como la presencia de un alto porcentaje de elementos de pequeño tamaño dentro de la colección examinada, son únicamente dos de los rasgos que apuntan hacia un contexto de alteración postsedimentaria de baja energía para el material arqueológico hallado en BKIV (DIEZ-MARTÍN *et al.*, 2009; DOMÍNGUEZ-RODRIGO *et al.*, 2009). Ello hace de este análisis espacial algo totalmente oportuno y justificado.

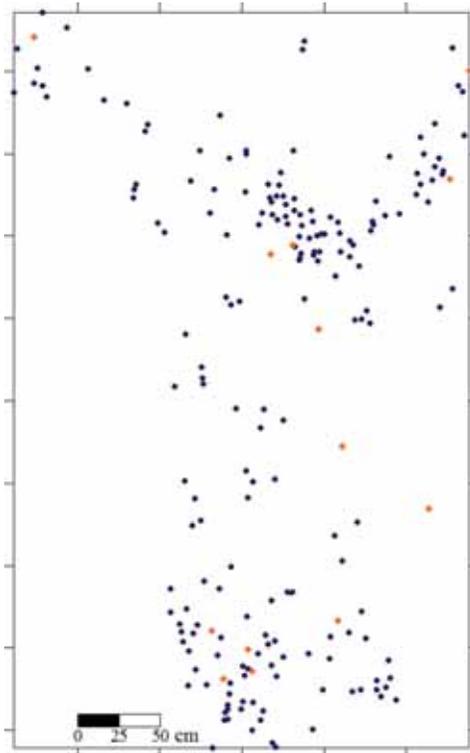


Figura 8. Distribución espacial de los basaltos vesiculares (puntos naranjas) dentro de la colección lítica examinada (puntos azules).  
Figure 8. Spatial distribution of natural nodules on porous basalt (orange dots) within the examined lithic assemblage (blue dots).

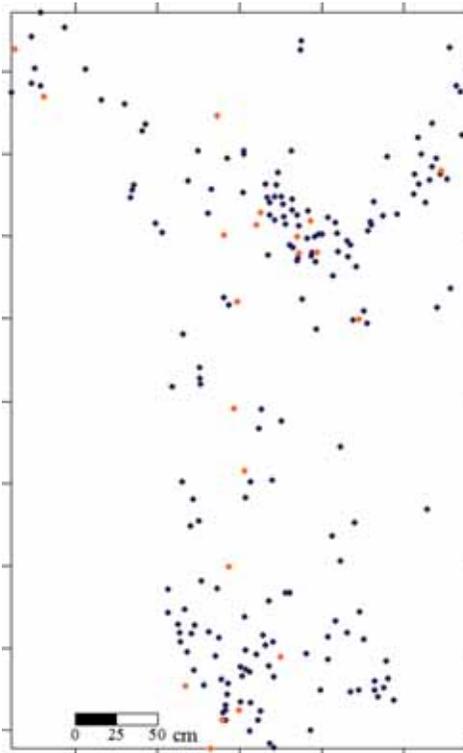


Figura 9. Distribución espacial de los elementos de percusión (puntos naranjas) dentro de la colección lítica examinada (puntos azules).  
Figure 9. Spatial distribution of hammerstones (orange dots) within the examined lithic assemblage (blue dots).

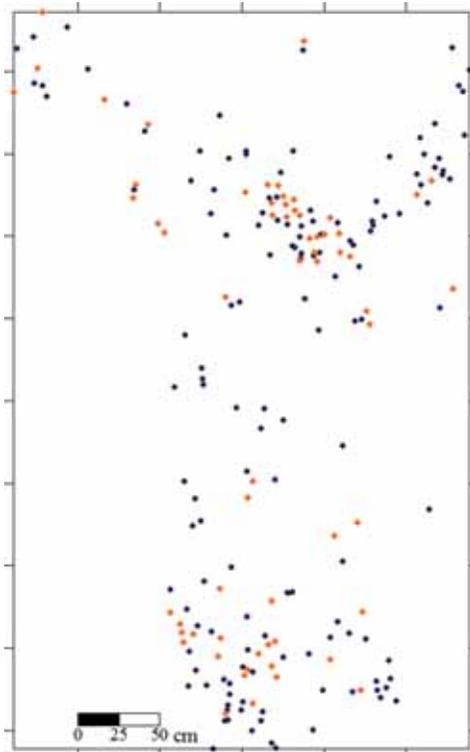


Figura 10. Distribución espacial de los núcleos (puntos naranjas) dentro de la colección lítica examinada (puntos azules).  
Figure 10. Spatial distribution of cores (orange dots) within the examined lithic assemblage (blue dots).

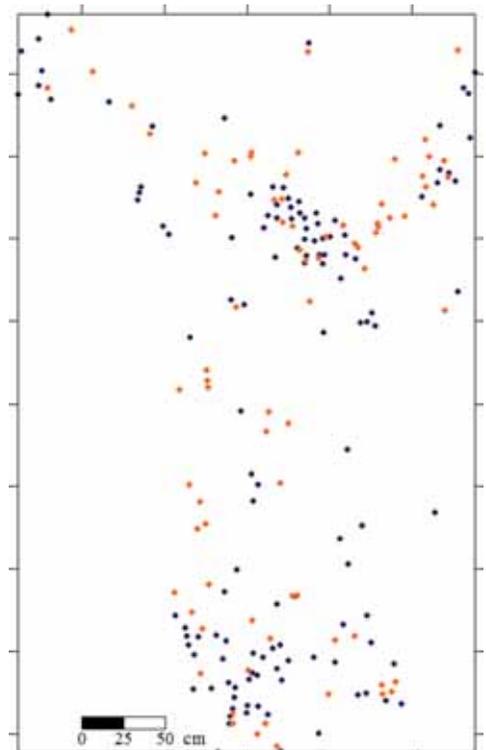


Figura 11. Distribución espacial de los desbastados (puntos naranjas) dentro de la colección lítica examinada (puntos azules).  
Figure 11. Spatial distribution of detached objects (orange dots) within the examined lithic assemblage (blue dots).

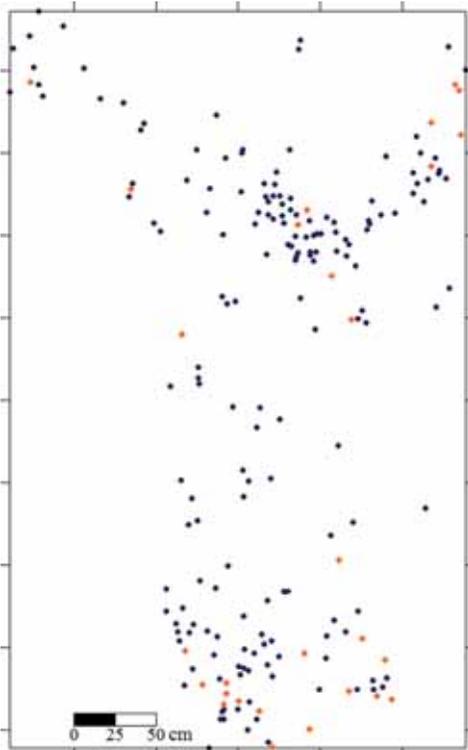


Figura 12. Distribución espacial de los fragmentos (puntos naranjas) dentro de la colección lítica examinada (puntos azules).

Figure 12. Spatial distribution of fragments (orange dots) within the examined lithic assemblage (blue dots).

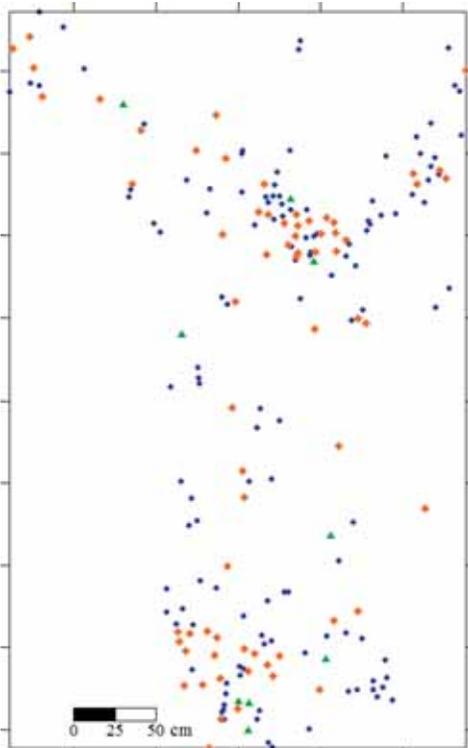


Figura 14. Distribución espacial de las materias primas: cuarzo (azul), basalto (naranja) y gneiss (verde).

Figure 14. Spatial distribution of raw materials: quartz (blue), basalt (orange) and gneiss (green).

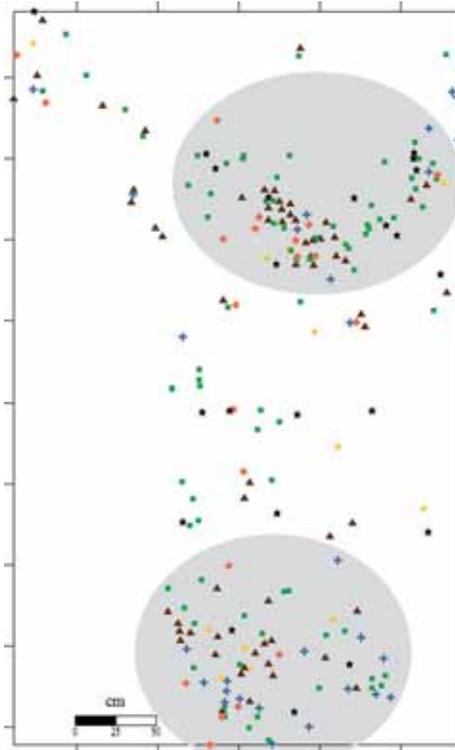


Figura 13. Vinculación espacial de los restos de fauna con marcas de corte y/o percusión (estrellas negras) y de la industria lítica en función de las categorías tecnológicas identificadas (basaltos vesiculares -círculos amarillos-, elementos de percusión -rombos naranjas-, núcleos -triángulos marrones-, desbastados -cuadrados verdes- y fragmentos -cruces azules-). Los espacios señalados delimitan las dos concentraciones de puntos de relativa densidad identificadas en el área estudiada.

Figure 13. Spatial link between faunal remains showed cut and/or percussion marks (black stars) and lithic industry classified by technological categories (natural nodules on porous basalts -yellow circles-, hammerstones -orange diamonds-, cores -brown triangles-, detached objects -green squares- and fragments -blue crosses-). Highlighted areas delimit the two relative dense concentrations of archaeological material identified within studied area.

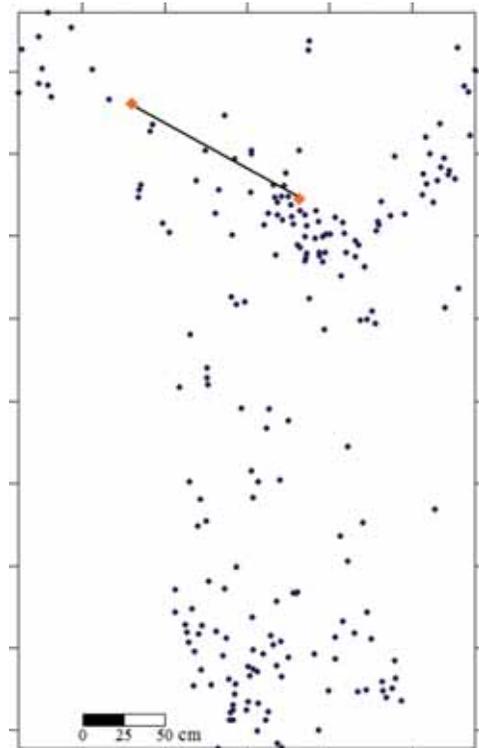


Figura 15. Localización de las piezas remontadas (puntos naranjas) dentro de la colección lítica examinada (puntos azules).

Figure 15. Spatial distribution of the refit pieces (orange dots) within the examined lithic assemblage (blue dots).

Por cada categoría lítica identificada gracias al estudio tecnológico, así como para la clasificación de los objetos por materias primas, se ha elaborado un mapa de puntos (Figuras 8 a 14) con el fin de poder observar la distribución espacial horizontal de dicho material arqueológico e intentar identificar patrones de dispersión característicos que puedan corresponder con la actividad homínida.

Contemplando de forma combinada las diferentes proyecciones resultantes es posible advertir en el área estudiada la presencia de dos concentraciones de artefactos de relativa densidad. En ellas se aglomeran una gran parte de los núcleos documentados, al igual que muchos de los elementos de percusión y un significativo número de desbastados y fragmentos. En cuanto a la distribución de las materias primas en dichas acumulaciones, cuarzo y basalto se registran casi por igual en cada una de ellas.

No sería lógico concluir este apartado sin hacer, por lo menos, una breve referencia a la indudable relación funcional y espacial existente entre la industria lítica documentada en BKIV y la fauna registrada en dicho nivel. Como ya se ha señalado en trabajos anteriores (DIEZ-MARTÍN *et al.*, 2009; DOMÍNGUEZ-RODRIGO *et al.*, 2009), éste fue un enclave en el que los homínidos llevaron a cabo, de forma repetida a lo largo de un dilatado periodo de tiempo, el procesado de carcasas. Los artefactos hallados en BK jugarían, por tanto, un papel activo en el desarrollo de esta actividad. Es por ello por lo que no debe extrañarnos el hecho de que la distribución horizontal de aquellos restos de fauna que presentan marcas de corte y/o percusión en relación con los objetos líticos examinados para esta tesis de máster esté reflejando una estrecha vinculación espacial.

### 4.3. Remontajes

El reducido tamaño de muchos de los artefactos que integran el conjunto estudiado y, sobre todo, la excesiva homogeneidad de la materia prima documentada en el mismo son dos de los aspectos que han dificultado enormemente el proceso de remontaje. El resultado de esta áspera tarea ha sido que sólo dos piezas, de todas las examinadas, han podido ser remontadas. Se trata, por un lado, de una lasca y, por otro, de su correspondiente matriz. Según la clasificación propuesta por Cziesla (1990), estaríamos, por tanto, ante un remontaje de artefactos procedentes de secuencias de reducción. Ambos elementos líticos están separados en la horizontal por una distancia de 101 cm. y en la vertical de 4,5 cm. La particular materia prima en que están elaborados, un gneiss de un característico color rosado no presente en ningún otro objeto de la colección estudiada, ha permitido en gran medida la inmediata identificación de esta conexión (Figuras 15 y 16).

## 5.- DISCUSIÓN

Paradójicamente, la ausencia casi total de remontajes quizá nos esté aportando una valiosa información acerca del tipo de conducta que generó el yacimiento. Este

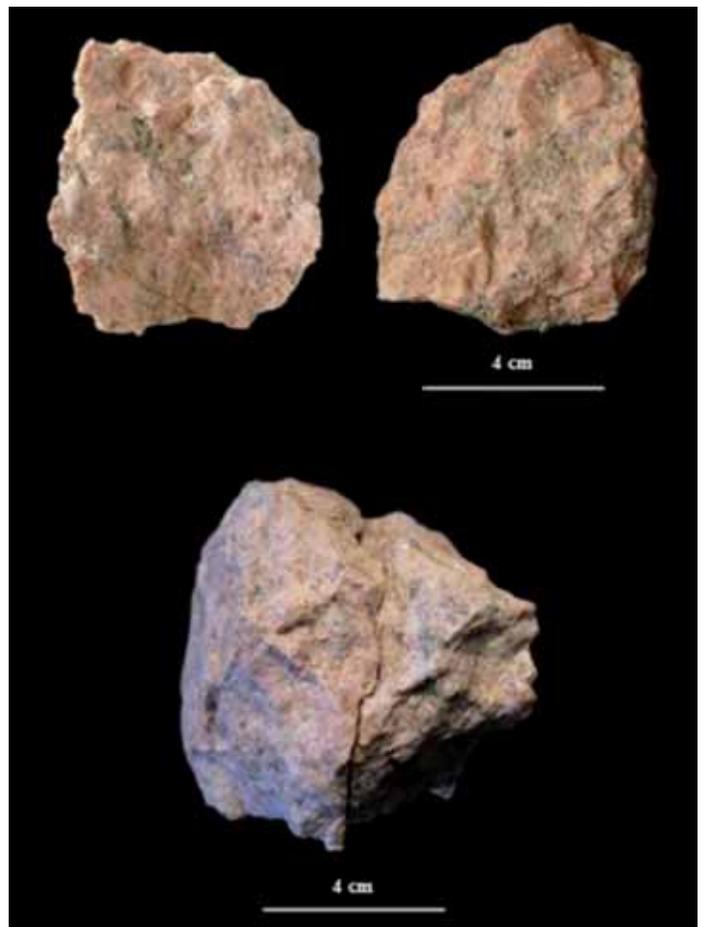


Figura 16. Remontaje identificado en la colección examinada.  
Figure 16. Refit identified in the examined assemblage.

detalle, aparentemente sin relevancia alguna, estaría dejando entrever unas ocupaciones puntuales y episódicas de los homínidos que frecuentaron este enclave. La relativa fragmentación de las cadenas operativas técnicas de la industria documentada en este depósito podría ser explicada mediante la siguiente hipótesis: en sus visitas al lugar, los homínidos estarían aportando algunos objetos ya configurados y llevándose consigo ciertos artefactos a otros puntos del territorio.

El hecho de que remonten únicamente dos objetos de todos los incluidos en la colección lítica analizada estaría, por tanto, indicando una separación espacio-temporal entre los elementos, los cuales pertenecerían a impactos antrópicos diferentes. De ser cierta esta sospecha, nos encontraríamos ante un palimpsesto, es decir, un tipo de depósito que se caracteriza por atesorar en su interior las huellas de múltiples y superpuestas actividades realizadas en un mismo espacio durante un dilatado lapso temporal (BAILEY, 2007; EIXEA, 2010; MACHADO *et al.*, 2011; MALINSKY-BULLER *et al.*, 2011; MARRERO *et al.*, 2011; SAÑUDO y FERNÁNDEZ, 2007; VAQUERO, 2008; VAQUERO *et al.*, 2012).

La condición de palimpsesto, inherente a la gran mayoría de los yacimientos del Pleistoceno inferior y medio, supone una constante dificultad para la investigación arqueológica en general y en especial para los estudios espaciales. De forma errónea, la arqueología paleolítica, tradicionalmente, ha concebido el "estrato", cuya definición descansa en criterios descriptivos que aluden a los rasgos geológico-sedimentológicos que éste adquiere en cada caso, como la unidad natural de análisis del yacimiento (MACHADO *et al.*, 2011). Sin embargo, éste es, en realidad, el fruto de actividades humanas adscritas a momentos distintos acaecidos durante largos periodos de tiempo.

Es por ello por lo que, tanto en BK como en algunos otros yacimientos de la Garganta de Olduvai, se hace necesario, antes de empezar su estudio desde el punto de vista de la distribución espacial horizontal, el empleo del método arqueostratigráfico, el cual tiene como principal objetivo la separación de los abundantes materiales arqueológicos contenidos en paquetes sedimentarios de carácter muy homogéneo y gran potencia en unidades más pequeñas que minimicen el error causado por la acumulación de éstos, estableciendo de esta manera unas relaciones de sincronía y diacronía entre los objetos depositados en un único estrato geológico (CANALS, 1993; HARICHANE, 2008; OBREGÓN, 2012).

## 6.- CONCLUSIONES

Algunas de las conclusiones que se pueden extraer de esta tesis de máster son las siguientes:

- Las densas asociaciones de lítica y fauna halladas en Olduvai en contextos de alteración postsedimentaria de baja energía nos brindan una excelente oportunidad para intentar comprender mejor el comportamiento de aquellos homínidos que las ocasionaron.

- Sin embargo, resulta imprescindible llevar a cabo, como paso previo antes de emprender el estudio de la distribución espacial horizontal, el análisis vertical del yacimiento, con el objetivo de descifrar el palimpsesto ante el cual nos encontramos.

- Por último, queda sobradamente probada la potencialidad de los remontajes como herramienta metodológica capaz de aportar información sobre la conducta que generó la concentración arqueológica.

## 7.- PERSPECTIVA DE FUTURO

Este trabajo se presenta como una primera aproximación a los estudios de arqueología microespacial en un yacimiento de la Garganta de Olduvai y, en consecuencia, los resultados han de tomarse como provisionales. Teniendo en cuenta que este análisis *intrasite* se ha concentrado exclusivamente en un área muy delimitada de uno de los niveles arqueológicos de BK, resulta prácticamente imposible afirmar con seguridad ninguna hipótesis. Por ello, en futuros trabajos de investigación se profundizará sobre el asunto, examinando tanto la distribución espacial vertical como la horizontal de éste y otros enclaves de la parte media y superior del Lecho II, entre los cuales se encuentra SHK, con el objetivo último de reconstruir el comportamiento de aquellos homínidos que frecuentaron estos espacios entre hace 1,5 y 1,3 millones de años, sin duda, una etapa fundamental en el proceso de evolución humana en lo que a la dicotomía olduvayense evolucionado-achelense se refiere.

Para realizar esta labor contamos a día de hoy con un inigualable registro. En BK se dispone de una superficie excavada de unos 50 m<sup>2</sup> (en este trabajo solo hemos analizado 8 m<sup>2</sup> de la misma), en los cuales se ha documentado una inmensa asociación de industria lítica, fauna y restos homínidos. Por su parte, en SHK se ha abierto una doble ventana, exponiéndose en total un área de unos 20 m<sup>2</sup>, que aporta datos de gran calidad espacial y permite por primera vez establecer una comparación microespacial en contexto paisajístico (mesoespacial). En definitiva, el trabajo a iniciar constituye, a la vez, un enorme reto y una vía de investigación con mucho futuro. Estas páginas, por tanto, no son más que un primer ensayo centrado en una minúscula fracción de todo el registro que tenemos a nuestra disposición.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

ALMEIDA, F.

- 2007 Refitting at Lapa Do Anecrial: Studying technology and micro scale spatial patterning through lithic reconstructions. En SCHURMANS, U. y DE BIE, M. (Eds.): *Fitting Rocks: Lithic Refitting Examined*. BAR International Series 1596, Oxford, pp. 55 - 74.
- 2008 Big puzzles, short stories: Advantages of refitting for micro-scale spatial analysis of lithic scatters from Gravettian occupations in Portuguese Estremadura. En AUBRY, T., ALMEIDA, F., ARAÚJO, A. C. y TIFFAGOM, M. (Eds.): *Proceedings of the XV World Congress UISPP. Space and Time: Which Diachronies, which Synchronies, which Scales?* BAR International Series 1831, Oxford, pp. 69 - 79.

ARAÚJO, A. C. y ALMEIDA, F.

- 2008 L'apport de la methode des remontages dans l'evaluation des processus de formation et d'alteration des depots archeologiques: Le cas de Barca do Xerez de Baixo (Portugal). En AUBRY, T., ALMEIDA, F., ARAÚJO, A. C. y TIFFAGOM, M. (Eds.): *Proceedings of the XV World Congress UISPP. Space and Time: Which Diachronies, which Synchronies, which Scales?* BAR International Series 1831, Oxford, pp. 91 - 99.

BAILEY, G.

- 2007 Time perspectives, palimpsests and the archaeology of time. *Journal of Anthropological Archaeology*, 26: 198 - 223.

CAHEN, D. y KEELEY, L. H.

- 1980 Not less than two, not more than three. *World Archaeology*, 12: 166 - 180.

CANALS, A.

- 1993 *Méthode et techniques archéo-stratigraphiques pour l'étude des gisements archéologiques en sediment homogène: application au complexe CIII de la Grotte du Lazaret, Nice (Alpes Maritimes)*. Tesis doctoral inédita. Institut de Paleontologie Humaine. Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.

CATTIN, M. I.

- 2002 El remuntatge de les restes lítiques: organització interna dels assentaments i lligams entre jaciments. *Cota Zero*, 17: 117 - 128.

CLARKE, D. L.

- 1977 *Spatial archaeology*. Academic Press, Londres.

COOPER, J. y QIU, F.

- 2006 Expediting and standardizing stone artifact refitting using a computerized suitability model. *Journal of Archaeological Science*, 33: 987 - 998.

CZIESLA, E., EICKHOFF, S., ARTS, N. y WINTER, D. (Eds.)

- 1990 *The Big Puzzle. International Symposium on refitting stone artefacts*. Holos, Bonn.

DE BIE, M.

- 2007 Benefiting from refitting in intra-site analyses: lessons from Rekem (Belgium). En SCHURMANS, U. y DE BIE, M. (Eds.): *Fitting Rocks: Lithic Refitting Examined*. BAR International Series 1596, Oxford, pp. 31 - 44.

DELAGNES, A. y ROCHE, H.

- 2005 Late Pliocene hominid knapping skills: The case of Lokalelei 2C, West Turkana, Kenya. *Journal of Human Evolution*, 48: 435-472.

DE LA TORRE, I.

- 2004 *Estrategias tecnológicas en el Pleistoceno Inferior de África oriental (Olduvai y Peninj, norte de Tanzania)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- 2008 *La arqueología de los orígenes humanos en África*. Akal, Madrid.

DE LA TORRE, I., MARTÍNEZ-MORENO, J., MORA, R. y PIZARRO, J.

- 2004 Los remontajes del nivel 10 de la Roca dels Bous (Cataluña, España). Una herramienta analítica para reconstruir los procesos de formación de los yacimientos. *Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular*, Faro: 397 – 406.

DE LA TORRE, I. y MORA, R.

- 2005 Unmodified lithic material at Olduvai Bed I: manuports or ecofacts? *Journal of Archaeological Science*, 32: 273 – 285.

DIEZ-MARTÍN, F.

- 2005 *El largo viaje. Arqueología de los orígenes humanos y las primeras migraciones*. Bellaterra, Barcelona.
- 2008 La arqueología del paisaje en la investigación paleolítica. *Arqueoweb*, 9: 1 – 49.

DIEZ-MARTÍN, F., SÁNCHEZ, P., DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M., MABULLA, A. y BARBA, R.

- 2009 Were Olduvai hominins making butchering tools or battering tools? Analysis of a recently excavated lithic assemblage from BK (Bed II, Olduvai Gorge, Tanzania). *Journal of Anthropological Archaeology*, 28: 274 – 289.

DIEZ-MARTÍN, F., SÁNCHEZ, P., DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M., MABULLA, A., BUNN, H. T., ASHLEY, G., BARBA, R. y BAQUEDANO, E.

- 2010 New insights into hominin lithic activities at FLK North Bed I (Olduvai Gorge, Tanzania). *Quaternary Research*, 74: 376 – 387.

DIEZ-MARTÍN, F., SÁNCHEZ, P., DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M. y PRENDERGAST, M. E.

- 2011 An experimental study of bipolar and freehand knapping of Naibor Soit quartz from Olduvai Gorge (Tanzania). *American Antiquity*, 76: 690 – 708.

DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M., MABULLA, A., BUNN, H.T., BARBA, R., DÍEZ-MARTÍN, F., EGELAND, C.P., ESPÍLEZ, E., EGELAND, A., YRAVEDRA, J. y SÁNCHEZ, P.

- 2009 Unraveling hominin behavior at another anthropogenic site from Olduvai Gorge (Tanzania): new archaeological and taphonomic research at BK, Upper Bed II. *Journal of Human Evolution*, 57: 260 – 283.

EIXEA, A.

- 2010 *El Abrigo de La Quebrada (Chelva, Valencia). Análisis microespacial del nivel IV*. Trabajo de Investigación de Tercer Ciclo inédito. Universidad de Valencia, Valencia.

GALLOTTI, R. y PIPERNO, M.

- 2004 Prehistoric archaeology. The site of Garba IV. Spatial analysis of the lithic material from level D. En CHAVAILLON, J. y PIPERNO, M. (Eds.): *Studies on the Early Paleolithic Site of Melka Kunture, Ethiopia*. Origines, Florencia, pp. 599 – 635.

GALLOTTI, R., MOHIB, A., EL GRAOUI, M., SBIHI-ALAOUI, F. Z. y RAYNAL, J. P.

- 2011 GIS and Intra-Site Spatial Analyses: An Integrated Approach for Recording and Analyzing the Fossil Deposits at Casablanca Prehistoric Sites (Morocco). *Journal of Geographic Information System*, 3: 373-381.

HALLOS, J.

- 2005 "15 Minutes of Fame": Exploring the temporal dimension of Middle Pleistocene lithic technology. *Journal of Human Evolution*, 49: 155 – 179.

HARICHANE, Z.

- 2008 Archéo-Stratigraphie et Système d'Information Géographique (SIG). Appliqués au site Oldowayen d'El-Kherba, Algérie Orientale. *Museologia Scientifica e Naturalistica*, Volume speciale 2008: 81 – 87.

HAY, R.

- 1976 *Geology of the Olduvai Gorge*. University of California Press, Berkeley.

HODDER, I. y ORTON, C.

1976 *Spatial analysis in Archaeology*. Cambridge University Press, Nueva York y Londres.

HOFMAN, J.

1992 Putting the pieces together: an introduction to refitting. En HOFMAN, J. y ENLOE, J. (Eds.): *Piecing together the past: applications of refitting studies in Archaeology*. BAR International Series 579, Oxford, pp. 1 - 20.

KEELER, D.

2007 Intrasite spatial analysis of a Late Upper Paleolithic French site using Geographic Information Systems. *Journal of World Anthropology: Occasional Papers*, 3: 1 - 40.

KOETJE, T.

1994 Intrasite spatial structure in the European Upper Paleolithic: Evidence and patterning from the SW of France. *Journal of Anthropological Archaeology*, 13: 161-169.

KROLL, E. M.

1994 Behavioral implications of Plio-Pleistocene archaeological site structure. *Journal of Human Evolution*, 27: 107 - 138.

LAUGHLIN, J. P. y KELLY, R. L.

2010 Experimental analysis of the practical limits of lithic refitting. *Journal of Archaeological Science*, 37: 427 - 433.

LEAKEY, M. D.

1971 *Olduvai Gorge. Volume 3. Excavations in Beds I and II. 1960 - 1963*. Cambridge University Press, Cambridge.

LÓPEZ-ORTEGA, E., RODRÍGUEZ, X. P. y VAQUERO, M.

2011 Lithic refitting and movement connections: the NW area of level TD10-1 at the Gran Dolina site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Journal of Archaeological Science*, 38: 3112 - 3121.

MACHADO, J., HERNÁNDEZ, C. M. y GALVÁN, B.

2011 Contribución teórico-metodológica al análisis histórico de palimpsestos arqueológicos a partir de la producción lítica. Un ejemplo de aplicación para el Paleolítico medio en el yacimiento de El Salt (Alcoy, Alicante). *Recerques del Museu d'Alcoi*, 20: 33 - 46.

MALINSKY-BULLER, A., HOVERS, E. y MARDER, O.

2011 Making time: *Living floors, palimpsests* and site formation processes. A perspective from the open-air Lower Paleolithic site of Revadim Quarry, Israel. *Journal of Anthropological Archaeology*, 30: 89 - 101.

MARRERO, E., HERNÁNDEZ, C. M. y GALVÁN, B.

2011 El análisis espacial en el estudio de las secuencias de facies arqueosedimentarias. Criterios para identificar eventos de ocupación en yacimientos del Paleolítico medio: El Salt y el Abric del Pastor (Alcoy, Alicante, España). *Recerques del Museu d'Alcoi*, 20: 7 - 32.

OBREGÓN, R. A.

2012 *Estratigrafía cultural en el nivel TD10-1 de Gran Dolina, Sierra de Atapuerca, (Burgos): Secuencia arqueostratigráfica de los asentamientos contenidos en sedimento homogéneo*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Burgos, Burgos.

POPE, M. y ROBERTS, M.

2005 Observations on the relationship between Paleolithic individuals and artefact scatters at the Middle Pleistocene site of Boxgrove, UK. En GAMBLE, C. y PORR, M. (Eds.): *The individual hominid in context. Archaeological investigations of Lower and Middle Paleolithic landscapes, locales and artefacts*. Routledge, Abington y Nueva York.

POTTS, R.

1988 *Early hominid activities at Olduvai*. Aldine de Gruyter, Nueva York.

1991 Why the Oldowan? Plio-Pleistocene tool-making and the transport of resources. *Journal of Anthropological Research*, 47: 153 - 176.

SAÑUDO, P. y FERNÁNDEZ, J.

2007 Análisis espacial del nivel IV de la Cova del Bolomor (La Vallidigna, Valencia). *Saguntum*, 39: 9 - 26.

SCHURMANS, U.

2007 Refitting in the Old and New worlds. En SCHURMANS, U. y DE BIE, M. (Eds.): *Fitting Rocks: Lithic Refitting Examined*. BAR International Series 1596, Oxford, pp. 7 – 23.

SIMEK, J. F. y LARICK, R. R.

1983 The recognition of multiple spatial patterns: a case study from the French Upper Paleolithic. *Journal of Archaeological Science*, 10: 165-180.

SISK, M. L. y SHEA, J. J.

2008 Intrasite spatial variation of the Omo Kibish Middle Stone Age assemblages: artefact refitting and distribution patterns. *Journal of Human Evolution*, 55: 486 – 500.

THOMAS, R. y ZIEHAUS, J.

(e.p.) Spatial and chronological patterns of the lithics of hearth 1 at the Gravettian site Krems – Wachtberg. *Quaternary International*.

VAQUERO, M. y PASTÓ, I.

2001 The definition of spatial units in Middle Palaeolithic sites: The hearth-related assemblages. *Journal of Archaeological Science*, 28: 1209 – 1220.

VAQUERO, M.

2008 The history of stones: behavioural inferences and temporal resolution of an archaeological assemblage from the Middle Palaeolithic. *Journal of Archaeological Science*, 35: 3178-3185.

VAQUERO, M., CHACÓN, M. G., GARCÍA-ANTÓN, M. D., GÓMEZ DE SOLER, B., MARTÍNEZ, K. y CUARTERO, F.

2012 Time and space in the formation of lithic assemblages: The example of Abric Romaní Level J. *Quaternary International*, 247: 162 – 181.

VILLA, P.

1982 Conjoinable pieces and site formation processes. *American Antiquity*, 47: 276 – 281.

# Evolución ambiental de los estuarios vascos (Urdaibai y Deba) durante el Holoceno como consecuencia del ascenso en el nivel marino

## Holocene environmental evolution of the basque estuaries (Urdaibai and Deba) as a consequence of sea-level rise

**PALABRAS CLAVES:** Holoceno, evolución ambiental, nivel de mar, foraminíferos, estuarios, Urdaibai, Deba.  
**KEY WORDS:** Holocene, environmental evolution, sea-level, foraminifera, estuaries, Urdaibai, Deba.

**Sergio HERNÁNDEZ MARTÍN<sup>(1)</sup>**

### RESUMEN

El estudio de testigos sedimentarios obtenidos por medio de dos sondeos mecánicos (por roto-percusión) en los estuarios de Urdaibai y Deba ha permitido identificar las diferentes asociaciones de foraminíferos existentes en estos estuarios a lo largo del Holoceno. Para ello se han empleado técnicas micropaleontológicas (foraminíferos), sedimentológicas y geoquímicas (dataciones de C-14). Todo ello ha permitido reconstruir la evolución ambiental holocena de la zona costera vasca debido al ascenso eustático del nivel marino y su comparación con los datos previos de estos y otros estuarios de la costa vasca.

### ABSTRACT

The study of sedimentary cores obtained through two mechanical drillings (roto-percussion) in the Urdaibai and Deba estuaries has allowed the identification of the different foraminifera associations in these estuaries through Holocene. For that aim micropaleontological (foraminifera), sedimentological and geochemical (C14 dating) techniques have been used. This has allowed the reconstruction of the Holocene environmental evolution of the Basque coast due to the eustatic sea-level rise and its comparison with previous data obtained for these and other estuaries from the Basque coast.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Los foraminíferos son protistas que habitan en medios salinos de diferente rango y que, debido a su alta sensibilidad a determinados parámetros ambientales, son comúnmente empleados como herramientas para caracterizar o reconstruir las condiciones ambientales presentes y pretéritas en medios marinos y estuarinos. En concreto el análisis de alta resolución de foraminíferos bentónicos puede aportar información sobre el origen de los sedimentos y sus paleoambientes asociados, que mediante otras técnicas no se podrían conocer (Solar Martínez, 2007).

La reconstrucción de estos medios estuarinos permite, entre otras muchas cosas, el estudio en detalle de las variaciones en el nivel de mar durante el Holoceno ya que representan una de las pocas zonas costeras en las que se conservan registros sedimentarios relativamente completos de ambientes continentales, salobres y marinos. Además, al ser ecosistemas que se disponen en el límite entre el continente y el océano sufren cambios considerables producidos por las variaciones del nivel marino (cuando el nivel del mar sube su influencia se adentra más hacia el continente). Estos cambios pueden ser observados en el registro micropaleontológico y, gracias a este hecho, las variaciones en el nivel del mar pueden ser inferidas.

El reto principal que aborda este trabajo es la reconstrucción de las variaciones ambientales que han experimentado los estuarios de Urdaibai y Deba desde su formación siguiendo el ascenso marino postglacial.

<sup>(1)</sup> Dpto. Estratigrafía y Paleontología. Fac. Ciencia y Tecnología. UPV/EHU. Barrio Sarriena s/n. 48940. Leioa (Bizkaia, España). Tfno: 946015426, 685728547. Email: sergio.hernandez@ehu.es  
Director: Alejandro Cearreta Bilbao



Figura 1. Localización del sondeo "S-2 Puente" perforado en el estuario de Urdaibai, muy cerca de Gernika.

Figure 1. Location of the "S-2 Puente" borehole in the Urdaibai estuary, near Gernika.

Esta reconstrucción se ha realizado mediante el análisis detallado del contenido en foraminíferos bentónicos de dos testigos obtenidos en los estuarios de Urdaibai (Bizkaia) y Deba (Gipuzkoa) (Figuras 1 y 2). Además, las dataciones mediante radiocarbono han permitido localizar temporalmente los diferentes paleoambientes y episodios deposicionales identificados en los dos sondeos.

Esta reconstrucción ha permitido, además, contribuir a la caracterización del ascenso del nivel del mar que se produjo durante el Holoceno por causas eustáticas,

hecho ya descrito en numerosos estudios previos en las costas atlánticas europeas y en otros estuarios cantábricos (Cearreta y Murray, 1996; Leorri y Cearreta, 2004).

Finalmente, la comparación de la información obtenida en este trabajo con los datos provenientes de otras secuencias sedimentarias estudiadas en diferentes zonas costeras próximas del Golfo de Bizkaia contribuirá a la reconstrucción del esquema general de los cambios en el nivel mar y de la evolución costera de esta zona geográfica durante los últimos 10.000 años.



Figura 2. Localización del sondeo "DB-1" perforado en la vega de Artzabal (Deba).

Figure 2. Location of the "DB-1" borehole in the Artzabal meadow (Deba).

## 2- MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras estudiadas en el presente trabajo fueron obtenidas a partir de dos sondeos mecánicos con extracción de testigo continuo (por roto-percusión) realizados en la zona media de los estuarios de Urdaibai y Deba respectivamente, dentro de la costa vasca (Figuras 1 y 2). Para su obtención se empleó en ambos casos una sonda RL-46 (Figura 3).

En el sondeo "S-2 Puente" de Urdaibai, perforado por la empresa Saiatek en 2011, (coordenadas X: 527.019,78, Y: 4.798.361,52, Z: +4,68 metros, tomando como referencia el nivel 0 m del Puerto de Bilbao) se han extraído 38,60 metros de testigo continuo, llegando al sustrato rocoso a la profundidad de 18,60 metros. Se han recogido un total de 26 muestras a lo largo de todo el sondeo, tomando muestras a intervalos de 60 cm aproximadamente siempre intentando abarcar todas las litologías y cambios de facies apreciables (Figura 4).

Para el estudio micropaleontológico de las muestras se procedió primeramente al secado y pesado de las mismas, seguido de un lavado con agua a través de dos tamices de 1000 micras y de 63 micras de luz de malla respectivamente. Este lavado se realizó para separar la fracción más gruesa en el primer tamiz de 1000 micras y concentrar la fracción media (arena, en la cual se encuentran los foraminíferos, tanto juveniles como adultos) en el tamiz de 63 micras, dejando que la fracción limosa y arcillosa más fina se eliminara por el desagüe. Posteriormente la fracción más gruesa se secó y pesó para obtener su proporción con respecto al total de la muestra. La fracción arenosa fue secada en la estufa a 50 °C, pesada y posteriormente se le aplicó el método de flotación con líquidos densos (tricloroetileno; Murray, 1979) en una campana de gases, con el fin de concentrar los foraminíferos y separarlos del resto de materiales no biogénicos.



Figura 3. Sonda RL-46 perforando el sondeo DB-1 en el estuario de Deba.  
Figure 3. RL-46 drilling machine in the Deba estuary.



Figura 4. Recogida de muestras en el laboratorio para el estudio micropaleontológico del sondeo "S-2 Puente" de Urdaibai.  
Figure 4. Collection of laboratory samples for the micropaleontological study of the "S-2 Puente" borehole of Urdaibai.

Se han separado un mínimo de 300 caparazones de foraminíferos de cada muestra, y en las muestras en que no ha sido posible, se han extraído todos los microfósiles que aparecían. Esta tarea se ha realizado con la ayuda de una lupa binocular Nikon SMZ645. Posteriormente, se ha calculado el porcentaje de cada especie dentro de las distintas asociaciones encontradas, considerando representativas aquellas muestras en las que se han podido extraer más de 100 caparazones (Cearreta *et al.* 2006). En total, de este sondeo se han extraído 6.952 caparazones, pertenecientes a 14 especies diferentes (Anexo 1).

Asimismo, se han realizado 14 dataciones de AMS (Accelerator Mass Spectrometer) C14 en el laboratorio Beta Analytic Inc. (USA), todas ellas sobre conchas. Se han obtenido tanto las edades convencionales como las edades calibradas 2 sigma (95% de probabilidad). Las dataciones efectuadas también han sido corregidas para el efecto reservorio del agua marina que ha sido estimado en unos 400 años para el Golfo de Bizkaia (Stuiver y Brazuinas, 1993; Leorri y Cearreta, 2004). Todas las edades radiométricas obtenidas aparecen en el Anexo 2.

Por otro lado, se ha completado el estudio del sondeo "Deba 1" o "DB-1" (coordenadas X: 551532,17, Y: 4793660,74, Z: +5,53), perforado por la empresa Aroa Geotecnia SLL en 2008, en el cual se han extraído 29,40 metros de testigo continuo, alcanzando el sustrato a la profundidad de 29,30 metros (Figura 3). Se han obtenido un total de 31 muestras representativas de todo el sondeo a intervalos de aproximadamente 1 m, intentando recoger muestras de todas las facies representativas.

Para el estudio micropaleontológico, 26 muestras ya se encontraban preparadas y extraídas previamente, por lo que únicamente ha sido necesario revisarlas con el fin de asegurar la correcta extracción e identificación originales de las especies y asociaciones. En cuanto a las 5 muestras restantes, se ha llevado a cabo el mismo proceso de preparación en el laboratorio que ha sido descrito anteriormente para las muestras del sondeo "S-2 Puente". En este segundo sondeo se han extraído 4.528 caparazones, pertenecientes a 25 especies diferentes (Anexo 1).

En este sondeo se han realizado 13 dataciones radiométricas (12 dataciones AMS C14 y 1 datación C14 estándar) en el laboratorio Beta Analytic Inc. (USA), todas ellas sobre materia orgánica vegetal excepto una sobre conchas. Se presentan tanto las edades convencionales como las edades calibradas 2 sigma (95% de probabilidad), y su corrección para el efecto reservorio regional del agua marina (Anexo 2).

Las especies encontradas en este trabajo han sido divididas en autóctonas (aquellas que viven y se reproducen en el estuario) y alóctonas (aquellas transportadas desde la plataforma continental). Esta clasificación está basada en los estudios de asociaciones vivas de estuarios de la zona cantábrica realizados por Cearreta (1988). La lista completa de especies encontradas aparece en el Anexo 3 y su abundancia relativa en todas las muestras analizadas se presenta en las Figuras 5 y 7.

No es posible la comparación directa de la diversidad específica entre muestras con diferente número de caparazones, por lo que es necesario emplear alguno de los diferentes índices de diversidad descritos por varios autores para realizar esta comparación correctamente. El índice de diversidad más ampliamente utilizado es el índice  $\alpha$  de Fisher, descrito por primera vez en Fisher *et al.* (1943), y su mayor ventaja es que incluye las especies raras, pero su valor tiende a incrementarse con el tamaño de la muestra analizada.

Todas las profundidades y alturas topográficas utilizadas en este trabajo han sido referenciadas con respecto al nivel local de mar (nlm) que corresponde a la bajamar equinoccial medida en el puerto de Bilbao el 27 de septiembre de 1878.

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de las muestras desde un punto de vista principalmente micropaleontológico han permitido distinguir varias facies o ambientes diferenciados dentro de las secuencias sedimentarias estudiadas, cada una de ellas caracterizada por una asociación de foraminíferos (AF) distinta. Los criterios que

se han tenido en cuenta principalmente han sido la presencia, abundancia y dominancia de diferentes especies de foraminíferos bentónicos y la aparición o no de individuos alóctonos.

De esta manera, en el sondeo de **Urdaibai (S-2 Puente)** se pueden diferenciar 3 zonas en base a su contenido en foraminíferos (Figura 5 y Tabla I). Las descripciones completas de su contenido en foraminíferos y las dataciones de estas AFs se pueden observar en los Anexos 1 y 2. De muro a techo, las AFs son las siguientes:

**AF3:** se encuentra directamente sobre el sustrato de arcillas abigarradas, gravas y yesos (probablemente del Trias-Keuper) y está compuesta por 1,7 metros de gravas marrones con bastante arena y muy poco limo. Se han estudiado dos muestras de esta asociación, de las cuales la inferior no presenta ningún foraminífero, y la superior no llega a 100 caparazones.

Este intervalo es interpretado como un ambiente fluvial en condiciones de nivel de mar bajo, en el cual la ausencia o poca presencia de foraminíferos puede deberse al retrabajamiento sufrido por la dinámica estuarina holocena tras el ascenso eustático del nivel marino.

**AF2:** compuesta por 3 metros de arenas con gravas y limos en su parte mas baja y de 7,2 metros de fango limoso con abundantes fragmentos de conchas en su parte media y alta. Con respecto al contenido en foraminíferos destacan *Ammonia tepida* (63%) y *Haynesina germanica* (32%) como especies principales y *Criboelphidium williamsoni* (3%), *Criboelphidium oceanensis* (0,5%), *Elphidium crispum* (0,2%) como formas secundarias y minoritarias. El número de especies es bajo, con una media de 5 por muestra, además se mantiene muy constante a lo largo de toda la asociación, manteniendo prácticamente todas las muestras los mismos especímenes. El porcentaje de caparazones hialinos llega hasta el 99,5%, mientras que el de aglutinantes se ve reducido a tan solo 0,5%. La cantidad de alóctonos es muy baja, con una media de 0,5%. El índice  $\alpha$  de Fisher es de 0,8. Cabe destacar que de esta asociación se han realizado dataciones de casi todas las muestras estudiadas, un total de 12, que han dado intervalos de tiempo que rondan entre los 8460 y los 6470 años cal BP. Una de estas dataciones ha sido descartada por su incongruencia con el resto.

Esta zona se interpreta como un medio intermareal salobre bastante restringido, debido al bajo número de especies y al bajo porcentaje de alóctonos que se encuentra en la muestra.

**AF1:** el intervalo más alto del sondeo lo forman 5,7 metros de fangos limosos con abundantes fragmentos de conchas. Como especies principales dominan *Trochammina inflata* (52%) y *Jadammina macrescens* (35%), siendo *H. germanica* (7,7%) y *A. tepida* (2,4%) secundarias y *Arenoparrella mexicana* (1,8%) minoritaria. El número de especies es bajo, siendo de media 5, con un índice  $\alpha$  de Fisher también bajo de 0,8. No contiene especies alóctonas. El porcentaje de caparazones aglutinantes llega hasta el 90%, mientras que el de hialinos le corresponde un 10%.

**Nivel anómalo:** en la mitad superior de este intervalo se detecta un nivel anómalo en el cual aparecen *H. germanica* (62,6%) y *A. tepida* (14,1%) como formas mayoritarias y *T. inflata* (8,4%), *C. williamsoni* (5,7%), *Cibicides lobatulus* (3,4%), *J. macrescens* (2,4%), *Rosalina anomala* (1,7%) y *Cassidulina obtusa* (1,3%) como especies secundarias y minoritarias. Aparecen 9 especies y tiene un índice  $\alpha$  de Fisher de 1,8. Contiene un moderado porcentaje de alóctonos (7%) y además aparecen caparazones de especies de foraminíferos plantónicos. El porcentaje de caparazones se invierte con respecto al nivel AF1, siéndolos hialinos del 90%, y el de aglutinantes tan solo del 10%.

Hay dos dataciones realizadas en esta asociación AF1 que van desde los 2990 años cal BP a los 2110 años cal BP. Por encima de esta asociación final se encuentra el relleno antrópico, 0,9 metros de suelo vegetal y escombros.

Esta asociación es indicativa de una marisma vegetada. Dentro de ella se puede apreciar un nivel anómalo, el cual se asocia a un ambiente intermareal de gran influencia marina y que podría tratarse de un depósito puntual de tormenta o tempestita.

En total, se han encontrado en este sondeo 8 especies autóctonas y 6 alóctonas (Anexo 1 y 2).

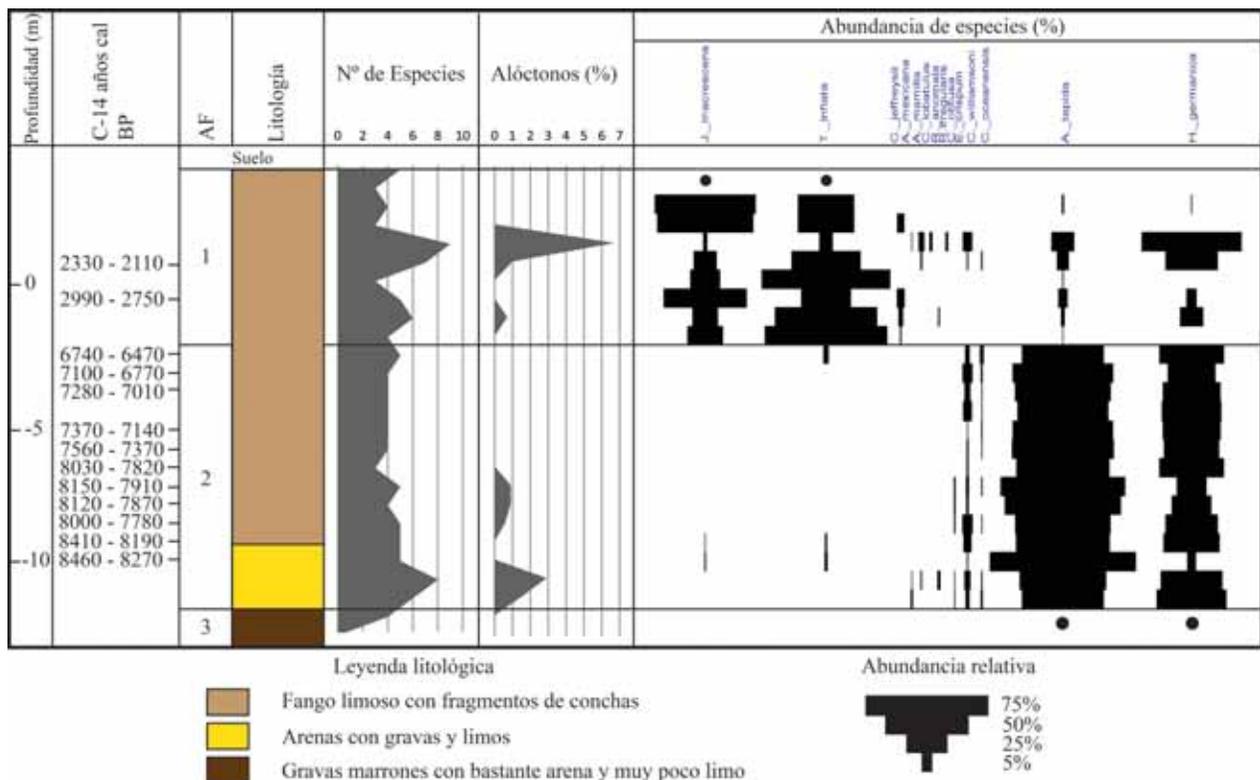


Figura 5. Distribución y abundancia de foraminíferos en el sondeo de Urdaibai (S-2 Puente), donde se muestran las diferentes asociaciones de foraminíferos, el número de especies, el porcentaje de foraminíferos alóctonos y la abundancia relativa de las especies más relevantes. El círculo negro indica la presencia de esa especie. Figure 5. Distribution and abundance of foraminifera in the "S-2 Puente" borehole (Urdaibai), where the different foraminifera assemblages, the number of species, the percentage of allochthonous foraminifera and the relative abundance of the most relevant species are shown. The black circle represents the presence of those species.

### 3.1. Evolución ambiental del estuario del río Oka

Tras integrar todos los datos analizados (micropaleontológicos, sedimentológicos y geoquímicos) en el estudio del sondeo "S-2 Puente", se puede interpretar de manera clara que el estuario de Urdaibai ha experimentado una evolución ambiental muy marcada desde el último periodo glacial. Esta evolución ha sido provocada por el ascenso eustático marino postglacial, que fue invadiendo paulatinamente el continente, convirtiendo de esta manera, ambientes plenamente continentales en ambientes litorales.

De esta manera, se interpreta un primer estadio de ambiente fluvial en condiciones de mar bajo (AF3) que sería anterior a los 8500 años cal BP. A este le sucede un ambiente intermareal salobre restringido (AF2), que se desarrolla entre los 8460 años cal BP y los 6470 años cal BP. Finalmente, desde los 3000 años cal BP, se desarrolla una marisma vegetada (AF1) con un evento puntual, que revierte la marisma a un ambiente intermareal salobre con gran influencia estuarina y marina.

Además de los datos micropaleontológicos, en los sedimentológicos también se aprecia la evolución desde ambientes fluviales con gravas, pasando por intermareales arenosos, para finalizar en ambientes marismos fangosos.

Esta evolución descrita para el sondeo "S-2 Puente" concuerda con otros estudios realizados en el estuario de Urdaibai, donde también se aprecia una somerización y colmatación del estuario del río Oka por causa de un aumento eustático del nivel marino (Solar Martínez, 2007; Cearreta *et al.* 2006), que comenzó presumiblemente, según estos autores, tras la última fase del descenso glacioeustático del nivel marino durante el Pleistoceno final. Esto se puede observar en la Figura 6, donde se presenta la interpretación dada por Solar Martínez (2007) para el estuario superior de Urdaibai en base al estudio de 6 sondeos. En la figura se aprecia como las fases o cortejos (basados en estratigrafía de secuencias) coinciden con los descritos en este trabajo.

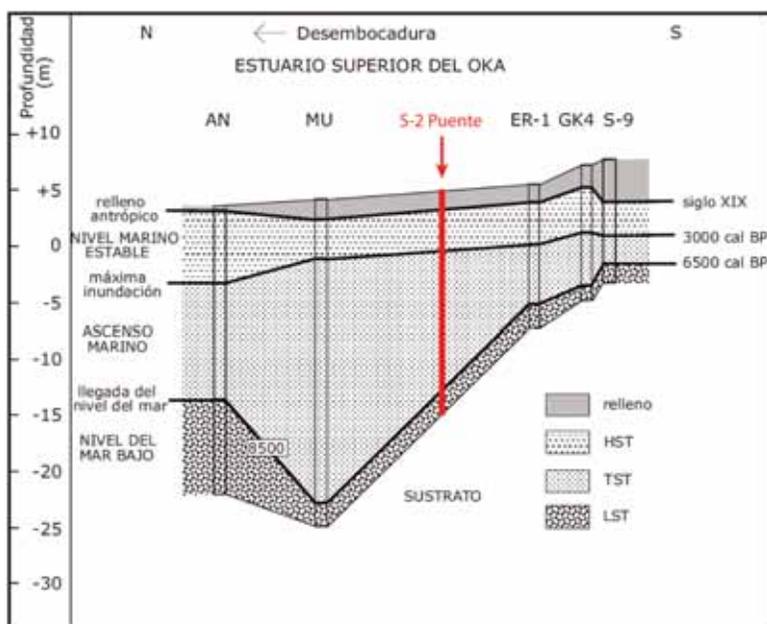


Figura 6. Localización del sondeo "S-2 Puente" dentro de la interpretación de la evolución paleoambiental del depósito holoceno en el estuario superior del Oka realizada por Solar Martínez (2007).  
 Figure 6. Location of the "S-2 Puente" borehole in the interpretation by Solar Martínez (2007) of the paleoenvironmental evolution of the Holocene deposit in the Oka upper-estuary.

En el sondeo de **Deba (DB-1)** se han distinguido 5 asociaciones diferentes (Figura 7 y Tabla I) en base a su contenido en foraminíferos (Anexo 1) que son las siguientes de muro a techo:

**AF5:** se encuentra directamente sobre el sustrato rocoso y se compone de 1,95 metros de gravas, arenas y fangos con bioclastos y materia vegetal en su mitad inferior, y 4,55 metros de arena fangosa con bioclastos, materia vegetal y alguna gravilla en su mitad superior. Dominan *A. tepida* (39%) y *H. germanica* (33%) como formas principales, *Rosalina irregularis* (8%) y *C. williamsoni* (7%) como secundarias y *C. oceanensis* (4%), *Boliviana pseudoplicata* (3,4%), *Quinqueloculina seminula* (3%), *Miliolinella subrotunda* (1%), *Brizalina variabilis* (0,5%) y *C. lobatulus* (0,5%) como especies minoritarias. Aparecen 9 especies de media en el intervalo, siendo

esta la mayor diversidad de todo el sondeo, con un índice  $\alpha$  de Fisher de 2,4. Aparecen gran cantidad de caparazones alóctonos, llegando en algún caso al 20%, siendo la media de todas las muestras del intervalo 10%. Se encuentran además algunos caparazones de especies de foraminíferos planctónicos. Se han realizado 6 dataciones en esta zona, con edades comprendidas entre los 10150 y 9130 años cal BP. Una de estas se ha descartado por desviarse de la tendencia general de edades.

Este intervalo es interpretado como un ambiente intermareal fangoso con bastante influencia marina debido al moderado porcentaje de alóctonos que aparecen y a la existencia de caparazones de especies planctónicas de mar abierto.

**AF4:** se compone de 9,9 metros de arena fangosa con bioclastos, materia vegetal y alguna gravilla. Dominan como especies principales *A. tepida* (45%), *H. germanica* (39,4%) y *C. williamsoni* (12%) y como minoritarias encontramos *C. oceanensis* (1,2%), *B. pseudoplicata* (0,8%), *Criboelphidium excavatum* (0,5%), *Q. seminula* (0,4%) y *R. irregularis* (0,3%). El número de especies es bastante alto, llegando la media del intervalo a 7, con un índice  $\alpha$  de Fisher de 1,7. El contenido de caparazones alóctonos es muy escaso, siendo solamente del 0,8% de media. Aparecen caparazones de foraminíferos planctónicos en esta zona. En esta sección hay realizadas 4 dataciones, dos de las cuales parecen no corresponder con la tónica general, por lo que se han descartado. Las dos restantes comprenden edades entre 9280 y 9010 años cal BP.

Esta asociación se interpreta como un ambiente intermareal salobre con relativamente poca influencia marina a pesar de la aparición de algún caparazón de origen planctónico.

**AF3:** se trata de un intervalo de 5,9 metros de arenas fangosas con bioclastos, materia vegetal y alguna gravilla. Dominan las especies de *H. germanica* (49%), *A. tepida* (27%) y *C. williamsoni* (24%) como principales y como minoritarias *B. variabilis* (0,4%) y *C. oceanensis* (0,3%). El número de especies es relativamente bajo, siendo la media de 4, con un índice  $\alpha$  de Fisher de 0,9. El porcentaje de foraminíferos alóctonos es anecdótico (0,4%). Aparecen algunos caparazones de foraminíferos planctónicos en esta zona. En este intervalo hay 3 dataciones, las cuales rondan entre los 7170 y 6810 años cal BP. Aparece también un **nivel anómalo** en el cual no se encuentra ningún caparazón, y que coincide con el tránsito a la asociación inferior AF4.

Esta zona se interpreta como un medio intermareal salobre bastante más restringida que la asociación anterior, debido al bajo número de especies y a la inexistencia de organismos alóctonos.

**AF2:** se compone de un intervalo de 5 metros de arenas fangosas con gravilla. No contiene ningún resto de foraminíferos y se puede interpretar como una zona con gran influencia de agua dulce, lo que imposibilita la aparición de estos microfósiles de afinidad salina.

**AF1:** es el nivel más alto topográficamente y se trata de 2 metros de arenas marrones con gravas. Aparecen únicamente 3 especies de las cuales domina claramente *A. tepida* (90%). Las otras dos formas aparecen en menor medida: *H. germanica* (8,4%) y *C. oceanensis* (0,6%). No hay contenido alóctono en este nivel.

Se interpreta como un medio intermareal salobre muy restringido, por la práctica dominancia de una única especie y la ausencia de alóctonos.

En total se han encontrado 11 especies autóctonas y 14 especies alóctonas en este sondeo (Anexo 1 y 2).

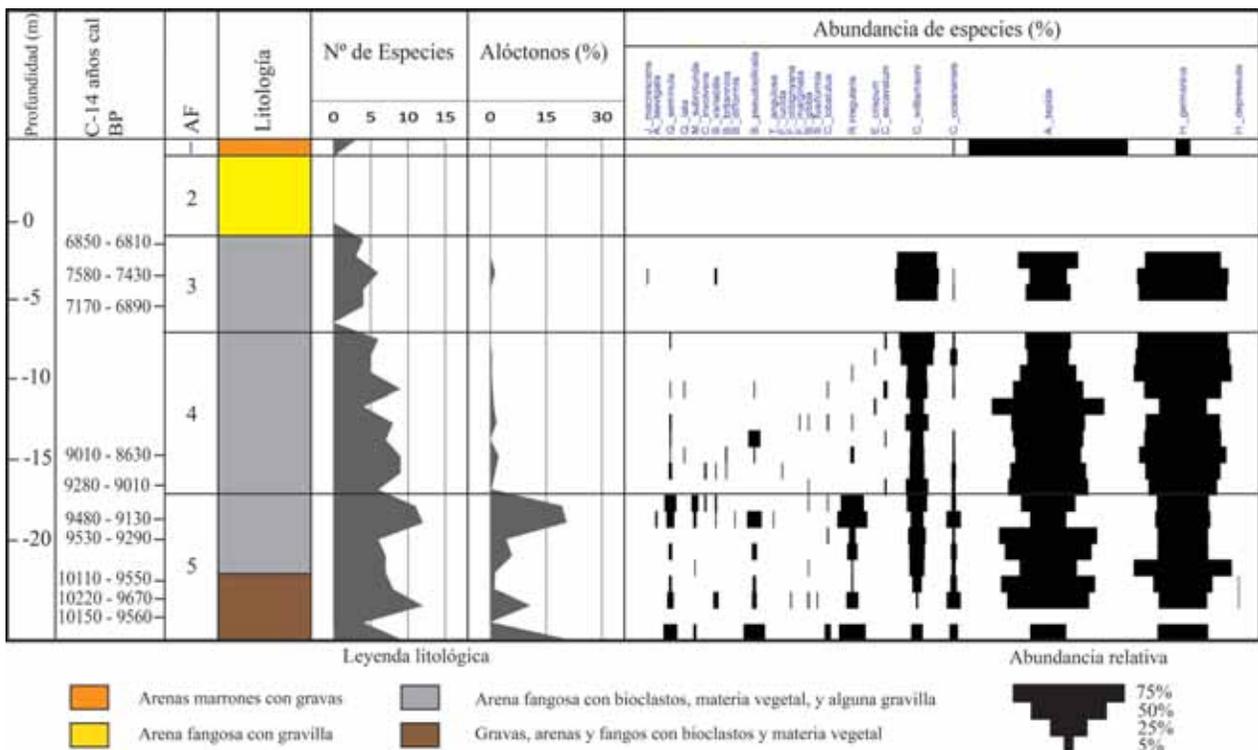


Figura 7. Distribución y abundancia de foraminíferos en el sondeo de Deba (DB-1), donde se muestran las diferentes asociaciones de foraminíferos, el número de especies, el porcentaje de foraminíferos alóctonos y la abundancia relativa de las especies más relevantes.

Figure 7. Distribution and abundance of foraminifera in the 'DB-1' borehole (Deba), where the different foraminifera assemblages, the number of species, the percentage of allochthonous foraminifera and the relative abundance of the most relevant species are shown.

### 3.2. Evolución ambiental del estuario del río Deba

Los materiales estudiados en el estuario de Deba revelan, al igual que en el de Urdaibai, una evolución ambiental muy marcada desde el último periodo glaciario, provocada por el ascenso eustático marino postglaciario. Así pues, se interpreta una primera asociación (AF5), con edades comprendidas entre 10.150 años cal BP y 9130 años cal BP, como un ambiente intermareal fangoso con bastante influencia marina. El retrabajamiento de las gravas centimétricas basales de probable origen fluvial pre-Holoceno es indicativo de un elevado nivel de energía durante las primeras fases de formación de este estuario. A esta le sigue una zona de ambiente intermareal salobre con relativamente poca influencia marina (AF4) con edades que van desde los 9280 años cal BP a más o menos los 8000 años cal BP. La siguiente asociación (AF3) continúa siendo un ambiente intermareal salobre, pero en este caso más restringido que el anterior. El rango de edades

para esta asociación es de entre 7170 años cal BP y 6810 años cal BP. Por encima se encuentra una asociación en la cual no aparece ningún caparazón de foraminíferos, por lo que se considera como una zona con gran influencia de agua dulce (AF2). Finalmente la última asociación se interpreta también como un medio intermareal salobre (AF1), pero en este caso existe una dominancia absoluta de una única especie, lo que implica un ambiente altamente restringido y con ninguna influencia de mar abierto.

En resumen, lo que se aprecia en síntesis en el estuario de Deba es una somerización y colmatación del estuario por causa de un aumento eustático del nivel marino (Cearreta y Leorri, 2008), pero a diferencia del caso de Urdaibai, sin llegar a generar marismas vegetadas en la parte final. Los ambientes comienzan siendo intermareales con influencia marina importante, para progresivamente ir perdiendo esta influencia y volverse más restringidos cada vez.

### 3.3. Cambios del nivel marino en el Golfo de Bizkaia durante el Holoceno

La zona costera actual del Golfo de Bizkaia es un típico litoral de inundación formado por el ascenso eustático marino tras la deglaciación del final del Pleistoceno que penetró los valles fluviales previos dando lugar a estuarios (Solar Martínez, 2007). Como se puede ver en la Figura 8, obtenida de Leorri *et al.* (2012), donde se integran datos de diferentes estuarios del Golfo de Bizkaia, los estuarios comenzaron a desarrollarse alrededor de los 9000-10.000 años cal BP, cuando el ascenso del nivel marino alcanza un valor de 9-12 mm/año hasta los 7000 años cal BP, permitiendo la entrada de grandes cantidades de arena marina dentro de los estuarios. A partir de ahí su velocidad de ascenso se moderó hasta los 0,3-0,7 mm/año hasta alrededor de los 3000 años cal BP. Desde ese momento el nivel marino alcanzó aproximadamente su posición actual, facilitando el desarrollo de marismas fangosas en los estuarios.

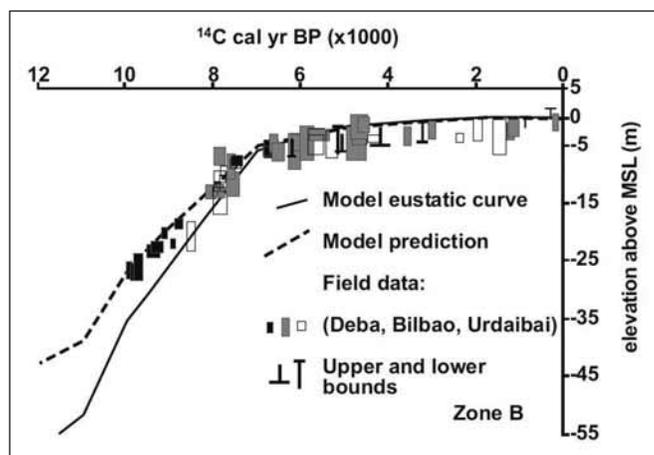


Figura 8. Curva del nivel de mar para el Golfo de Bizkaia durante los últimos 12000 años. (Tomada de Leorri *et al.* 2012).  
 Figure 8. Sea-level curve for the Bay of Biscay during the last 12000 years. (From Leorri *et al.* 2012).

## 4.- CONCLUSIONES

Se han estudiado las asociaciones de foraminíferos de dos sondeos realizados en los estuarios del río Oka y del río Deba. Los resultados obtenidos en este trabajo, junto con los resultados obtenidos por otros autores sobre sondeos realizados en estos mismos estuarios, han sido utilizados para realizar la interpretación paleoambiental del registro sedimentario. Esta interpretación ha servido para reconstruir la secuencia deposicional estuarina a lo largo del Holoceno que está caracterizada por el ascenso eustático del nivel marino.

Esta secuencia deposicional está constituida característicamente por asociaciones de foraminíferos, que de muro a techo, evolucionan desde ambientes fluviales con poca o ninguna intervención marina, pasando a ambientes intermareales con influencia marina decreciente hacia techo, para finalmente dar lugar a un ambiente intermareal muy restringido o la aparición de una marisma vegetada.

Las dataciones de C14 realizadas a las muestras estudiadas demuestran que los estuarios comenzaron a desarrollarse alrededor de los 9000-10.000 años cal BP. Además datan el final del evento transgresivo de carácter arenoso alrededor de los 3000 años cal BP cuando el nivel marino alcanzó aproximadamente su posición actual tras el comienzo de una segunda secuencia de somerización de carácter fangoso.

Estas conclusiones representan una contribución al estudio de los cambios recientes en el nivel marino y se complementan con otras obtenidas en distintos trabajos realizados durante los últimos años en el Golfo de Bizkaia con el fin de establecer un modelo general de evolución costera para esta zona geográfica durante el Holoceno.

URDAIBAI (S-2 PUENTE)	DEBA (DB-1)
<b>AF1:</b>	<b>AF 1:</b>
5 (3-7) especies	3 especies
$\alpha = 0,8$ (0,4-1,3)	$\alpha = 0,6$
0% alóctonos	0% alóctonos
<i>T. inflata</i> 52,4 (35-80)%	<i>A. tepida</i> 90%
<i>J. macrescens</i> 35 (14-63)%	<i>H. germanica</i> 8,4%
<i>H. germanica</i> 7,7 (0-32,7)%	<i>C. oceanensis</i> 0,6%
<i>A. tepida</i> 2,4 (0-7,3)%	100% hialinos
<i>A. mexicana</i> 1,8 (0-4,7)%	
90% aglutinantes	<b>AF 2:</b>
10% hialinos	Ningún caparazón
<b>Nivel anómalo:</b>	
9 especies	<b>AF 3:</b>
$\alpha = 1,8$	4 (3-6) especies
6,7% alóctonos	$\alpha = 0,9$ (0,6-1,4)
<i>H. germanica</i> 62,6%	0,4 (0-1,3)% alóctonos
<i>A. tepida</i> 14,1%	<i>H. germanica</i> 48,6 (43-57)%
<i>T. inflata</i> 8,4%	<i>A. tepida</i> 27 (21-34)%
<i>C. williamsoni</i> 5,7%	<i>C. williamsoni</i> 23,6 (22-24)%
<i>C. lobatulus</i> 3,4%	<i>B. variabilis</i> 0,4 (0-1,3)%
<i>J. macrescens</i> 2,4 %	<i>C. oceanensis</i> 0,3 (0-0,5)%
<i>R. anomala</i> 1,7%	100% hialinos
<i>C. obtusa</i> 1,3%	<b>Nivel anómalo:</b>
90% hialinos	Ningún caparazón
10% aglutinantes	
Aparecen planctónicos	<b>AF 4:</b>
	7 (4-9) especies
<b>AF2:</b>	$\alpha = 1,7$ (0,8-2,4)
5 (3-8) especies	0,8 (0-2,2)% alóctonos
$\alpha = 0,8$ (0,5-1,5)	<i>H. germanica</i> 45 (25-57)%
0,5 (0-2,9)% alóctonos	<i>A. tepida</i> 39,4 (26-64)%
<i>A. tepida</i> 63,2 (51-92)%	<i>C. williamsoni</i> 12 (8-20)%
<i>H. germanica</i> 32,4 (5,4-44)%	<i>C. oceanensis</i> 1,2 (0-3,8)%
<i>C. williamsoni</i> 2,9 (0,6-6,4)%	<i>B. pseudoplicata</i> 0,8 (0-6,6)%
<i>C. oceanensis</i> 0,5 (0-2,3)%	<i>C. excavatum</i> 0,5 (0-2)%
<i>E. crispum</i> 0,2 (0-0,9)%	<i>Q. seminula</i> 0,4 (0-1,6)%
99,5% hialinos	<i>R. irregularis</i> 0,3 (0-1,9)%
0,5% aglutinantes	99,5% hialinos
	0,5% porcelanáceos
<b>AF3:</b>	Aparecen planctónicos
Pocos caparazones	
	<b>AF 5:</b>
	9 (4-12) especies
	$\alpha = 2,4$ (0,8-3,6)
	10 (0-20)% alóctonos
	<i>A. tepida</i> 39 (20-55)%
	<i>H. germanica</i> 33 (27-55)%
	<i>R. irregularis</i> 8 (0-17)%
	<i>C. williamsoni</i> 7 (1-11)%
	<i>C. oceanensis</i> 4 (1,3-8)%
	<i>B. pseudoplicata</i> 3,4 (0-12)%
	<i>Q. seminula</i> 3 (0-6,5)%
	<i>M. subrotunda</i> 1 (0-3,6)%
	<i>B. variabilis</i> 0,5 (0-2,8)%
	<i>C. lobatulus</i> 0,5 (0-3,4)%
	96% hialinos
	4% porcelanáceos
	Aparecen planctónicos

Tabla 1: Resumen de las características micropaleontológicas de los sondeos Urdaibai (S-2 Puente) y Deba (DB-1). El valor individual representa la media y los valores entre paréntesis indican el rango. Table 1: Summary of the micropaleontological features of the Urdaibai (S-2 Puente) and Deba (DB-1) boreholes. The single value shows the average and the values in brackets show the range.

## 5.- AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido presentado como Memoria de Tesis dentro del Máster en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana de la Universidad del País Vasco UPV/EHU (curso académico 2011-12). Los materiales estudiados pertenecientes al estuario de Deba se recogieron inicialmente dentro del "Estudio Geológico del entorno de la cavidad de Praileitz (Deba, Guipúzcoa)" realizado para la Sociedad de Ciencias Aranzadi por encargo de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Se agradece a José Agustín Egiguren e Iñaki Egaña (Ayuntamiento de Deba) por facilitar enormemente las labores de perforación del sondeo en su municipio. El sondeo estudiado del estuario de Urdaibai ha sido cedido por la empresa Saiatek, gracias a la intervención de Manu Monge, Técnico del Patronato de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, el cual nos puso en contacto con dicha empresa. Este trabajo forma parte del proyecto IT365-10 (Harea- Grupo de Investigación en Geología Litoral) financiado por el Gobierno Vasco que ha permitido sufragar los diferentes gastos analíticos.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- CEARRETA, A.  
1988 Distribution and ecology of benthic foraminifera in the Santoña estuary, Spain. *Revista Española de Paleontología*, 21, 23-38.
- CEARRETA, A.; LEORRI, E.  
2008 Análisis micropaleontológico (foraminíferos) preliminar del sondeo Deba-1 (Vega de Artzabal, Deba). Informe inédito para la Sociedad de Ciencias Aranzadi. 6 páginas.
- CEARRETA, A.; MONGE-GANUZAS M.; IRIARTE, E.  
2006 Análisis micropaleontológico (foraminíferos) y evolución ambiental holocena del estuario superior del Oka (área de Portuzarra, Gernika-Lumo). *Illunzar*, 6, 57-68.
- CEARRETA, A.; MURRAY, J.W.  
1996 Holocene paleoenvironmental and relative sea-level changes in the Santoña estuary, Spain. *Journal of Foraminiferal Research*, 26, 289-299.
- FISHER, R.A.; CORBETT, A.S.; WILLIAMS, C.B.  
1943 The relationship between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology*, 12, 42-58.
- LEORRI, E.; CEARRETA, A.  
2004 Holocene environmental development of the Bilbao estuary, northern Spain: sequence stratigraphy and foraminiferal interpretation. *Marine Micropaleontology*, 51, 75-94.
- LEORRI, E.; CEARRETA, A.; MILNE, M.  
2012 Field observations and modelling of Holocene sea-level changes in the southern Bay of Biscay: implication for understanding current rates of relative sea-level change and vertical land motion along the Atlantic coast of SW Europe. *Quaternary Science Reviews*, 42, 59-73.



Muestra	Código de publicación	Profundidad (m)	Material	Método	Edad años C-14 convencional BP	C-13/C-12 ratio (‰)	Edad calibrada BP*	2σ años cal BP*
Deba 1	Beta - 257958	7,9	Turba	AMS-Standard delivery	5920 +/- 40	-27.7	5960 +/- 40	6850 - 6810, 6850 - 6810
Deba 2	Beta - 257959	9,4	Turba	AMS-Standard delivery	6600 +/- 50	-29.3	6670 +/- 50	7580 - 7430
Deba 3	Beta - 257960	11,2	Turba	AMS-Standard delivery	6130 +/- 50	-26.8	6160 +/- 50	7170 - 6890
Deba 4	Beta - 257961	16,5	Sed. orgánico	AMS-Standard delivery	9840 +/- 60	-26.7	9870 +/- 60	11330 - 11180
Deba 5	Beta - 257962	18,9	Sed. orgánico	AMS-Standard delivery	12190 +/- 70	-24.9	12190 +/- 70	14230 - 13840
Deba 6	Beta - 257963	20,35	Turba	AMS-Standard delivery	7970 +/- 50	-27.3	8010 +/- 50	9010 - 8630
Deba 7	Beta - 257964	22	Turba	AMS-Standard delivery	8170 +/- 50	-28.9	8230 +/- 50	9280 - 9010
Deba 8	Beta - 257965	23,76	Concha	AMS-Standard delivery	8370 +/- 50	-2.0	7990 +/- 50	9110 - 8800
Deba 9	Beta - 257966	24,3	Turba	AMS-Standard delivery	8330 +/- 60	-28.9	8390 +/- 60	9480 - 9130
Deba 10	Beta - 257967	25,06	Turba	AMS-Standard delivery	8410 +/- 60	-29.4	8480 +/- 60	9530 - 9290
Deba 11	Beta - 257968	27,9	Turba	AMS-Standard delivery	8740 +/- 60	-29.3	8810 +/- 60	10110 - 10100, 9920 - 9550
Deba 12	Beta - 257969	28,45	Turba	Radiometric-Standard delivery	8870 +/- 80	-28.1	8920 +/- 80	10220 - 9670
Deba 13	Beta - 257970	28,65	Turba	AMS-Standard delivery	8790 +/- 60	-29.3	8860 +/- 60	10150 - 9980, 9970 - 9560
S2-PUENTE-390	Beta - 317473	3,9	Concha	AMS-Standard delivery	2560 +/- 30	-7.0	2260 +/- 30	2330 - 2110
S2-PUENTE-510	Beta - 317474	5,1	Concha	AMS-Standard delivery	3100 +/- 30	-3.3	2740 +/- 30	2990 - 2750
S2-PUENTE-690	Beta - 317475	6,9	Concha	AMS-Standard delivery	6180 +/- 40	-2.3	5810 +/- 40	6740 - 6470
S2-PUENTE-750	Beta - 317476	7,5	Concha	AMS-Standard delivery	6440 +/- 40	-0.7	6040 +/- 40	7100 - 6770
S2-PUENTE-810	Beta - 317477	8,1	Concha	AMS-Standard delivery	6640 +/- 40	-0.4	6240 +/- 40	7280 - 7010
S2-PUENTE-870	Beta - 317478	8,7	Concha	AMS-Standard delivery	6120 +/- 40	-0.6	5720 +/- 40	6680 - 6400
S2-PUENTE-990	Beta - 317479	9,9	Concha	AMS-Standard delivery	6720 +/- 40	+0.6	6300 +/- 40	7370 - 7140
S2-PUENTE-1050	Beta - 317480	10,5	Concha	AMS-Standard delivery	6960 +/- 40	+0.1	6550 +/- 40	7560 - 7370
S2-PUENTE-1170	Beta - 317481	11,7	Concha	AMS-Standard delivery	7480 +/- 40	-0.5	7080 +/- 40	8030 - 7820
S2-PUENTE-1230	Beta - 317482	12,3	Concha	AMS-Standard delivery	7560 +/- 50	-2.0	7180 +/- 50	8150 - 7910
S2-PUENTE-1290	Beta - 317483	12,9	Concha	AMS-Standard delivery	7530 +/- 40	+0.1	7120 +/- 40	8120 - 7870
S2-PUENTE-1350	Beta - 317484	13,5	Concha	AMS-Standard delivery	7440 +/- 40	+1.3	7010 +/- 40	8000 - 7780
S2-PUENTE-1410	Beta - 317485	14,1	Concha	AMS-Standard delivery	7860 +/- 40	0.0	7450 +/- 40	8410 - 8190
S2-PUENTE-1480	Beta - 317486	14,8	Concha	AMS-Standard delivery	7900 +/- 40	-8.0	7620 +/- 40	8460 - 8270

Anexo 2. Dataciones C14 de las muestras de Urdaibai (S-2 Puente) y Deba (DB-1). \*Corregidas para el efecto reservorio del agua marina que ha sido estimado en unos 400 años para el Golfo de Bizkaia.  
Annex 2. C14 dating of the Urdaibai (S-2 Puente) and Deba (DB-1) samples. \*Corrected for the reservoir effect of the marine water which has been estimated in almost 400 years for the Bay of Biscay.

### Anexo 3

Relación completa de las especies de foraminíferos encontradas en este trabajo con referencia al sondeo en el que han aparecido (U: Urdaibai; D: Deba). En negrita aparecen las especies estuarinas consideradas autóctonas en base a Cearreta (1988).

#### CAPARAZÓN AGLUTINANTE:

***Arenoparrella mexicana* (Kornfeld)** = *Trochammina inflata* (Montagu) var. mexicana Kornfeld, 1931 (U)

***Jadammina macrescens* (Brady)** = *Trochammina inflata* (Montagu) var. macrescens Brady, 1870 (U, D)

***Trochammina inflata* (Montagu)** = *Nautilus inflatus* Montagu, 1808 (U)

***Cribrostomoides jeffreysii* (Williamson, 1858)** (U)

#### CAPARAZÓN PORCELANÁCEO:

***Adelosina laevigata* d'Orbigny**, 1826 (D)

***Cornuspira involvens* (Reuss)** = *Operculina involvens* Reuss, 1850 (D)

***Miliolinella subrotunda* (Montagu)** = *Vermiculum subrotundum* (Montagu), 1803 (D)

***Quinqueloculina lata* Terquem**, 1876 (D)

***Quinqueloculina seminula* (Linné)** = *Serpula seminulum* Linné, 1758 (D)

#### CAPARAZÓN HIALINO:

***Ammonia tepida* (Linné)** = *Rotalia tepida* (Linné) var. tepida Cushman, 1926 (U, D)

***Asterigerinata mamilla* (Williamson)** = *Rotalina mamilla* Williamson, 1858 (U)

***Bolivina pseudoplicata* Heron-Allen y Earland**, 1930 (D)

***Brizalina britannica* (Macfadyen)** = *Bolivina britannica* Macfadyen, 1942 (D)

***Brizalina difformis* (Williamson)** = *Textularia variabilis* Williamson var. *difformis* Williamson, 1858 (D)

***Brizalina variabilis* (Williamson, 1858)** (D)

***Bulimina gibba* Fornasini**, 1902 (D)

***Cassidulina obtusa* Williamson**, 1858 (U)

***Cibicides lobatulus* (Walker y Jacob)** = *Nautilus lobatulus* Walker y Jacob, 1798 (U, D)

***Criboelphidium excavatum* (Terquem)** = *Polystomella excavata* Terquem, 1875 (D)

***Criboelphidium oceanensis* (d'Orbigny)** = *Polystomella oceanensis* d'Orbigny, 1826 (U, D)

***Criboelphidium williamsoni* (Haynes)** = *Elphidium williamsoni* Haynes, 1973 (U, D)

***Elphidium crispum* (Linné)** = *Nautilus crispum* Linné, 1758 (U, D)

***Fissurina lucida* (Williamson, 1858)** (D)

***Fissurina marginata* (Montagu)** = *Vermiculum marginatum* Montagu, 1803 (D)

***Fissurina orbignyana* Seguenza**, 1862 (D)

***Haynesina depressula* (Walker y Jacob)** = *Nautilus depressulus* Walker y Jacob, 1798 (D)

***Haynesina germanica* (Ehrenberg)** = *Nonionina germanica* Ehrenberg, 1840 (U, D)

***Rosalina anomala* Terquem**, 1875 (U)

***Rosalina irregularis* (Rhumbler)** = *Discorbina irregularis* Rhumbler, 1906 (U, D)

***Stainforthia fusiformis* (Williamson)** = *Bulimina pupoides* (d'Orbigny) var. *fusiformis* Williamson, 1858 (D)

***Trifarina angulosa* (Williamson)** = *Uvigerina angulosa* Williamson, 1958 (D)



# La transición del Paleolítico Medio al Superior desde una perspectiva tecnológica: la serie lítica del nivel IV de Lezetxiki (Arrasate, Gipuzkoa)

## The Middle to Upper Paleolithic transition from the lithic industry of Lezetxiki IV (Arrasate, Gipuzkoa): a technology view

**PALABRAS CLAVES:** Industria lítica, tecnología, Paleolítico Medio.  
**KEY WORDS:** Lithic industry, technology, Middle Paleolithic.

Elisa JIMÉNEZ GÓMEZ<sup>(1)</sup>

### RESUMEN

El estudio desarrollado en el siguiente trabajo de investigación atiende a los rasgos mixtificados desde un punto de vista tecnológico de los restos líticos retocados del nivel IV de Lezetxiki. Nos hemos centrado en el estudio y análisis de algunas variables como la materia prima, la tipometría o el estudio de los núcleos para analizar con mayor precisión la industria lítica. El análisis tecnológico de este conjunto lítico demuestra la existencia de un proceso de laminarización que conduce a las industrias propias del Paleolítico Superior.

### ABSTRACT

The study developed in the following research work presents the features from a technological point of view of the lithic retouched of Lezetxiki IV. Also the work develops the raw material, the typometry and the study of cores. Technological studies demonstrate the existence of a laminarization process that it will lead to the industries of Upper Paleolithic.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación recoge el estudio tecnológico de los materiales líticos adscritos al nivel IV del yacimiento de Lezetxiki recuperados en la excavación de J.M de Barandiarán. La idea fundamental de la que partimos es la de describir con mayor precisión los rasgos tecnológicamente mixtificados presentes en este nivel, cuyas tendencias comienzan a apuntar hacia las industrias del Paleolítico Superior. Al tratarse de una serie tipológicamente bastante estandarizada dentro del Musteriense clásico por el alto porcentaje de raederas (62%) y denticulados (10%), y dado que esta perspectiva constituye un tema bibliográficamente muy recogido por otros autores (Bernaldo de Quirós 1982; Esparza 1985; Baldeón 1987), hemos creído conveniente abordarlo por vez primera desde una perspectiva puramente tecnológica.

La cueva de Lezetxiki se localiza en el término municipal de Arrasate, provincia de Gipuzkoa, concretamente en el barrio de Garagartza, a unos 380 m.s.n.m. El yacimiento, una galería kárstica orientada norte-sur y abierta en un entorno geológico de calizas arrecifales, está rodeado por una serie de cinturones orográficos importantes. Desde la cueva se domina el valle del río Aramaio, afluente del río Deba, donde confluyen las provincias de Álava, Bizkaia y Gipuzkoa. Podemos afirmar que el nivel IV, subdividido por J.M de Barandiarán en tres subunidades (IVa, IVb y IVc, entre los cuales la unidad intermedia sólo contenía restos de fauna, pero no industria) desde la campaña de 1962, es Musteriense con una datación anterior a 46.700 BP, dado que ésta es la fecha más antigua registrada en un estudio reciente del nivel III de Lezetxiki a partir de diversas muestras de hueso. (Maroto *et al*, 2012).

<sup>(1)</sup> Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología. Universidad del País Vasco. Tomás y Valiente, s/n. Vitoria-Gasteiz.  
E-mail: elisajimgo@hotmail.com  
Directores: Dr. Álvaro ARRIZABALAGA

El descubrimiento de Lezetxiki tuvo lugar en 1927 por parte de Justo Jaúregui, quién pronto le comunicará el hallazgo a J.M de Barandiarán. Será éste quién comience a excavar el yacimiento junto a algunos de sus colaboradores entre 1956 y 1968. En la campaña de 1967 se registraron los rasgos del nivel IV en sus tres subunidades, IVa con unos 25 cm de espesor, sobre tierra arcillosa; IVb, de 10 a 15 cm de espesor sobre tierra arcillosa con guijarros calizos; y IVc, de mayor espesor, 40 cm, en tierra arenosa con fosfatos. (Barandiarán 1967).

Barandiarán llevó a cabo un exhaustivo trabajo de excavación y situó la industria lítica del nivel IV dentro del complejo musteriense. Algunos especialistas estudiaron la industria lítica de los niveles III y IV. Aunque sus observaciones no llegaron a publicarse de modo extenso, Altuna en 1972 recoge opiniones de Freeman, quién sitúa los dos niveles dentro del complejo musteriense, así como de Laplace y Merino, que opinan que son niveles de Paleolítico Superior, pudiendo ser el nivel IVc Protoauriñaciense y el IVa Auriñaciense antiguo.

Este ha sido un tema muy debatido en estudios posteriores, a partir de los años 80 algunos especialistas han atribuido diferentes cronologías (entre el Musteriense y el Auriñaciense antiguo) a este nivel. Bernaldo de Quirós publica su Tesis Doctoral sobre el Paleolítico Superior inicial Cantábrico en 1982, en la que repasa algunos datos sobre los niveles III y IV, adscribiéndolos al Musteriense. Uno de sus alumnos, Esparza, redacta una memoria de Licenciatura en 1985 centrándose en los niveles de Paleolítico Superior e incluyendo dentro de esta cronología los niveles IVa y IVc. Será Baldeón quien en 1987 recoja de manera extensa la secuencia de los niveles VIII a III en su Tesis Doctoral, con un amplio capítulo de los tecnocomplejos líticos de Lezetxiki. En este trabajo, establece que el nivel IV pertenece al Musteriense de Tipo Quina, un sistema de producción del complejo musteriense con un alto porcentaje de raederas. Finalmente, Arrizabalaga en su Tesis Doctoral en 1995 valora como musterienses los subniveles IVa y IVc.

Hoy en día, este debate está cerrado, hay un consenso en torno a la cronología de este nivel IV de Lezetxiki (Maroto *et al*, 2012).

Los estudios sobre industria lítica se complementaron durante la excavación de Barandiarán con otros basados en diferentes registros como polen, fauna, sedimentología, tafonomía o geocronología. Barandiarán y sus colaboradores comenzaron a trabajar en este sentido y recogieron muestras para analizar, en los años siguientes redactaron distintas obras de síntesis sobre industria ósea (I.Barandiarán 1967), fauna (J. Altuna, 1972), sedimentología (Kornprobst y Rat, 1967) o palinología (M.F Sánchez 1991). Sin embargo, estos estudios no proporcionaron indicaciones cronológicas o culturales precisas. Desde la reexcavación del yacimiento por parte de Arrizabalaga desde 1996 se ha seguido reconstruyendo el marco geocronológico, estratigráfico y paleoambiental de Lezetxiki e intentando explicar en clave cultural y tecnológica la industria lítica.

## 2.- MÉTODOS

A partir de la bibliografía generada desde la excavación clásica hasta la actualidad, hemos realizado una primera aproximación sobre Lezetxiki, complementándola con publicaciones de síntesis acerca del Musteriense y la correspondiente tecnología. Más adelante llevamos a cabo un primer acercamiento directo al material lítico de la excavación clásica, en el Depósito de Materiales Arqueológicos y Paleontológicos de Gipuzkoa, ubicado en el barrio donostiarra de Intxaurrando. El material estaba dividido en tres cajas, respectivamente rotuladas como IVa, IVc y IV genérico (correspondiente este último a aquellas bandas en las que fue imposible discriminar subunidades), siguiendo lo establecido por J.M de Barandiarán. Tomamos fotografías de cada uno de los restos líticos, que fueron separados atendiendo a tratarse de soportes retocados y no retocados, enteros y fragmentados. Finalmente, los materiales más útiles para el estudio tecnológico han sido los efectivos que están retocados, excepto en el estudio de materia prima en el que se ha podido englobar el total de efectivos.

La colección estudiada incluye un problema de partida, concretamente, su bajo número de efectivos. Esta serie se ve aún más mermada por la necesidad de dividir el conjunto en tres subunidades, una

de las cuales (IV) acumula previsiblemente las características de las otras dos (IVa y IVc). En estas circunstancias, el valor cuantitativo de la colección se ve muy mermado y la significación estadística de aproximaciones analíticas que no han podido incluir la comparativa con la serie inferior (nivel V) o superior (nivel IIIa), es mínima. Una comparación que no hemos podido incluir debido a la restricción del espacio impuesta en el presente trabajo. Motivos por los cuáles nos hemos centrado en valoraciones básicamente cualitativas de la colección, buscando identificar aquellos rasgos que la dotan de un carácter tan evolucionado y laminar, en comparación con otros conjuntos musterienses regionales.

El tratamiento metodológico recoge una serie de variables a analizar. En primer lugar, la identificación de materia prima en grandes categorías (sílex, cuarzo, arenisca...) de cada elemento *de visu*, seguido de la clasificación atendiendo a su procedencia de los restos de sílex determinables. En segundo lugar, ha sido revisada la tipometría de los soportes retocados y enteros basándonos en los principios de la Tipología Analítica con la toma de medidas de las tres dimensiones: longitud, anchura y espesor, y el posterior cálculo de los índices de alargamiento (>1,618 lámina) y carenado (< 2,23 carenada) según los ratios establecidos atendiendo a la serie de Fibonacci (Laplace 1974). Esta perspectiva incluye también la toma de las dimensiones máximas de cada uno de los núcleos. Finalmente, hemos estudiado la estructura tecnológica del conjunto, desde la perspectiva de la escuela tecnológica francesa en sus principales estudios acerca del Musteriense (Boëda 1993; Boëda *et al.* 1990; Geneste 1989, 1991; Turq 1996, 2003; Bourguignon 1998). En esta línea, hemos considerado significativa la presencia de numerosos soportes con una notable desviación entre el eje morfológico y el eje tecnológico. En tal sentido, hemos tomado medidas de estos ángulos y valorado la lateralidad de este rasgo a partir del dibujo. Importante resulta también la información que ofrece el estudio de los talones, adscritos a diversas categorías: lisos, diedros, facetados, corticales, lineales y puntiformes.

Finalmente, han sido valoradas otras variables: la corticalidad y la clasificación de los núcleos atendiendo a criterios morfológicos, en la línea propuesta por Laplace, y técnicos, diferenciando en particular entre explotaciones centrípetas y direccionadas.

### 3.- MATERIALES Y RESULTADOS

La división que realiza J.M de Barandiarán del nivel IV en tres subniveles (IVa, IVc y IV genérico) resulta difícil de mantener para algunas variables del estudio, pues existe una dispersión en el número de efectivos que provoca que los datos obtenidos para cada uno de los subniveles pierdan toda significación. A pesar de ello, hemos considerado oportuno desarrollar el estudio con esta división de la colección para poder comparar así los datos que vayamos obteniendo para las diferentes subunidades. Todo ello, aunque en ocasiones realizaremos un sumatorio de los efectivos de los tres niveles para obtener una visión de conjunto, o para aumentar el umbral de significación numérica de la serie.

El nivel IV en su conjunto está compuesto por un total de 607 efectivos repartidos de la siguiente forma: el nivel IVa con 137 restos líticos, IVc con 152 y IV con 318. Se procedió a dividir estos restos a su vez en retocados y no retocados atendiendo a si los soportes estaban enteros o fragmentados, si eran restos de talla o núcleos (Tabla I). Dando por bueno el proceso de tamizado en la excavación de Barandiarán y, en consecuencia, considerando un sesgo bajo o no selección de los materiales líticos, podemos considerar la colección conservada como representativa (aunque muy poco abundante) de aquella originalmente depositada en el yacimiento. Observamos, en primera instancia, que el grado de fragmentación en los soportes no retocados es superior que en los útiles de los subniveles IVa (62,5%) y IVc (84,2%), mientras que en el IV el porcentaje de soportes fragmentados es bastante parejo.

	RETOCADO	NO RETOCADO	Σ
IVa			
Entero	68	12	80
Fragmento	18	30	48
Núcleos	-	2	2
Restos de talla	-	7	
IVc			
Entero	61	11	72
Fragmento	9	48	57
Núcleos	-	5	5
Restos de talla	-	18	18
IV			
Entero	138	14	152
Fragmento	61	60	121
Núcleos	-	-	
Restos de talla	-	45	45
Σ	355	252	607

Tabla I: Número de efectivos retocados y no retocados en IVa, IVc y IV.  
Table I: Number of lithic retouched and no retouched in IVa, IVc y IV.

Podemos observar que en el nivel IVa hay dos núcleos, uno de explotación centrípeta y un núcleo de láminas, ambos en sílex. El nivel IVc es el que presenta mayor número de núcleos: tres laminares y dos centrípetos, mientras que el IV genérico destaca por la ausencia de núcleos, siendo éste un tema que trataremos detenidamente más adelante.

Por su parte, el estudio sobre materia prima, realizado sobre el total de efectivos, nos ofrece los siguientes resultados. Se identificó en primer lugar una serie de categorías generales de rocas y minerales (Tabla II), entre los que ha sido incluido el mineral de galena, debido a la presencia de dos restos en el nivel IV genérico, una pieza piramidal de plomo y un fragmento de grandes dimensiones del propio mineral. Los tres subniveles están dominados por el sílex (65,8 %) seguido de nódulos ferruginosos (13,5%) y cuarcitas (6%).

En cuanto a las variedades de sílex, la más común en este conjunto es el sílex de Urbasa (62 %) seguido del sílex de Treviño (21 %) Hay también sílex de Ribera, de baja calidad. Se ha tenido en cuenta también el grado de corticalidad presente en los restos líticos y no supone un factor determinante a desarrollar puesto que entre las tres subunidades, tan solo documentamos 55 elementos que presentan córtex en su superficie además la mayor parte de estos actúa como dorso natural.

Por otro lado, el análisis tipométrico ha podido ser realizado únicamente sobre los 267 soportes enteros que están retocados, sin atender en este caso a la materia prima de cada uno de ellos, y siguiendo como hemos apuntado anteriormente las tres dimensiones (longitud, anchura y espesor). Tomando únicamente las variables anchura y longitud de cada resto lítico se observa la siguiente dispersión para los tres subniveles (Figura 1). La mayor parte de la muestra se distribuye entre los 15 y 40 mm de ancho por 30 y 60 mm de largo. Hay restos con mayor dispersión pero el 95% de los casos se distribuyen entre esos parámetros. Se puede determinar cierta laminaridad en este conjunto.

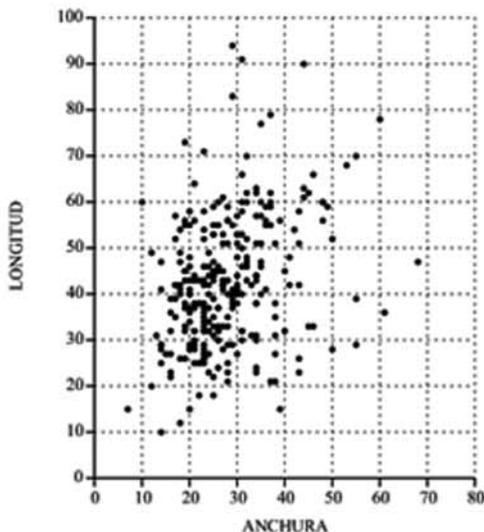


Figura 1. Dispersión tipométrica de los restos líticos enteros retocados en mm.

Figure 1. Typometry of the lithic retouched in mm.

Musteriense. En un intento de comparación con el nivel IX (Châtelperroniense) del yacimiento de Labeko Koba (Arrabalaga 2000), debido a su proximidad geográfica y cronológica, hemos observado que se obtuvo un índice teórico de laminaridad tipo-

MATERIA PRIMA	IVa	IVc	IV	Σ
SILEX	89	117	194	400
NÓDULOS FERRUGINOSOS	20	15	47	82
CUARCITA	13	5	18	36
LIMONITA	6	5	13	24
CUARZO	3	4	23	30
ARENISCA	1	1	7	9
VULCANITA	2	2	4	8
CALIZA	3	3	10	16
MINERAL GALENA	0	0	2	2
Σ	137	152	318	607

Tabla II: Clasificación de las materias primas.  
Table II: Classification of raw material.

Para seguir profundizando en el grado de laminaridad que caracteriza este nivel hemos considerado oportuno calcular el índice de alargamiento en los soportes enteros. Los datos que exponemos a continuación (Tablas III y IV) se han calculado a partir de las dimensiones anchura, longitud y espesor de cada resto lítico con el fin de conocer el tipo de soporte, lasca, lasca laminar o lámina, sobre los que han sido fabricados estos restos líticos.

Por lo tanto, observamos en estos datos que hay 119 restos líticos sobre soporte laminar en el conjunto del nivel IV. Esto supone el 44,5% del total de soportes enteros retocados, un dato importante si consideramos que la laminaridad no es un rasgo que haya caracterizado tradicionalmente al

	IVa	IVc	IV	Σ
LASCA	37	36	72	145
LASCA LAMINAR	0	0	3	3
LÁMINA	31	25	63	119
Σ	68	61	138	267

Tabla III: Número de efectivos por índice de alargamiento.  
Table III: Numbers of effectives by longship coefficient.

	IVa	IVc	IV	Σ
LASCA	5	4	11	20
LASCA LAMINAR	0	0	0	0
LÁMINA	9	6	19	34
Σ	14	10	30	54

Tabla IV: Número de efectivos carenados.  
Table IV: Number of fairings effectives

métrica bastante elevado (72,7%), matizando que el volumen de la muestra analizada era muy bajo, solo once restos líticos. Por lo tanto, nos encontramos de nuevo con el sesgo comparativo debido a la escasez de soportes.

Continuando con el análisis de soportes laminares, hemos analizado la anchura y longitud de estos para conocer su distribución a partir de un histograma de frecuencia (Figura 2). Las anchuras muestran una distribución gaussiana entre los siete y los 44 mm, con una moda marcada entre los 15 y 25 mm, mientras que en las longitudes se observa una moda entre 35 y 60 mm, con una distribución entre los 15 y 95 mm. Hay soportes por tanto muy anchos, llegando casi a los 45 mm y otros muy largos en torno a los 90 mm, siendo los más representativos aquellos que se encuentran en los intervalos que marcan las modas anteriormente mencionadas.

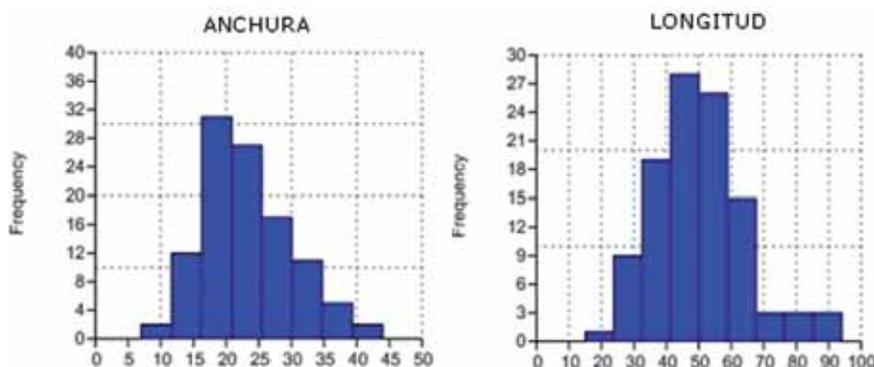


Figura 2. Distribución por módulos de longitud y anchura de los soportes laminares.  
Figure 2. Distribution of length and width of laminar supports.

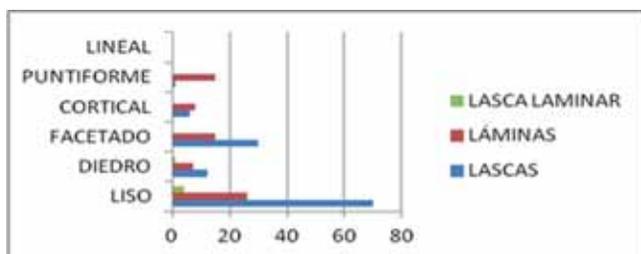


Figura 3. Tipo de talón en soportes laminares y sobre lasca.  
Figure 3. Type of heel in laminar and flake supports.

Otro factor a añadir en la comprensión de las características tecnológicas del nivel IV es el estudio de los talones (Figura 3). A partir de éste, observamos notables diferencias entre soportes laminares y lascas a la hora de preparar la plataforma de percusión. Las lascas muestran sobre todo talones lisos y facetados, mientras los soportes laminares presentan un importante número de talones puntiformes, pese a la representación dominante de talones lisos.

A partir de la orientación de las piezas sobre su eje tecnológico, hemos constatado en los tres subniveles la existencia de restos líticos retocados con el eje morfológico desviado. Por ello, hemos procedido a la medición del ángulo de desviación que forman ambos ejes para conocer con mayor precisión el proceso de talla. Se contabilizó un total de 77 efectivos desviados, de los que 40 son restos sobre lámina, 34 sobre lasca y tres sobre lasca laminar (Figura 4). El gráfico muestra la distribución en ángulos de estos efectivos desviados dividiéndolos entre aquellos desviados hacia la izquierda y hacia la derecha, resultando significativamente mayor en número los desviados hacia la derecha. Establecer si están desviados hacia un lado u otro responde a la posibilidad de que la lateralidad sea un factor determinante en la producción de la industria lítica. Además entre 30° y 40° se sitúan la mayor parte de los elementos, 21 efectivos, casi el 30% del total.

Hemos querido ilustrar con una fotografía el ángulo de desviación existente (Figura 5). Ambos ejes, tecnológico y morfológico, se representan mediante unas líneas, roja y azul respectivamente.

El estudio de los núcleos queda mermado de nuevo por la escasez en número. Hemos podido identificar siete núcleos en el conjunto del nivel IV repartidos entre los subniveles IVa y IVc. Tres son núcleos destinados a la fabricación de soportes laminares, mientras los cuatro restantes presentan extracciones centrípetas. El nivel IVa incluye dos núcleos, ambos en sílex. El primero de ellos es un núcleo piramidal, con huellas de extracción centrípetas en la cara superior (Figura 6.1), mientras que el segundo es un núcleo con negativos unidireccionales y perpendiculares al eje tecnológico, que está destinado a la producción de laminillas (Figura 6.2). Se trata de núcleos de tamaño medio, entre cinco y cuatro centímetros.

En el nivel IVc son cinco los núcleos con los que contamos, uno de cuarcita y el resto de sílex. El núcleo trabajado en cuarcita presenta huellas de extracción direccionales en ambas caras (Figura 7.1)

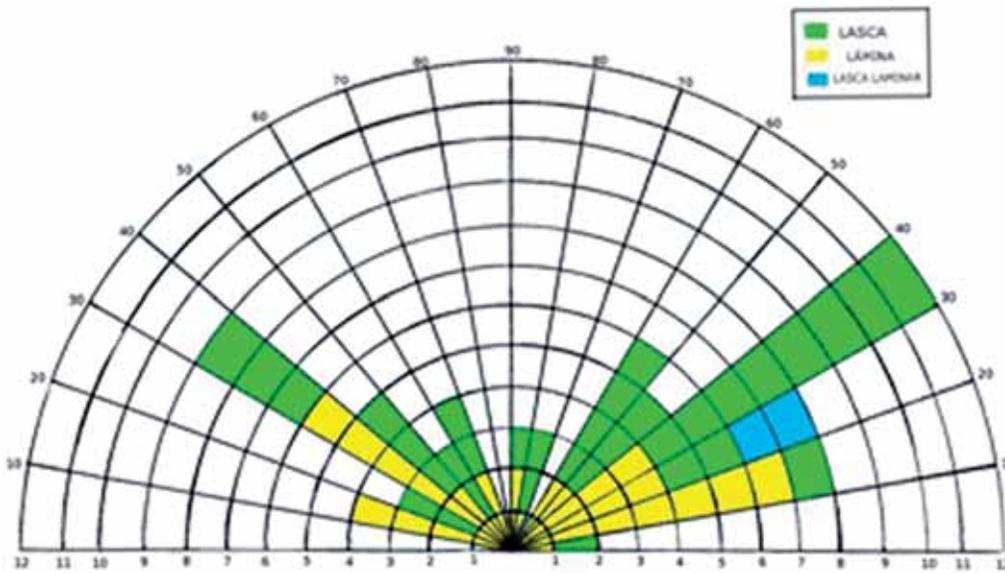


Figura 4. Desviación eje morfológico-eje tecnológico en el nivel IV.  
Figure 4. Desviation morphology and technology axes in IV level.



Figura 5. Ángulo de desviación.  
Figure 5. Angle of desviation.

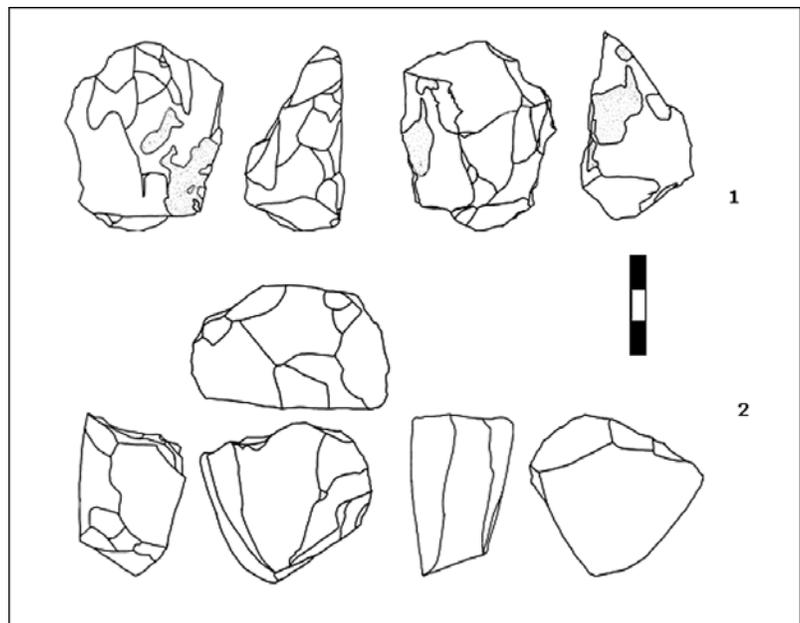


Figura 6. Núcleos del Nivel IVa. 1. Núcleo piramidal; 2. Núcleo laminar.  
Figure 6. Cores of IVa level. 1. Pyramidal core; 2. Laminar core.

destinado a la producción de láminas. El segundo núcleo tiene como plataforma de explotación el frente de núcleo con huellas de extracciones laminares (Figura 7.2), es un núcleo de pequeñas dimensiones.

Los tres núcleos siguientes elaborados sobre sílex son de explotación centrípeta. El número tres es un núcleo discoide, con dos superficies que actúan como plano de percusión y plano de lascado (Figura 7.3); el siguiente es un núcleo de gran espesor (37 mm), bastante informe, con una marcada arista bifacial que divide el núcleo en dos superficies de lascado. Tiene numerosos negativos de extracción, de pequeñas dimensiones (Figura 7.4). Por último, nos encontramos también con un núcleo de explotación centrípeta, bifacial y con restos de córtex en la zona proximal de una de las caras (Figura 7.5).

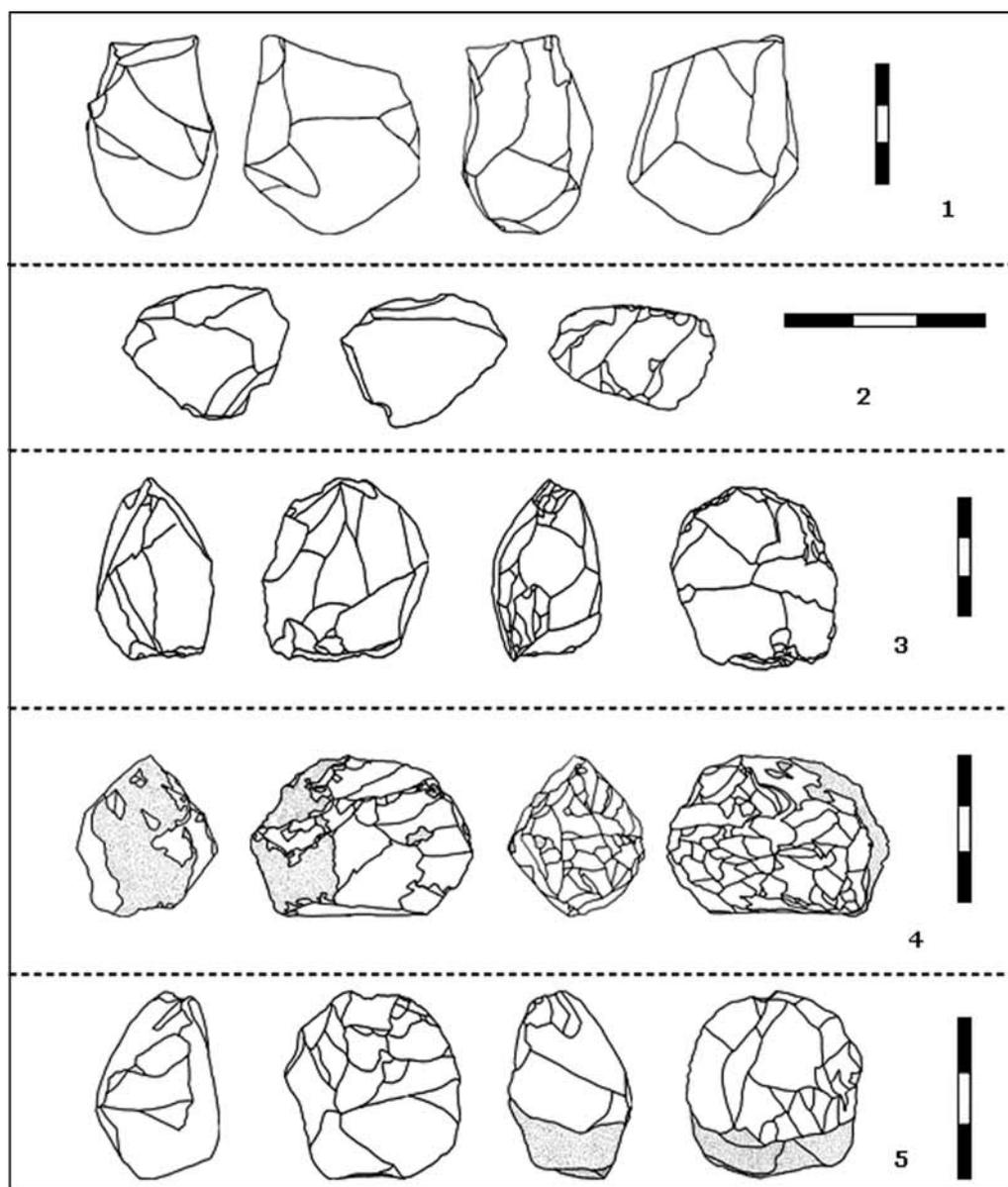


Figura 7. Núcleos IVc, 1-2 núcleos laminares, 3-5 núcleos centrípetos.  
Figure 7. Cores of IVc level. 1-2 laminar cores; 3-5 centripetal cores.

#### 4.- DISCUSIÓN

Con los datos y resultados que hemos desarrollado en el apartado anterior se puede establecer una línea de debate para las diferentes variables de estudio. Por un lado, podemos considerar alto el porcentaje de sílex (65,8%) en el nivel IV de Lezetxiki. La preferencia por el empleo de esta materia prima se va asentando en las fases finales musterienses en el País Vasco (Arrizabalaga 2010). La presencia en el entorno de Lezetxiki de diferentes afloramientos de sílex (Urbasa 40 km hacia el sur, Treviño 50-60 km o Flysch en torno a los 60-70 km hacia el norte) y la constante movilidad que caracteriza a los grupos de cazadores-recolectores del Paleolítico ha permitido contextualizar mejor la presencia de materias primas ajenas al entorno inmediato del yacimiento. No obstante, existen otras materias primas alternativas (limonitas y nódulos ferruginosos, areniscas, cuarzos, cuarcitas, ofitas, calizas, vulcanitas, etc.) con presencia notable.

Por otro lado, hemos observado que el 44,5 % de los restos líticos enteros retocados presentan cierto grado de laminaridad. Esto nos lleva a debatir sobre la convivencia entre los últimos esquemas centrípetos del Musteriense y los primeros esquemas laminares. Nos encontramos por tanto, con es-

quemados centrípetos concebidos en dos dimensiones, con dos superficies jerarquizadas y con esquemas laminares, que comienzan a presentar una tridimensionalidad. Estos primeros núcleos laminares carecen de crestas o flancos de núcleo que permiten tener un dominio del volumen a la hora de trabajarlo, lo que conlleva la obtención de soportes desviados al no estar bien definida la plataforma de percusión. Este basculamiento entre un modo de explotación y otro es el que refleja esas desviaciones tan fuertes en los ejes de los soportes. Es la convivencia entre ambos modos lo que caracteriza progresivamente la transición Paleolítico Medio-Paleolítico Superior.

Tradicionalmente el registro musterriense ha sido plano, con indicaciones de diacronismo y muy arraigado en el musterriense típico de raederas y denticulados, pero los avances en las dataciones y en los estudios de yacimientos clásicos ha llevado a una tendencia progresiva de individualización de un Musterriense Final. Las mejoras en la datación con nuevas técnicas como la ultrafiltración por ejemplo que permite dataciones muy antiguas en hueso, o con ABOx para dataciones sobre carbón han supuesto un avance enorme en la contextualización cronológica de muchos niveles de transición. Hace tiempo que se ha empezado a definir en la Cornisa Cantábrica una situación de Musterriense final con tendencia hacia la laminarización, con núcleos de explotación direccionales.

Las nuevas aportaciones de la Cueva de Castillo, Esquilleu o Morín han abierto un panorama de investigación en la Cornisa Cantábrica que refleja en sus industrias la transición cultural entre Paleolítico Medio y Paleolítico Superior. Estos tres yacimientos cuentan con un número de efectivos líticos suficientes para realizar un análisis tecnológico detallado y sacar conclusiones más generales. Existe una alta variabilidad en el musterriense cantábrico, no solo entre yacimientos sino también dentro de ellos. En Cueva Morín y cueva del Castillo encontramos esquemas de producción similares tanto entre sí como de manera diacrónica en cada yacimiento (Maillo 2005). Morín ofreció la primera secuencia completa en Cantabria de la transición Paleolítico Medio-Superior con la aparición de un nivel chatelperroniense con esquemas laminares. La cueva del Castillo es un yacimiento con una potente secuencia estratigráfica de ocupación humana cuyos niveles musterrienses ofrecen una clara continuidad con los niveles auriniacienses. Existen dataciones del nivel 20 (Musterriense final) con fechas entre  $39.300 \pm 1900$  BP y  $43.300 \pm 2900$  BP (Baena *et al.* 2006). Este nivel además quedó sellado por el nivel 19, estéril arqueológicamente, debido a un derrumbe en la cueva, y el 18 clasificado como Auriniaciense de transición obtiene una cronología de 40.000 BP para el subnivel 18c y 38.500 BP para el 18b. (Maillo 2010).

Dentro de este panorama encontramos también una de las secuencias más importantes, la de la Cueva del Esquilleu cuya excavación comenzó en 1997. Una cueva situada en el occidente de Cantabria dentro de un contexto montañoso con un registro arqueológico muy potente tanto en cantidad como en calidad. Se han diferenciado 34 niveles de ocupación en unos dos metros de estratigrafía, en los que se ha constatado también una alta variabilidad de esquemas de producción: levallois, discoide, quina, laminar (Baena *et al.* 2011).

## 5.- CONCLUSIONES

El estudio tecnológico del nivel IV de Lezetxiki ha permitido detallar una serie de rasgos que dotan de fuerte personalidad tecnológica a este conjunto. En primer lugar, cabe destacar el predominio del sílex en los tres subniveles, cuyo origen geológico como hemos comentado anteriormente no se encuentra en las inmediaciones del yacimiento lo que conllevaría búsqueda y contactos entre grupos para la obtención de dicha materia prima.

En segundo lugar, pese a la escasez en número de núcleos en el conjunto del nivel IV, merece destacarse la convivencia de dos modelos de explotación, laminar y centrípeto, que se manifiesta en la mixtificación tecnológica de las Cadenas Operativas Líticas presentes en el conjunto. Se observa, así, una presencia notable de laminaridad, proceso que nos orienta hacia el modo de explotación característico del Paleolítico Superior. La presencia de soportes laminares responde a un cambio en la manera de preparar la explotación de los núcleos, por lo tanto un cambio en la organización esquemática mental de los grupos paleolíticos.

En tercer lugar, la variabilidad tecnológica musteriense en esta fase de transición ha sido un tema recurrente en las publicaciones más recientes que hemos querido recoger de manera particular con los efectivos del nivel IV de Lezetxiki con el deseo de intentar comprender el modo de vida de los grupos paleolíticos.

## 6.- AGRADECIMIENTOS

Este trabajo queda enmarcado dentro del Proyecto final del Máster en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana de la Universidad del País Vasco. Agradezco a Álvaro Arrizabalaga la tutorización y seguimiento de este trabajo de investigación y al Depósito de Materiales Arqueológicos y Paleontológicos de Gipuzkoa por su disposición a la hora de proceder al estudio del material lítico.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

ALTUNA, J.

1972 Fauna de mamíferos de los yacimientos prehistóricos de Guipuzcoa. *Munibe*, 24: 1-464.

ARRIZABALAGA, A.

1995 *La industria lítica del Paleolítico Superior Inicial en el Oriente Cantábrico*. Memoria de Tesis Doctoral, UPV/EHU. Vitoria/Gasteiz.

2000 Los tecnocomplejos líticos del yacimiento arqueológico de Labeko Koba (Arrasate, País Vasco). *Munibe (Antropología-Arkeología)*, 52: 193-343.

2006 Lezetxiki (Arrasate, País Vasco). Nuevas preguntas acerca de un antiguo yacimiento. En: *En el centenario de la Cueva de El Castillo: el caso de los Neandertales*. Cabrera, V., Bernaldo de Quirós, F., Maíllo, J.M. (Eds.): 291-310. UNED, Santander.

2010 La dialéctica sílex/otras materias primas en la evolución de los recursos líticos durante el paleolítico vasco. Algunas consideraciones técnicas, económicas y culturales. En: *Minerales y rocas en las sociedades prehistóricas*. Domínguez-Bella, S., Ramos, J., Gutiérrez J.M., y Pérez. M. (Eds.): Capítulo VI. Universidad de Cádiz.

ARRIZABALAGA, A., ALTUNA, J., ARESO, P., FALGUERES, C., IRIARTE, M.J., MARIEZKURRENA, K., PEMÁN, E., RUIZ-ALONSO, M., TARRIÑO, A., URIZ, A. y VALLVERDÚ, J.

2005 Retorno a Lezetxiki (Arrasate, País Vasco): nuevas Perspectivas de la investigación. En: *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el entorno mediterráneo*. Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.): 81-98. ADEMA, Soria.

ARRIZABALAGA, A., BERNALDO DE QUIRÓS, F., BON, F., IRIARTE, M.J., MAÍLLO, J.M., NORMAND., C.

2009 Early evidence of the Aurignacian in Cantabrian Iberia and the North Pyrenees. En: *The Mediterranean from 50,000 to 25,000 BP: Turning Points and New Directions*. Camps, M. y Szmídt, C. (Eds.): 255-293. Oxford.

BAENA, J., y CARRION, E.

2006 Problemas acerca del final del Musteriense. *Zephyrus*, 59: 51-66.

BAENA, J., CARRIÓN, E., CUARTERO, F. y FLUCK, H.

2011 A chronicle of crisis: The Late Mousterian in north Iberia (Cueva de Esquilleu, Cantabria, Spain). *Quaternary International*, 247: 199-211.

BALDEON, A.

1987 *El Paleolítico Medio en el País Vasco*. Memoria de Tesis Doctoral, Universidad de Deusto. Bilbao.

BARANDIARÁN, I.

1967 El Paleoleolítico del Pirineo Occidental. Bases para la sistematización tipológica del instrumental óseo paleolítico. *Monografías Arqueológicas*, III.

1967 Excavación de la cueva de Lezetxiki (Campaña de 1967). *Munibe*, 19. 231-246.

BERNALDO DE QUIRÓS, F.

1982 *Los inicios del Paleolítico Superior Cantábrico*. Monografías del Museo y Centro de Estudios de Altamira, 8. Madrid.

BERNALDO DE QUIRÓS, F., MAÍLLO, J.M., NEIRA, A.

2010 La cueva de El Castillo: perspectivas desde el siglo XXI. En: *El Paleolítico Superior Peninsular. Novedades del siglo XXI*: 291-310. Barcelona.

BOËDA, E.

- 1990 De la surface au volume: analyse des conceptions des débitages Levallois et laminaire. En: *Paléolithique Moyen récent et Paléolithique Supérieur ancien en Europe. Ruptures et transitions: examen critique des documents archéologiques*. FARIZY, C. (Ed.): 63-68, Musée de Préhistoire d'Ile de France, Nemours.
- 1993 Le débitage discoïde et le débitage Levallois récurrent centripède. *Bulletin de la Société préhistorique française* 90: 392-404.

BOURGUIGNON, L.

- 1998 Parámetros técnicos de obtención de lascas de retoque. *Boletín de Arqueología Experimental*.

CARRIÓN, E., BAENA, J., CONDE, C., CUARTERO, F. y ROCA, M.

- 2008 Variabilidad tecnológica en el musteriense de Cantabria. *Treballs d'Arqueologia*, 14: 249-278.

ESPARZA, X.

- 1985 *El Paleolítico Superior de Lezetxiki*. Memoria de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

FALGUÈRES, C., YOKOYAMA, Y. y ARRIZABALAGA, A.

- 2006 La Geocronología del yacimiento pleistocénico de Lezetxiki (Arrasate, País Vasco). Crítica de las dataciones existentes y algunas nuevas aportaciones. *Munibe (Antropología-Arkeologia)*, 57 (II): 93-106

FREEMAN, L. G.

- 1964 Mousterian developments in Cantabrian Spain. *Memoria de Tesis Doctoral*. Universidad de Chicago. Chicago.

GENESTE, M.

- 1989 Economie des ressources lithiques dans le Moustérien du Sudouest de la France. En: *L'Homme de Neandertal*. FREEMAN, L.G.; PATOU, M. (Eds.) 6: 75-98. Université de Liège, Lieja.
- 1991 Systèmes techniques de production lithique: variations techno-économiques dans les processus de réalisation des outillages paléolithiques. *Techniques et Culture*, 17-18: 1-35.

KORNPROBST, T., RAT, P.

- 1967 Premiers résultats d'une étude géologique et paléoclimatique du remplissage paléolithique moyen et supérieur de la grotte de Lezetxiki (Mondragón Guipúzcoa), *Munibe*, 19: 247-260

LAPLACE, G.

- 1974 La Typologie Analytique et Structurale: Base rationnelle d'étude des industries lithiques et osseuses. *Colloques Nationaux du C.N.R.S.: Banques des données archéologiques*, 932: 91-143. C.N.R.S., Paris.

MAROTO, J., VAQUERO, M., ARRIZABALAGA, Á., BAENA, J., BAQUEDANO, E., JORDÁ, J., JULIÀ, R., MONTES, R., VAN DER PLICHT, J., RASINES, P. y WOOD, R.

- 2012 Current issues in late Middle Palaeolithic chronology: New assessments from Northern Iberia. *Quaternary International*. 247: 15-25

MAÍLLO FERNÁNDEZ, J.M.

- 2005 Esquemas operativos líticos del Musteriense Final de Cueva Morin (Villanueva de Villaescusa, Cantabria). *Museo de Altamira*, 20: 301-313. Santander.

RÍOS GARAIZAR, J.

- 2008 Variabilidad tecnológica en el Paleolítico Medio de los Pirineos Occidentales: una expresión de las dinámicas históricas de las sociedades neandertales. *Treballs d'Arqueologia*, 14: 171-194.

SÁNCHEZ, M.F.

- 1991 *Analyses palynologiques des remplissages de grotte de Lezetxiki, Labeko et Urtiaga (Pays Basque espagnol). Leur place dans le cadre des séquences polliniques de la région cantabrique et des Pyrénées Occidentales*. Memoria de Tesis Doctoral. I.P.H. Paris.

TURO, A.

- 1996 Le approvisionnement en Matière Première Lithique au Moustérien et au début du Paléolithique Supérieur dans le nord est du Bassin Aquitain: Continuité au discontinuité. En: *The Last Neandertals. The First Anatomically Modern Humans. Cultural Change and Human Evolution*. Carbonell E.; Vaquero, M. (Eds.): 355-362.
- 2003 De la matière première lithique brute à la mise au jour de l'objet archéologique. Habilitation à Diriger des Recherches. Perpignan.

8.- ANEXOS



Anexo 1. Lámina fotográfica nivel IV.



# Fotointerpretación y teledetección como herramienta para la localización de estructuras mineras prehistóricas en la Sierra de Araico (Burgos-Araba)

## Photointerpretation and remote sensing as tool for locating prehistoric mining structures in the Sierra of Araico (Burgos-Araba)

**PALABRAS CLAVES:** fotografía aérea, LiDAR, satélite Spot-5, minería de sílex, prehistoria.

**KEY WORDS:** aerial photography, LiDAR, satellite Spot-5, Flint mining, prehistory.

**HITZ GAKOA:** aireko argazkia, LiDAR, satellite Spot-5, mea-ustiatagia, historiaurrea.

Iñigo ORÚE BELTRÁN DE HEREDIA <sup>(1)</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se exponen los resultados de la localización de explotaciones mineras prehistóricas de sílex en la Sierra de Araico (Treviño, Burgos), basándonos en la interpretación de fotografía aérea, LiDAR e imagen satelital Spot-5. La Sierra presenta una intensa explotación minera, con una superficie que puede rondar las 2.000 ha, de las cuales en 350 ha se ha realizado un estudio preliminar. Se tratan de explotaciones al aire libre, en las que se ha ido explotando los estratos con sílex, presentando morfologías en forma de zanja o escombreras longitudinales. En estas explotaciones se han identificado sílex de excelente calidad, que han tenido gran difusión durante la prehistoria en la región cantábrico-pirenaica.

### ABSTRACT

This dissertation presents the results of the location of prehistoric flint mining in the Sierra of Araico (Treviño, Burgos), based on the interpretation of aerial photography, LiDAR and Spot-5 satellite image. The Sierra has a strong mining, which can be about 2.000 ha, of which 350 ha have been subject of a preliminary study. They are outdoor exploitations, where the stratum has been gradually broken by the flint, presenting trench morphologies or longitudinal tailings covering these structures. An excellent quality flint has been found in the exploitation, which has been widely spread in the Cantabrian-Pyrenean region.

### LABURPENA

Lan honetan Araikoko Mendizerrako (Treviño, Burgos) historiaurreko sílexetako mea-ustiategiko lokalizazioaren emaitzak aurkezten dira, aireko argazkiko, LiDAR-eko eta Spot-5 satelite-irudien interpretazioan oinarrituz. Mendizerrak mea-ustiategi bizia aurkezten du, 2.000 ha-ren inguruan ibil daiteke eta hartako 350 ha aurretiazko ikerketa egin dugu. Hauek, sílexa duten geruza apurtzen duten aire zabaleko ustiapen zangak dira, eta zanga-forma edo hauek estaltzen dituzten luzetarako hondakindegien morfologiak aurkezten dituzte. Mea-ustiategi hauetan historiaurrean eskualde kantabriar-piriniarrean zabaltze handia izan duen kalitate bikaineko sílexa identifikatu da

## 1.- INTRODUCCIÓN

Los indicios de labores extractivas de sílex en la Sierra de Araico se conocen desde las prospecciones de Deogracias Estavillo. Sus emplazamientos, su extensión, método de extracción y explotación, tipos de sílex, accesibilidad y disponibilidad de la materia prima etc., son cuestiones que se vienen abordando recientemente.

A partir de los años 30, D. Estavillo comienza su labor prospector en la cuenca del río Ayuda y tras años de prospección y recogida de materiales dibuja un mapa (Estavillo, 1955), en el que se representan poblados y zonas de taller en la Sierra de Araico o Caricedo, explicando: *“el riquísimo utillaje recogido por nosotros lo ha sido en superficie y este achaque arqueológico se acentuó por su gran área dispersiva. Como toda la zona por nosotros prospectada es cantera, toda la zona debía también ser taller. En el estado actual de nuestro descubrimiento, nos falta el elemento estratigráfico”* (Estavillo, 1980).

En estas labores de prospección, aparte del utillaje recuperado, también va a identificar estructuras extractivas, tanto en la Sierra de Araico, como en la de Cucho-Busto: *“aún pueden observarse hoy día,*

<sup>(1)</sup> [innigo.orue@gmail.com](mailto:innigo.orue@gmail.com)

Directores: Dr. Antonio Tarrío, Dr. José Antonio Mujika y Dr. Luis Eguluz

aunque disimuladas por mantos de pobre vegetación, las rústicas hoyadas en busca del sílex practicadas por elementales labores de zapa de aquellos primitivos mineros. Cerros de San Cristóbal (Grandival), La Galzarra (Treviño), Sierra de Busto y los Asentaderos (Araico)" (D. Estavillo, 1980). Los resultados de los hallazgos se irán completando en los años 80, con las prospecciones del Instituto Alavés de Arqueología. Se señalan tres lugares en la Sierra llamados Alto de San Miguel I (zanjas situadas en el Cerro), II (en el collado situado entre en Alto del Silo y Alto de San Miguel, en estudio desde 2010) (Tarrío *et al*, 2011), y III (estructuras circulares en la ladera Norte, próxima a la cima) (Ortiz *et al*, 1990).

En el año 2001, A. Tarrío en su Tesis doctoral interpretó las morfologías erosivas lineales y escombreras que se disponen siguiendo los niveles silicificados sobre el terreno como indicios de minería prehistórica (Tarrío: 2001, 2005 y 2006). También realizó una columna estratigráfica a lo largo de la carretera A-126, entre el Balneario de Cucho y el pueblo de Treviño, donde clasificó cuatro microfacies de sílex, que se reconocen en la Sierra.

Más recientemente se han reactivado dichas investigaciones con el trabajo presentado en el "2nd International Conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre-and Protohistoric Times" en 2009 (Tarrío *et al*, 2011) y la publicación de un mapa geomorfológico de la Sierra de Araico (Benito-Calvo *et al*, 2010) a partir de los datos LiDAR (*Light Detection and Ranging*) y la realización de dos campañas de excavación (Tarrío *et al*, 2011).

Una cuestión inicial planteada es la de cómo identificar en el terreno este tipo de yacimientos mineros, novedosos en nuestro territorio. Por una parte, estarían los restos menudos asociados a la materia prima y manufactura del instrumental del laboreo, pero unidos a ellos existen otros vestigios (zanjas, escombreras, pozos, etc.) de mucha mayor envergadura resultado de la extracción del sílex de la roca encajante. En nuestra opinión, estas estructuras se podrían prever si utilizáramos una metodología adecuada.

Partimos de la hipótesis, de que en la Sierra existió una intensa explotación minera, la cual tiene una distribución espacial claramente relacionada con la geología, evidenciable en la geomorfología y en la vegetación. El análisis y la combinación de la foto aérea, imagen LiDAR e imagen satelital, pueden proporcionar resultados positivos en un área compleja por su extensión y permitir una descripción geo-arqueológica de la Sierra. Los datos LiDAR ya se habían aplicado en esta zona (Benito-Calvo *et al*, 2010 y Tarrío *et al*, 2011), pero en este estudio también hemos trabajado con la imagen del satélite Spot-5, con la hipótesis de que las zanjas y escombreras han condicionado el crecimiento de la vegetación, permitiendo identificar estructuras mineras menos evidentes a los cambios geomorfológicos que marca el LiDAR, consiguiendo una mayor precisión.

Así pues, el objetivo principal en este trabajo ha sido la localización de estructuras mineras integrando los restos industriales y las variables presentes en el paisaje, cuyo interés se justifica por el estudio de la explotación minera, gestión de los recursos líticos y la importancia de su difusión.

## 2.- METODOLOGÍA

La zona de estudio se localiza en la ladera Norte de la zona Este de la Sierra de Araico, también llamada de Caricedo (Treviño-Araba). Tiene una superficie de 350 ha, una cuarta parte de toda la Sierra, delimitada por el cortafuego que asciende desde las Tejeras y se extiende hasta el camino de Treviño (figura1: Sierra de Araico o Caricedo y zona de estudio).

Este trabajo se ha realizado en dos fases: en la primera se ha explotado la información cartográfico-digital, que incluye: fotografía aérea, LiDAR e imagen satelital, las cuales se han interpretado tanto visual como digitalmente, para realzar zonas susceptibles de explotación minera de sílex. La segunda fase, se ha centrado en el trabajo de campo, para comprobar las hipótesis planteadas.

### 2.1. Primera fase: elaboración de mapas temáticos

La fotografía aérea y toponimia se han obtenido de la web del IGN ([www.ign.es](http://www.ign.es)), con las que se trabajó en el sistema geodésico de referencia Datum ETRS89, con proyección UTM y el huso 30N, la cual nos ha servido para realizar una interpretación inicial y ha sido un referente para confrontar las observaciones de la imagen LiDAR y satelital.

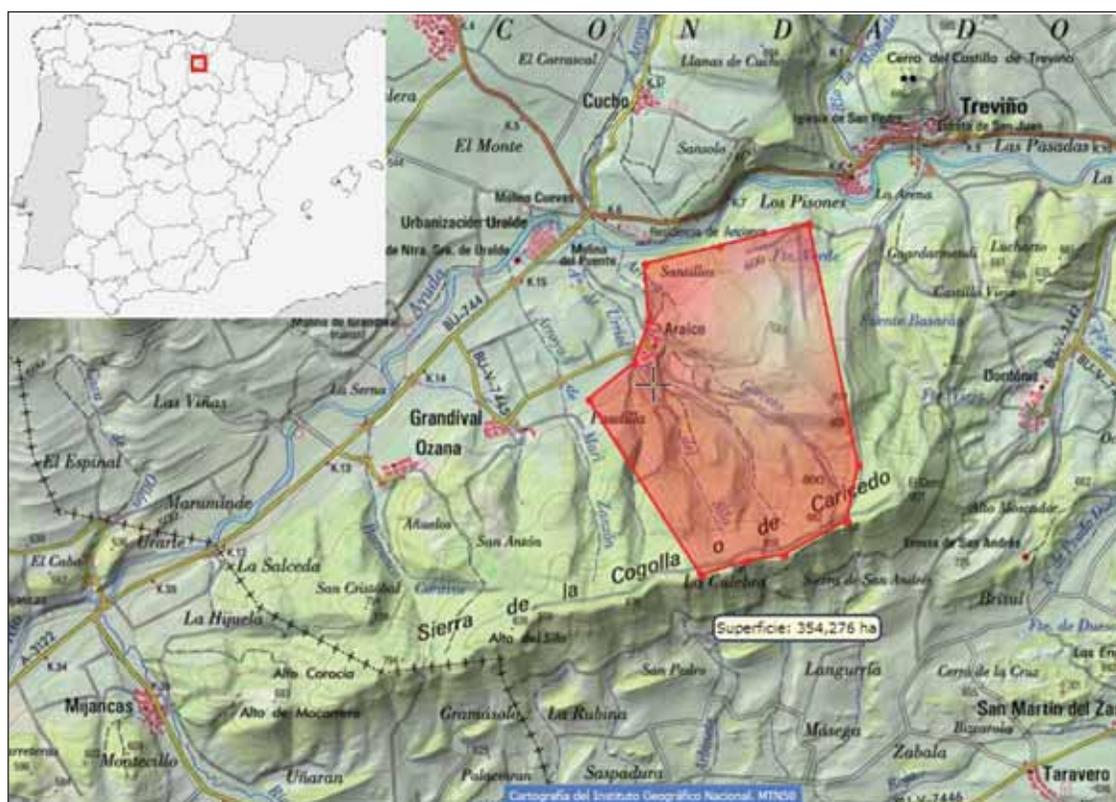


Figura 1. Sierra de Araico o Caricedo y zona de estudio. Figure 1. Sierra of Araico or Caricedo and research area.

### 2.1.1. Geomorfología:

La información cartográfica para las curvas de nivel y el modelo de sombra del LiDAR proceden de la web del Gobierno Vasco ([www.geo.euskadi.net](http://www.geo.euskadi.net)). Para establecer la traza de los estratos se ha utilizado el programa Arcgis 9.3. Pasos realizados:

1. Con técnicas geométricas se han calculado las direcciones y buzamientos aproximados de estratos en la Sierra, comprobando que buza al noreste y define el flanco Sur del sinclinal. Para estos cálculos se han generado puntos a igual cota en los estratos, que proporcionan la dirección y un tercer punto a distinta cota, para el buzamiento (figura 2: dirección y buzamiento de la Sierra).

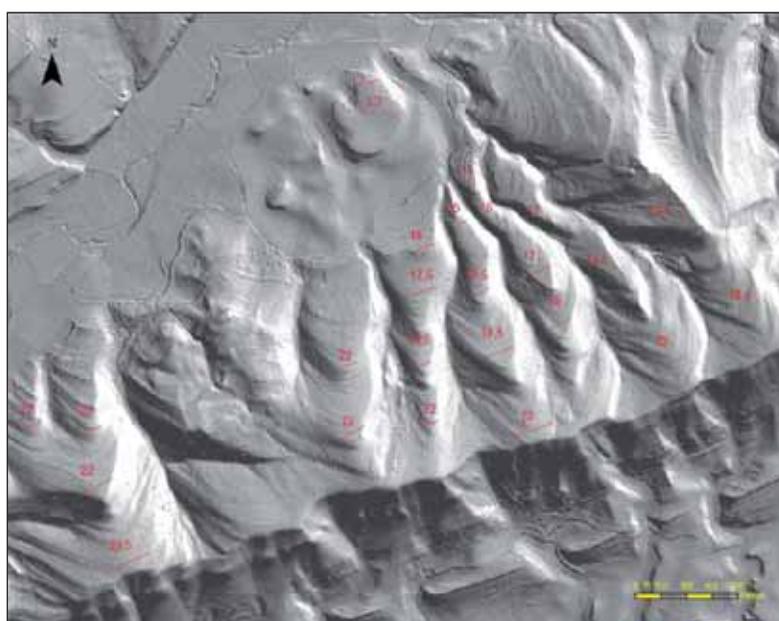


Figura 2. Dirección y buzamiento de la Sierra. Figure 2. Direction and dip of the Sierra.

2. Se ha realizado una reinterpretación geomorfológica a partir de los datos previos (Benito-Calvo *et al*, 2010), siendo su objetivo el estudio de la disposición de los estratos y la búsqueda de estructuras.
3. Se han dibujado líneas de capa geológicas y de traza, siguiendo los estratos que conectan las zanjas visibles en la imagen LiDAR, que nos han servido para delimitar las zonas mineras.

### 2.1.2. Vegetación:

Se han tratado las imágenes digitalmente con el software Envi 4.8, con el que se trabajó una imagen del Spot-5 (resolución multispectral: 10 metros; infra-rojo medio: 20 metros) de la cuenca de Treviño, proporcionada por el Servicio de Cartografía de la UPV-EHU (Sgiker-Cartografía).

La imagen satelital se trabajó con la combinación en "falso color" (bandas 321: infrarrojo cercano, rojo y verde), basándonos para la interpretación en la "descripción visual de las coberturas simples del SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España), sobre la combinación en falso color" (SIOSE, 2007), con las que se han definido las diferentes coberturas del suelo. Pasos realizados (figura 3: A: imagen Spot-5; B: aplicación filtro paso-alto; C: inversión colores; D: análisis NDVI):

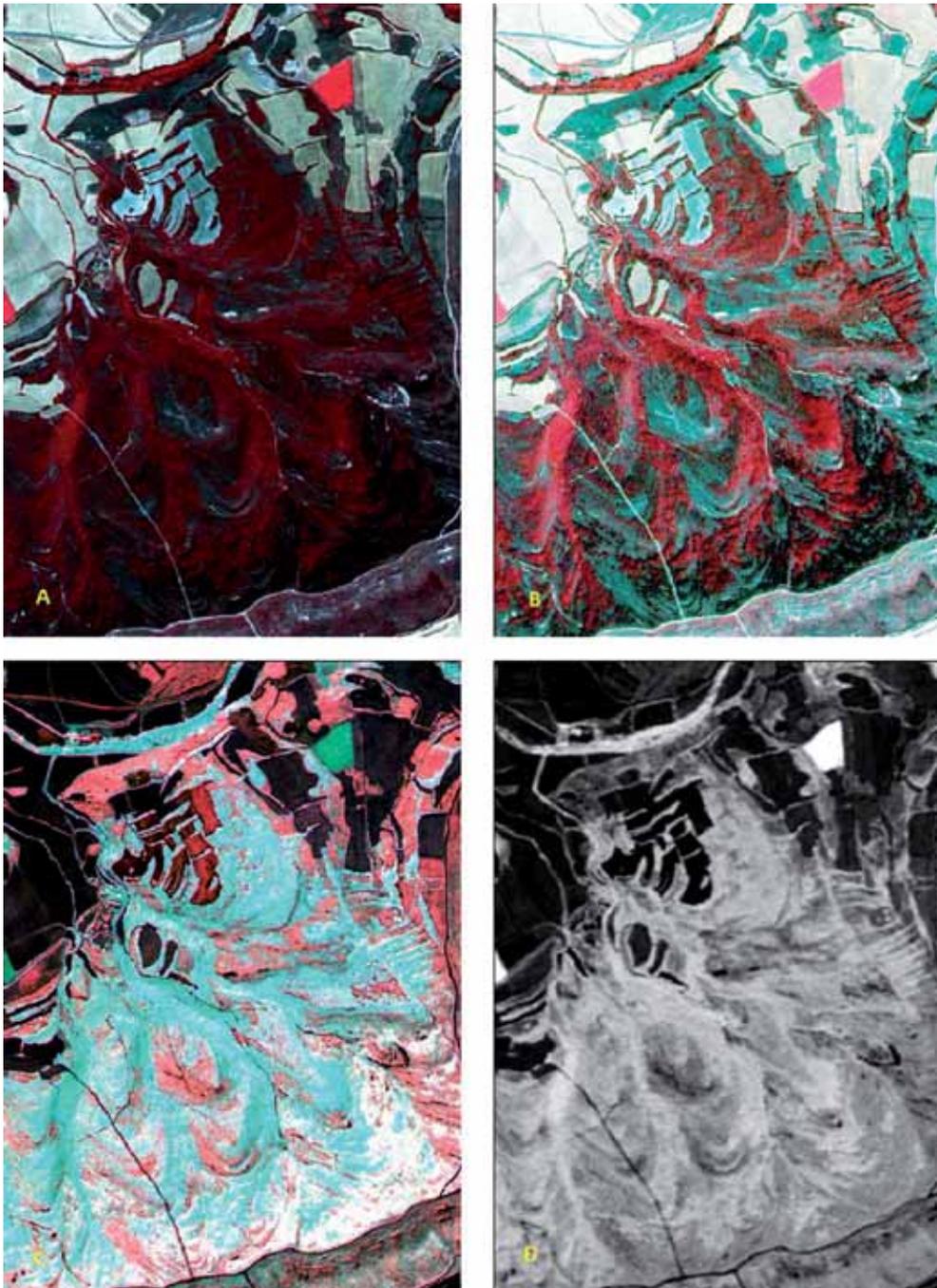


Figura 3. A: imagen Spot-5; B: aplicación filtro paso-alto; C: inversión de colores; D: análisis NDVI.  
Figure 3. A: image Spot-5; B: high-pass filter application; C: color inversion; D: NDVI analysis.

1. Se realizó la corrección atmosférica por el procedimiento DOS (*Dark Object Subtraction*).
2. Le hemos aplicado un filtro paso-alto, con el objetivo de obtener un mayor contraste entre los bordes de los píxeles homogéneos y así poder estudiar las discontinuidades en las zonas donde la vegetación presenta un aspecto uniforme.
3. Para realzar las zonas donde los estratos pudieran haberse alterado y condicionado el crecimiento de la vegetación, hemos generado otra imagen en la que se han invertido los tonos rojos, por lo que se resaltan los estratos desnudos, zonas erosionadas y zonas con pobre vegetación.
4. Sobre la imagen primera se ha realizado el análisis del desarrollo de la vegetación obteniendo el "Índice Normalizado Diferencial de Vegetación" (*NDVI-Normalized Difference Vegetation Index*). Este índice está relacionado con la capacidad fotosintética y por tanto de absorción de la radiación de las plantas. Nos sirve para diferenciar suelos y distintos tipos de masas vegetales, por el claro contraste que la vegetación ofrece en la banda del rojo (R) e infrarrojo cercano (IRC), dando como resultado un valor entre -1 y 1, aplicando la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

## 2.2. Síntesis de la información:

Todas estas imágenes se han montado en el programa Arcgis 9.3, para interpretarlas y compararlas, completándose las diferentes informaciones que aporta cada una de ellas y marcando las zonas susceptibles de explotación minera, con las que se han trazado cuatro bandas longitudinales.

## 2.3. Segunda fase: trabajos de prospección

Estos se han efectuado a partir de las interpretaciones realizadas de las imágenes satelitales, fotografía aérea y LiDAR, sobre los que se marcaron los horizontes que evidencian alteraciones o discontinuidades con el entorno de posible origen antrópico. Las bandas longitudinales identificadas eran cuatro: una superior, a la que corresponden los estudios y trabajos de excavación en desarrollo desde 2010; otra media-superior, situada sobre el nivel de limo-arcillosas, que separa las unidades litológicas de Mijancas y Cucho (Tarrío *et al*, 2011); otra tercera media-inferior ladera abajo y una cuarta inferior correspondiente a la zona baja de la sierra, al entorno de Araico.

Buena parte del sector estudiado, principalmente la zona media, presenta la dificultad de tener una espesa vegetación, por lo que se planteó la ubicación de unos puntos de control, ya que seguir las bandas trazadas presentaba muchas dificultades. Éstas se situaron en los caminos/cortafuegos abiertos en 2009, que atraviesan la zona media de Este a Oeste, así como donde la vegetación es menos densa, ampliando los resultados con criterios geomorfológicos basados en el LiDAR.

En esta fase del trabajo conocimos en Araico a algunos miembros de la familia Estavillo, los cuales aportaron información respecto a D. Estavillo, la toponimia y a diferentes actividades, que se practicaron en la Sierra.

## 3.- RESULTADOS

El primer resultado nos permitió unir zanjas, que se marcaban en la imagen LiDAR, observando la traza de los estratos y analizando los cambios en la vegetación e interpretando las coberturas, identificando posibles escombreras. Para este reconocimiento nos basamos en las trazas realizadas a partir del Lidar y la imagen del satélite Spot-5, con las que se identificaron las coberturas de arbolado, matorral-herbáceo y suelos desnudos:

– El arbolado presenta una respuesta en el infrarrojo cercano, que va de un color rojo intenso y brillante hasta color granate, dependiendo de su capacidad fotosintética y del estado de salud de las plantas.

- La cobertura matorral-herbácea tiene una respuesta débil en el infrarrojo cercano, representado por verdes oscuros.

- En los suelos desnudos sin vegetación se reflejan todas las longitudes de onda del espectro visible, por lo que en la imagen satelital se representa con tono blanco, identificándose caliza y suelos limo-arcillosos.

En segundo lugar, se identificaron cuatro bandas longitudinales con hipotética actividad minera, en la base de cada una de las cuales se localiza un suelo de aspecto limo-arcilloso bien marcado con color blanco en la imagen satelital, separando posibles unidades sedimentarias y situadas en la base de cada uno de los escalones homoclinales que forman la Sierra.

Se observaron dos fenómenos extremos en función de la orientación del terreno y su disposición a los agentes ambientales, favoreciéndose crecimiento de la vegetación en unas áreas y perjudicando en otras, pudiendo también estar condicionada por el sedimento suelto de la actividad extractiva (figura 4: mapeado de coberturas vegetales a partir de los resultados del NDVI. A: suelo desnudo; B: matorral-herbáceas; C: arbolado; D: arbolado denso):

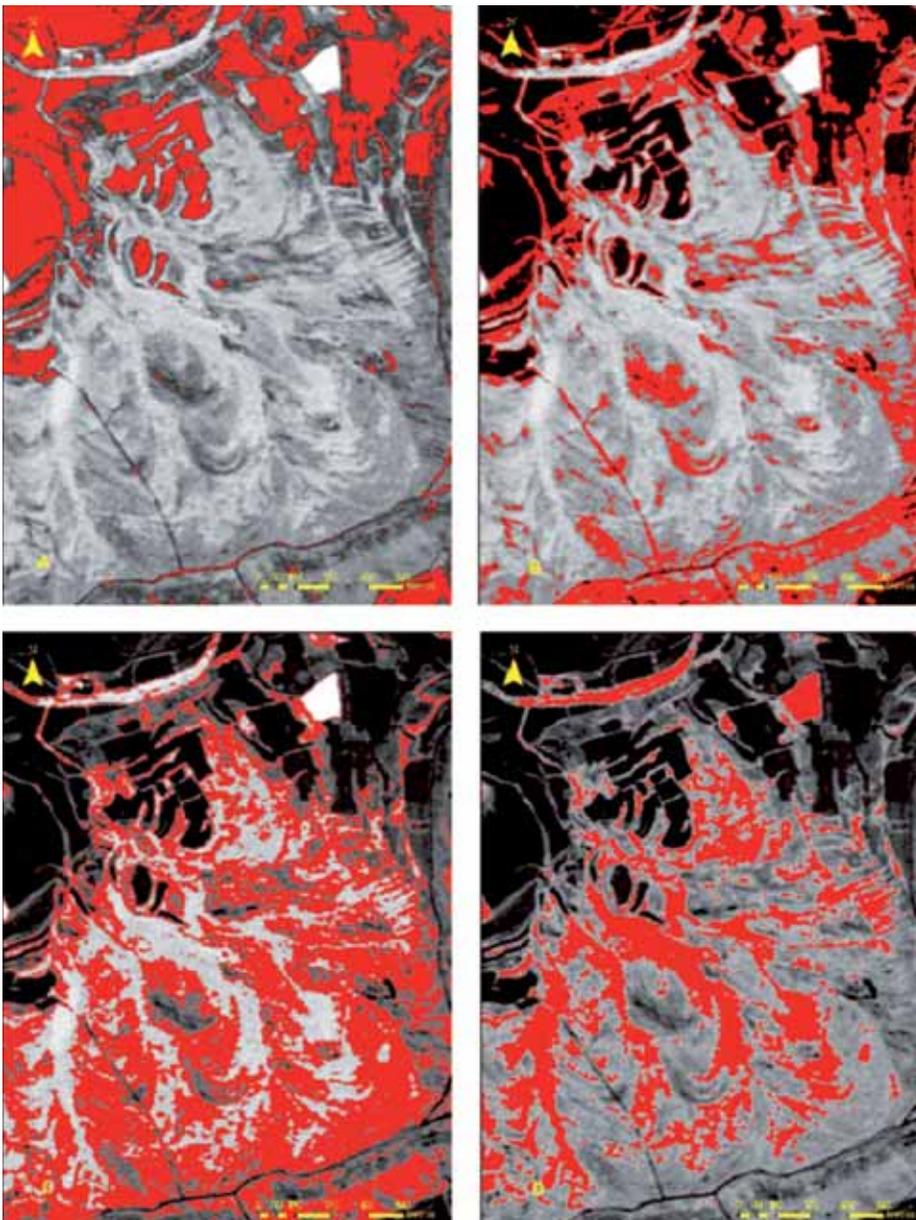


Figura 4. Mapeado de coberturas vegetales a partir de los resultados del NDVI. A: suelo desnudo; B: matorral-herbáceas; C: arbolado; D: arbolado denso.  
Figure 4. Mapping vegetation cover from NDVI results. A: bare soil; B: scrubland-herbaceous; C: woodland; D: dense woodland.

– La zona alta de la sierra presenta una vegetación pobre, con abundante material calizo visible en la ortofoto.

– En las zonas medias se presentan dos situaciones en función de la orientación de las pronunciadas pendientes de los escalones: la zona de zanjas en la ladera suroeste tiene una vegetación poco densa, por el contrario la ladera noreste se caracteriza por una densa vegetación.

Estas bandas longitudinales fueron comprobadas y documentadas definiéndose cuatro bandas con distintos horizontes con sílex de diferentes características, a los que se asocian zanjas y escombreras mineras, que progresan siguiendo el estrato. En estas bandas longitudinales tenemos zanjas que en algunas zonas se solapan, lo que dificulta identificar las unidades de extracción de cada una.

Estas bandas se han designado por criterios geomorfológicos y tipo de sílex (figuras 5: bandas longitudinales; y figura 6: sílex de excelente calidad localizado en las cuatro bandas):

– Banda superior: se caracteriza por sílex nodulares con bioclastos, entre los que destacan los ostrácodos, y abundantes anillos de “liesegang”. Proceden de la silicificación de calizas y/o dolomías micríticas con fósiles. Aparecen asociados a zanjas y escombreras, muy alteradas por la plantación de pinos de los años 50, que progresan próximas a la cresta de la Sierra.

– Banda media-superior: predomina la explotación de una silcreta con abundante materia orgánica que le confiere colores negruzcos. Patina en colores muy blaquescos con un grano muy fino que le confiere un aspecto aporcelanado y excelente calidad. Pasa por Los Castilletes, el Monte del Silo, Hoyo Grande y a la altura del camino de Treviño gira

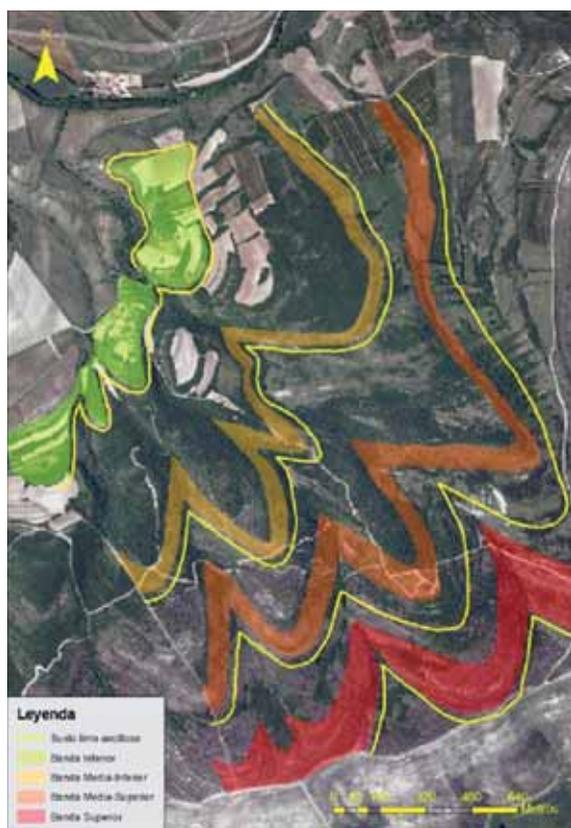
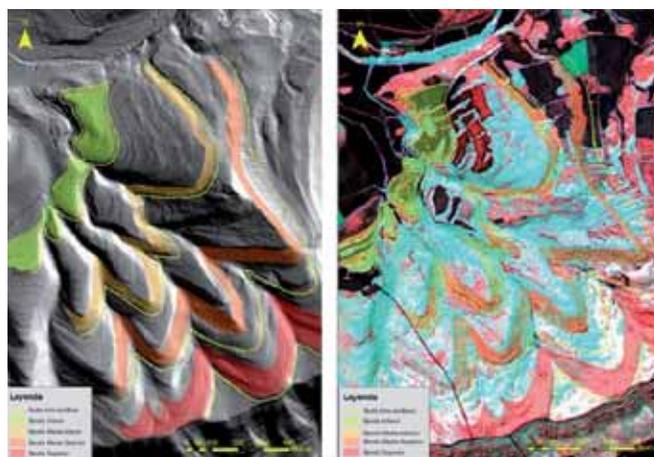


Figura 5. Bandas longitudinales.  
Figure 5. Longitudinal bands.

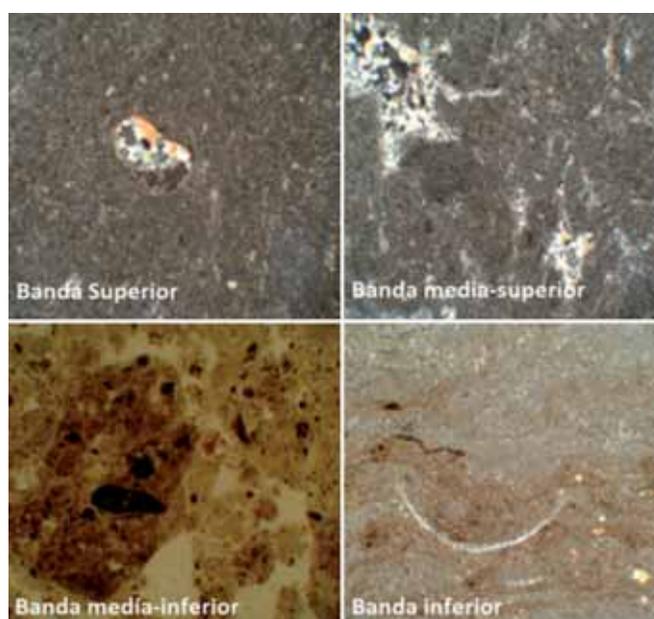


Figura 6. Sílex de excelente calidad localizado en las cuatro bandas.  
Figure 6. Quality flint located in the four bands.

hacia la carretera A-126. Es el sector mejor documentado, ya que las escombreras han sido atravesadas en dirección Este-Oeste por un camino abierto en 2009, que ha hecho aflorar gran cantidad de material arqueológico.

– Banda media-inferior: la explotación se centra en un tipo de silcreta también con abundantes fragmentos de material carbonoso que le confiere colores oscuros y negruzcos en fractura fresca. Su textura varía de grumelar a brechoide, según los casos, mientras que su grano muy fino le confiere una excelente calidad para la talla. La explotación va desde Los Pedriscos hasta Asentaderos, donde gira hacia la carretera de Treviño A-126. Esta banda presenta grandes dificultades en la prospección, ya que la mayor parte de su desarrollo está cubierto de vegetación. El criterio para poder definir esta banda ha sido el material de superficie, que se ha constatado con fragmentos decimétricos y grandes lascas sobre este tipo de sílex, aparte de los cambios observados en las imágenes del satélite y el LiDAR.

– Banda inferior: hay que destacar la explotación del sílex algal con laminación paralela. Se trata de un único nivel de sílex con un espesor medio que oscila entre los 5 y los 10 cm, más o menos centrado en un paquete de calizas tableadas de unos dos metros de potencia, que sirve de nivel guía. Los sílex bandeados presentan cierto contenido en materia orgánica junto con algunas valvas de ostrácodos. Se ha detectado la existencia de zanjas próximas a los campos de cultivo. Esta es la zona, que puede presentar peor conservación de las estructuras mineras, por la proximidad al núcleo urbano de Araico y a los campos de cultivo, así como por la actividad de los trilleros, que según testimonio de Esperanza Estavillo, solían estar en el lugar denominado Santillos (comunicación personal). Sin embargo aparecen materiales prehistóricos lo que nos lleva a la conclusión de que las explotaciones prehistóricas y modernas se solapan.

#### 4.- DISCUSIÓN

Dentro de lo observado, las explotaciones mineras de la Sierra generalmente se definen por ser zanjas, que se desarrollan a lo largo de los estratos. La hipótesis de estos trabajos mineros, es que se desarrollan pendiente abajo y a medida, que se iba agotando la explotación del estrato o resultaba excesivamente laboriosa su extracción, se tapaba con el nuevo escombro extraído, progresando hacia zonas inferiores, aunque no se descarta que trabajaran de abajo arriba, por ser un trabajo más sencillo, siempre que el estrato con sílex fuera visible. Por esta razón, en la mayor parte de la zona minera las zanjas son poco evidentes, ya que están tapadas por escombreras, observándose pequeñas y sutiles morfologías alomadas en el terreno, que no se aprecian en la imagen LiDAR, a las que se les asocia un sedimento oscuro con cantos y clastos. Esta hipótesis tendría su confirmación en el extremo de una zanja en el Monte del Silo (figura 7: zanja en el Monte del Silo), en la que se estaría explotando la silcreta de grano muy fino de la zona media superior.

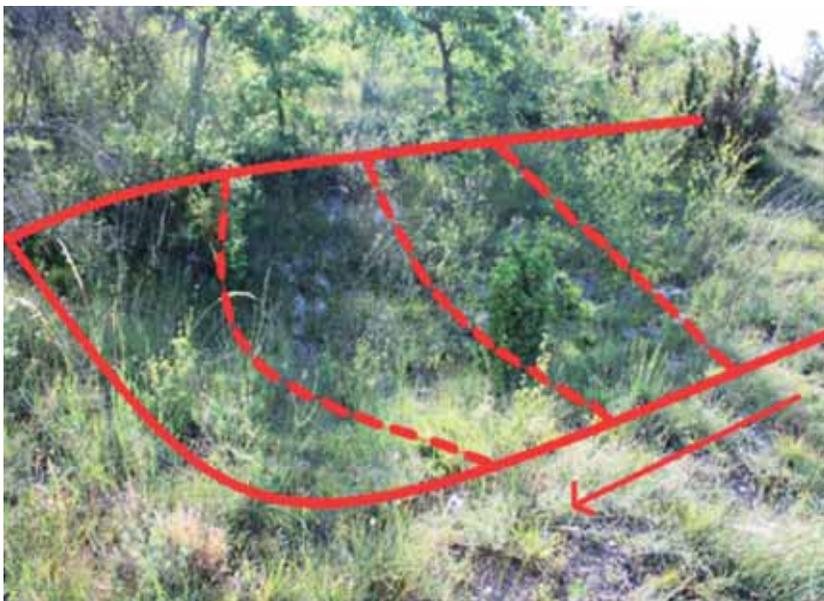


Figura 7. Zanja en el Monte del Silo.  
Figure 7. Trench in Monte del Silo

En las zonas de explotación, ya sea por la pendiente, la orientación de la ladera o porque el escombro resultaba más fácil arrojarlo ladera abajo, se ha dado una pérdida de relleno, quedándose a la vista la forma de las zanjas y localizándose



Figura 8. Nivel limo-arcilloso en el monte del silo.  
Figure 8. Silt-clayey level in Monte del Silo.

escaso material geo-arqueológico. Estas formas son visibles e identificables con la imagen LiDAR, aunque es necesario el trabajo de campo para poder distinguir entre zanjas mineras y los niveles de suelo limo-arcillosos erosionados (figura 8: nivel limo-arcilloso en el monte del silo).

Tanto en el Monte del Silo como en Hoyo grande se han detectado unas formas circulares similares asociadas a la misma capa geológica, que forman islas, con la superficie cubierta por un tapiz de musgo y arbolado (carrasca: *Quercus ilex* subsp. *ballota*; roble carrasqueño: *Quercus faginea* subsp. *faginea*), que crece dentro de él, pudiéndose in-

terpretar que existe un suelo lo suficientemente potente y apropiado para que crezca esta vegetación, cosa que no ocurre en su entorno. Estas formas, a falta de un sondeo arqueológico, podrían interpretarse como pozos/cubetas mineras, ya que en Hoyo Grande tenemos un corte hecho por un camino en el extremo de una de estas estructuras, en el que se pueden ver bloques y clastos dentro de un sedimento oscuro (figura 9: estructura circular). Patxi Heras (Técnico Museo Ciencias Naturales de Álava) ha analizado este musgo y los ha identificado como *Funaria hygrometrica* Hedw., como especie dominante, *Bryum dichotomum* Hedw. y *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. Según la información de P. Heras, éstos forman un conjunto coherente, como musgos colonizadores de suelos ricos en nutrientes (nitrófilos). Son comunes de zonas donde se ha dado una remoción del sustrato o se ha producido un fuego, pudiendo indicar el incendio del 2009, cubriéndolo durante etapa un tiempo para en unos años desaparecer. El musgo *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., es más tardío en aparecer, pero perdura más en el tiempo, indicando que estamos en una segunda etapa en la evolución del suelo.



Figura 9. Estructura circular.  
Figure 9. Circular structure.

La cantidad del material arqueológico, que aparece en toda la sierra es inmenso y en la prospección no se ha tenido como objetivo recoger estos materiales, aunque si hemos tratado de valorar su carácter prehistórico. Se ha reunido algún material, con el fin de identificar los diferentes tipos de sílex, que se dan en las zonas de explotación. A grandes rasgos, el material detectado se define por estar formado por fragmentos de nódulos y silcretas brechoides testeadas, grandes lascas y un instrumental carenado de gran tamaño. Dentro del utillaje las muescas y raederas denticuladas tienen una representación notable (impresiones generales, que se han tenido observando en el campo el material de superficie). Se han encontrado percutores en sílex, uno de ofita en la banda baja y algunas lascas de ofita en la media-superior. En esta última se ha reconocido sobre el terreno una buena cantidad de núcleos de lascas de diferentes morfologías: amorfos, discoidales y unipolares. Aquí y en concreto en el Barranco de Hoyo Grande, también se han observado algunos núcleos de láminas, todos ellos sobre la silcreta de grano muy fino.

En las zanjas mineras no se ha detectado sílex de fuera de Treviño y en cada banda las herramientas aparentemente están realizadas con el mismo explotado en la cantera, por lo que, exceptuando la ofita que es foránea, el instrumental lítico se fabricaba *in situ* para necesidades inmediatas.

## 5.- CONCLUSIONES

La identificación de bandas longitudinales ha sido básica en los trabajos de campo, para poder reconocer el material y seguir el desarrollo de las zanjas. En esta labor han sido fundamentales las imágenes de la fotografía aérea, LiDAR y del satélite Spot-5, revelando que la combinación e interpretación de todas ellas proporcionan resultados muy positivos, facilitando el diseño de una estrategia muy efectiva para el trabajo de campo y permitiendo conocer mejor la geología de la sierra y la envergadura del yacimiento arqueológico, que por criterios geológicos rondaría las 2.000 ha (correspondería a las Sierras de Araico (Treviño-Araba) y de Cucho-Busto (Treviño)), de las que 350 ha se han estudiado de forma preliminar.

El reconocimiento de las zanjas y escombreras ha sido posible al observar los cambios geomorfológicos y el desarrollo de la vegetación. Las estructuras mineras, salvo las morfologías de zanja sin relleno, no se han podido señalar por los cambios geomorfológicos, ya que las sutiles estructuras alomadas de las escombreras que rellenan las zanjas no se identifican en la imagen LiDAR, pero los suelos mineros han condicionado el crecimiento de la vegetación en función de la orientación de las laderas y la exposición a los agentes climáticos, permitiendo describir las bandas longitudinales donde se han identificado actividades extractivas.

La morfología de los yacimientos mineros y el método de explotación están condicionados por la geología del terreno, tipo de suelo, disposición del estrato con materia prima, su profundidad y espesor (Villalba, 2000). La explotación de Treviño, a diferencia de otras grandes explotaciones mineras que se desarrollan en grandes pozos y galerías, progresa en extensión al aire libre, rompiendo los estratos calizos con sílex, no permitiendo las explotaciones en horizontal con galerías por la dureza de los estratos. Su gran riqueza silíceo y excelente calidad han propiciado la realización de largas zanjas a lo largo de los estratos en cuatro bandas de aprovechamiento intenso, que presentan uniformidad morfológica en las explotaciones y en el método de explotación caracterizado por las herramientas líticas mineras (percutores de sílex, mazas de ofita y picos o azadas de sílex: Estavillo, 1975). A estas acompañan instrumentos líticos que servirían para el acondicionamiento del equipo minero perecedero (madera, hueso, etc.). Las herramientas utilizadas en estas actividades mineras son habituales en todos los yacimientos, aunque condicionadas por la geología (Mangado, 2000). Explicando la presencia de la mayor parte del material arqueológico que aparece en las zanjas de explotación y en sus rellenos, constituidos de los escombros de zonas contiguas, por las diferentes actividades desarrolladas en el lugar (Capote *et al*, 2011 y 2008; Villalba, 2000).

Con los datos que hoy en día disponemos podríamos decir, que la explotación de la Sierra se sitúa dentro de los contextos mineros europeos, que se generalizan a partir del Neolítico, pues los trabajos de excavación, que se desarrollan desde el año 2010 en la Sierra de Araico, han aportado dos fechas de C-14 en contexto estratigráfico, una de  $6.050 \pm 40$  BP (madera carbonizada) y otra de  $5.640 \pm 30$  BP (asta de ciervo) para un punto concreto de las explotaciones, aunque en Europa se constatan explotaciones mineras de sílex de los grupos cazadores-recolectores desde el Mesolítico, como en el yacimiento de Krumlov Forest (Moravia) (Oliva, 2011), pero que no dejan de ser fenómenos aislados y puntuales (Terradas, 2000).

Respecto a los trabajos que se han realizado sobre los materiales hallados en superficie, D. Estavillo (1975) los atribuía a actividades que se suceden desde el Paleolítico Superior hasta la Edad de los Metales, como confirmarían recientes estudios de Tarrío sobre la difusión de las materias primas (figura 10: mapa de la distribución del sílex de Treviño (A. TARRIÑO, 2011)), en los numerosos yacimientos estudiados en la región cántabro-pirenaica y que Vallespi (1967) atribuía una fuerte ocupación del Eneolítico-Bronce. Por esta razón, con la intensificación de la actividad arqueológica se esperan descubrir indicios de aprovisionamiento paleolíticos en zonas donde el acceso a la materia prima sería más sencillo al aflorar en superficie los estratos con sílex. Por otro lado, también hay que tener en cuenta las actividades modernas de los trilleros, por lo menos en la zona baja (Santillos).



Figura 10. Mapa de la distribución del sílex (A. TARRIÑO, 2011).  
Figure 10. Map of the distribution of flint (A. TARRIÑO, 2011).

## 6.- AGRADECIMIENTOS

A los directores de este trabajo Dr. Antonio Tarrío, Dr. José Antonio Mujika y Dr. Luis Eguíluz; a Patxi Heras; a Mikel Aguirre; a Josu Junguitu y Pedro José Lobo del Servicio General de Cartografía (UPV-EHU); a Dr. Aitor Larrañaga y Dr. Fco. Javier Sanguesa del Servicio General de Rayos X (UPV-EHU); a los vecinos de Araico M<sup>a</sup> Asunción, Esperanza y Jesús Estavillo, y a Fabián Azaceta; a los miembros del equipo de excavación del yacimiento minero de la Sierra de Araico, y al Proyecto Ondare (2011) del Instituto Alavés de Arqueología, subvencionado por el Ministerio de Cultura; a la Caja de Burgos por las subvenciones concedidas en 2011 y 2012; y en especial a Ikerne.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

- BENITO-CALVO, A.; TARRIÑO, A.; LOBO P.J.; JUNGUITU, I.; LARREINA, D.  
2010 Geomorphology and prehistoric flint mining evidence in the Sierra de Araico (Basque-Cantabrian Basin), Burgos-Álava, Spain. *Journal of Maps*: 584-590
- CAPOTE, M.; CASTAÑEDA, N.; CONSUEGRA, S.; CRIADO, C.; DÍAZ-DEL-RÍO, P.  
2008 Flint mining in Early Neolithic Iberia: a preliminary report on Casa Montero (Madrid, Spain). En: *Flint Mining in Prehistoric Europe. Interpreting the archaeological records (Cracow, Poland, 19-24 September 2006)*. P. Allard; F. Bostyn; F. Gilligny; J. Lech (eds.): 123-137. Archaeopress BAR International Series 2260.
- CAPOTE, M.  
2011 Working in the flint mine: Percussion tools and labour organisation at Casa Montero (Spain). En: *Proceedings of the 2nd International Conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric Times (Madrid, 14-17 October, 2009)*. M. Capote; S. Consuegra; P. Díaz-del-Río; X. Terradas (eds.): 231-242. Archaeopress, BAR International Series 2260.
- ESTAVILLO, D.  
1955 Las industrias líticas de Araico (Condado de Treviño). *Zephyrus*, 6: 172-177.  
1975 Contribución a la prehistoria del País Vasco - Los hallazgos líticos de la zona de Araico: un poblado protohistórico en la Portilla Alta y otros datos de arqueología treviñesa. *Estudios de Arqueología Alavesa*, 8: 11-47.  
1980 *El Condado de Treviño*. Ed. Institución Sancho el Sabio, Vitoria.

MANGADO LLACH, X.

- 2000 El aprovisionamiento de recursos minerales en el Paleolítico y en el Neolítico de Europa. *Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia Antigua en el SW Europeo, Seros 2000*. 1.0.: 7-36.

OLIVA, M.

- 2011 Chert Mining in the Krumlov Forest (Southern Moravia). En: *Proceedings of the 2nd International Conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric Times (Madrid, 14-17 October, 2009)*. M. Capote; S. Consuegra; P. Díaz-del-Río; X. Terradas (eds.): 97-108. Archaeopress, BAR International Series 2260

ORTÍZ, L.; VIVANCO, L.; FERREIRA, J. J.; LOBO, P. J.; MUÑOZ, M. D.; PINILLOS, R. TARRIÑO, J. M.; TARRIÑO, A.

- 1990 El hábitat en la prehistoria del valle del Río Rojo (Álava). *Cuadernos de Sección de Eusko-Ikaskuntza (Prehistoria-Arqueología)*, 3: 1-315.

SIOSE.

- 2007 *Manual de fotointerpretación. Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España*. Instituto Geográfico Nacional.

TERRADAS, X.

- 2002 Los contextos de producción lítica y las actividades extractivas de materias primas minerales en sociedades cazadoras-recolectoras prehistóricas. *Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia Antigua en el SW Europeo, Seros 2000*, 1.2:51-60.

TARRIÑO, A.

- 2001 *El sílex en la Cuenca Vasco-Cantábrica y Pirineo Navarro: caracterización y su aprovechamiento en la Prehistoria*. Tesis doctoral de la Universidad del País Vasco: 312.
- 2005 Indicios de minería de sílex en Treviño (Sur de la Cuenca Vasco-Cantábrica). En: *Geoarqueología y patrimonio en la península ibérica y el entorno mediterráneo*. M. Santonja, A. Pérez-González, M.J. Machado (eds.): 439-447. ADEMA, Soria.
- 2006 *El sílex en la Cuenca Vasco-Cantábrica y Pirineo Navarro: caracterización y su aprovechamiento en la Prehistoria*. Monografía del Museo Nacional y Centro de investigación de Altamira, 21.

TARRIÑO, A; BENITO-CALVO, A; LOBO, P.J; JUNGUITU, I; LARREINA, D.

- 2011 Evidence of Flint mining in the Treviño syncline (Basque-Cantabrian Basin, Western Pyrenees, Spain). En: *Proceedings of the 2nd International Conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric Times (Madrid, 14-17 October, 2009)*. M. Capote; S. Consuegra; P. Díaz-del-Río; X. Terradas (eds.). Archaeopress, BAR International Series 2260

TARRIÑO, A. LOBO, P.J. GARCÍA-ROJAS, M; ELORRIETA, I, ORUE, I, BENITO-CALVO, A; KARAMPANGLIDIS, T.

- 2011 Introducción al estudio de las minas neolíticas de sílex de la Sierra de Araico (Condado de Treviño): campaña de excavación del 2011. *Estudios de Arqueología Alavesa*, 27.

VALLESPÍ, E.

- 1967 Talleres de sílex al aire libre en Álava. Ampurias (*Revista de Prehistoria, Arqueología y Etnografía*), XXIX: 231-234.

VILLALBA, M.J.

- 2000 Minería Neolítica en Europa Occidental: el sílex y la calaíta. *Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia Antigua en el SW Europeo, Seros 2000*, 1.3: 61-76.

## 8.- ANEXO

Esquemas de modelos extractivos:

– Modelo 1: representa las explotaciones de la zona alta de la Sierra próxima a la cresta y la zona baja, próximos a los campos de cultivo.

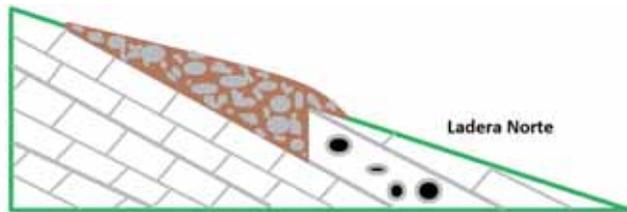


Figura 11. Estructura minera cubierta por escombros.  
Figure 11. Mining structure covered with rubble.



Figura 12. Fotografía de escombrera.  
Figure 12. Tailings photography.

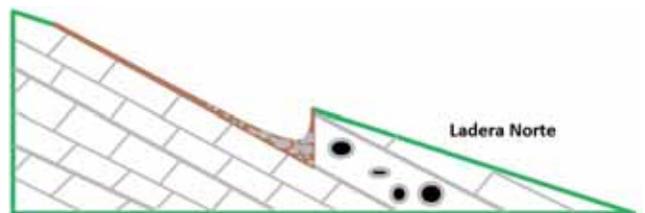


Figura 13. Estructura minera vacía, en la que se ve la morfología de la zanja.  
Figure 13. Empty mining structure, which is the trench morphology.



Figura 14. Fotografía de zanja minera sin rellenar.  
Figure 14. Empty trench photography.

- Modelo 2: representa las explotaciones de la zona media de la Sierra, caracterizada por los estratos en "V" aguas abajo.

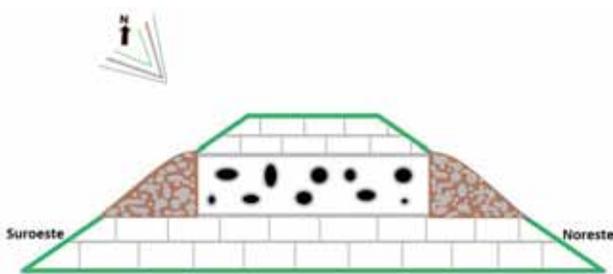


Figura 15. Laderas donde se desarrolla la actividad minera.  
Figure 15. Slopes where mining is developed.

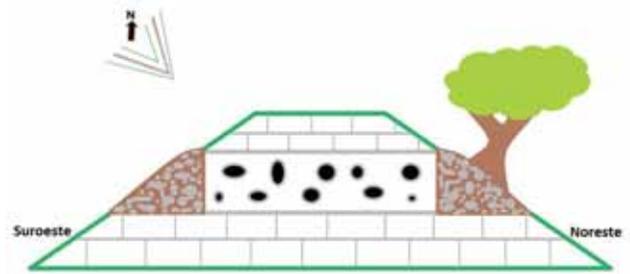


Figura 16. En la ladera noreste se observa mayor densidad de arbolado.  
Figure 16. On the northeastern slope is observed highest density of wooded.



Figura 17. Fotografía de escombrera en ladera noreste con desarrollo de densa vegetación.  
Figure 17. Tailings photography in northeastern slope with dense vegetation development.

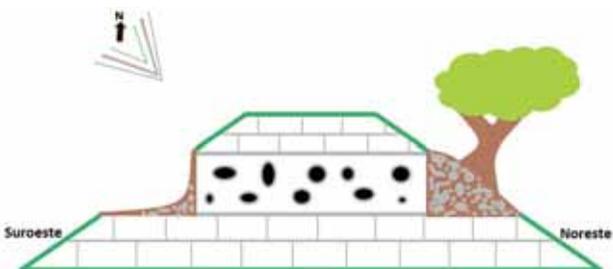


Figura 18. En tramos de la ladera suroeste las zanjas presentan pérdidas de relleno.  
Figure 18. In sections of the southwestern slope trenches filling show losses.



Figura 19. Fotografía de zanja sin relleno en la ladera sureste.  
Figure 19. Photography of unfilled trench on the southeast slope.

# Estudio comparado de las piezas dentales de *Homo neanderthalensis* del yacimiento Musteriense de Axlor (Dima, Vizcaya)

## Comparative study of the *Homo neanderthalensis* teeth from the Mousterian Axlor site (Dima, Biscay)

**PALABRAS CLAVES:** *Homo neanderthalensis*, Musteriense, Axlor, morfología dental.

**KEY WORDS:** *Homo neanderthalensis*, Mousterian, Axlor, dental morphology

Josefa ROSTRO CARMONA<sup>(1)</sup>

### RESUMEN

Desde su descubrimiento en 1967, los materiales y restos del yacimiento Musteriense de Axlor (Dima, Vizcaya) han sido poco estudiados. De especial interés son cinco dientes inicialmente identificados como pertenecientes a *Homo neanderthalensis*. Tratándose de un periodo en el que convivieron neandertales y humanos anatómicamente modernos, se cuestiona la pertenencia de muchos restos musterienenses a los neandertales. Por esta razón, frecuentemente resultan de utilidad los estudios comparativos morfológicos de las piezas dentales. En el presente trabajo se han revisado los datos obtenidos en el estudio inicial de José María Basabe (1973) de los dientes hallados y se han medido de nuevo las piezas para comparar los resultados con los de otras colecciones del Pleistoceno Medio y Superior. Así, se ha podido validar la hipótesis inicial sobre la pertenencia de dichos dientes a la especie *Homo neanderthalensis*.

### ABSTRACT

Since their discovery in 1967, the materials and remains of the Axlor (Dima, Biscay) Mousterian site have been scarcely studied. Of special interest are five teeth initially identified as belonging to *Homo neanderthalensis*. As it was a period when both Neanderthal and anatomically modern humans coexisted, it is called into question the membership of many Mousterian remains to the Neanderthals. For this reason, morphological comparative studies of teeth are often helpful. In this paper have been revised the data obtained in the initial study of José María Basabe (1973) of the found teeth and they have been measured again to compare the results with other collections of pieces of the Middle and Upper Pleistocene. Thus, it has been able to validate the initial hypothesis about the membership of these teeth to the *Homo neanderthalensis* specie.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Axlor se ubica en el complejo urgoniano del karst de Indusi (Dima, Vizcaya; **Figura 1A**, según **Ríos Garaizar et al. 2011**). Se trata de un abrigo situado a la entrada de una cueva colapsada (**Figura 1B**) utilizado durante el Paleolítico Medio. El yacimiento fue descubierto por José Miguel de Barandiarán en 1932, quien excavó la secuencia musterienense de Axlor entre 1967 y 1974. Los primeros estudios sobre la fauna, industria lítica y restos humanos hallados en esta secuencia fueron publicados por José María Basabe (1973), Jesús Altuna (1980a, 1980b) y Amelia Baldeón (1999). Jesús González Urquijo se ha hecho cargo de una nueva excavación sistemática del yacimiento en 2000 cuyos resultados se han publicado parcialmente (**González et al., 2005 y 2006**; Castaños, 2005 -en González et al., 2005-; **Ríos, 2003, 2004**; **Mozota, 2007**).

De los nueve niveles descritos por Barandiarán (**Figura 1C**; según **Baldeón, 1999**), los niveles III-VIII son arqueológicamente interesantes, ya que en ellos se concentran tanto la mayor parte de las piezas de industria lítica y ósea musterienense como cinco piezas dentales humanas recogidas en la campaña de 1967. Este conjunto de niveles se ha datado en torno a 42 ky. BP mediante la combinación de los métodos de <sup>14</sup>C-AMS, termoluminiscencia y ESR. De acuerdo con los trabajos iniciales de **Basabe (1973)**, las características morfológicas que presentan estas piezas dentales son en principio y como hipótesis de partida compatibles con su adjudicación a *Homo neanderthalensis*.

<sup>(1)</sup> Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencia y Tecnología, Barrio Sarriena s/n, 48940 Leioa-Bizkaia. nethsarim@hotmail.com Tesis de Máster dirigida por el Profesor José María Bermúdez de Castro. Director y Coordinador del Programa de Paleobiología de Homínidos. Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana, (CENIEH).

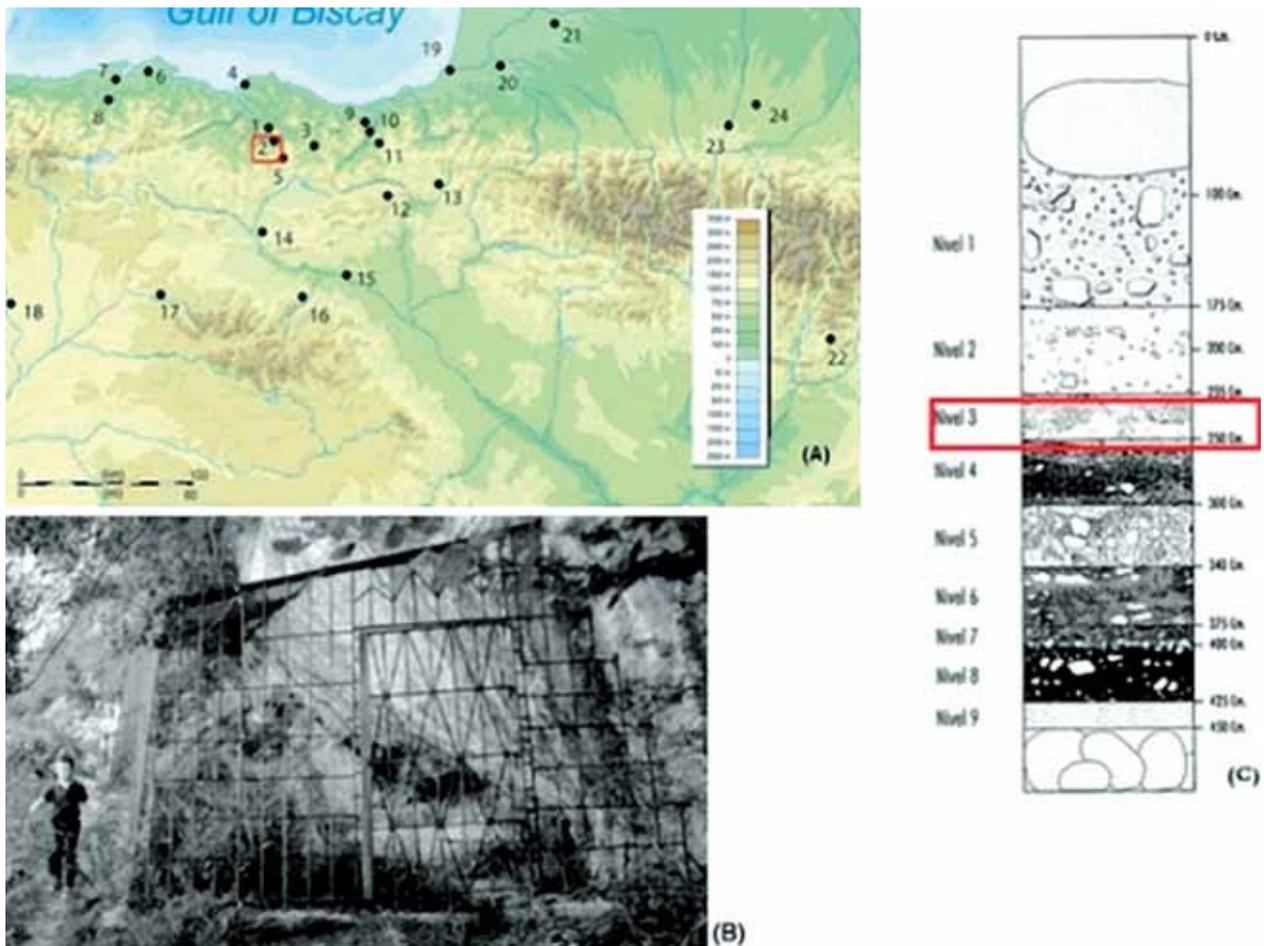


Figura 1. A) Yacimientos Paleolíticos del Pirineo Occidental destacando Axlor (Dima, Vizcaya) [modificada de Ríos Garaizar *et al.*, 2011]. B) Cueva de Axlor [Garikoitz Estornés Zubizarreta, 1989]. C) Corte estratigráfico del yacimiento resaltando el nivel en que se hallaron las piezas dentales [modificada de Baldeón, 1999].  
 Figure 1. A) Palaeolithic sites in the Western Pyrenees emphasizing Axlor (Dima, Biscay) [modified from Ríos Garaizar *et al.*, 2011]. B) Axlor Cove [Garikoitz Estornés Zubizarreta, 1989]. C) Stratigraphic view of the site, emphasizing the level where teeth were found [modified from Baldeón, 1999].

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio anatómico comparado de los dientes humanos hallados en el nivel III del yacimiento (niveles A-C de la secuencia estratigráfica establecida en 2000-2004, partiendo de la información recuperada en dichas campañas, por el equipo coordinado por Jesús González Urquijo, Juan José Ibáñez Estévez y Joseba Ríos Garaizar - Ríos Garaizar *et al.*, 2004-, asociados a industria Musteriense Superior tipo Quina) con muestras dentales tanto de las colecciones obtenidas en los yacimientos de la Sierra de Atapuerca, como de homínidos europeos de yacimientos del Pleistoceno Medio y Superior. Este estudio revisará los caracteres métricos y morfológicos de los dientes humanos de Axlor, a la luz de hallazgos significativos producidos desde el primer estudio descriptivo realizado por José María Basabe en 1973, comprobándose también la reproducibilidad del método y sus resultados.

## 2.- METODOLOGÍA

### 2.1. Muestra dental del yacimiento de Axlor

La muestra original a analizar se componía de cinco piezas dentales permanentes, en apariencia pertenecientes al hemimaxilar izquierdo de un individuo relativamente joven (aproximadamente 20 años de edad; Basabe, 1973) y de sexo indeterminado: canino (C), segundo premolar (P<sup>2</sup>), primer molar (M<sup>1</sup>), segundo molar (M<sup>2</sup>) y tercer molar (M<sup>3</sup>). Basabe (1973) observó que el grado de fosilización de las piezas era avanzado y el M1 aún conservaba un fragmento de la tabla ósea maxilar fosilizada.

Al solicitar al Museo Arqueológico de Bilbao las piezas para efectuar el análisis morfométrico sólo pudo disponerse de tres de ellas: P<sup>2</sup> (Figura 2), M<sup>1</sup> (Figura 3), y M<sup>3</sup> (Figura 4), ya que debido a algún tipo de accidente acontecido hace varios años faltaban C y M<sup>2</sup>. Las tres piezas disponibles estaban sigladas de la siguiente manera:



Figura 2. Segundo premolar hallado en el yacimiento de Axlor. Vistas: A) oclusal, B) distal, C) mesial, D) bucal y E) lingual. La escala utilizada es de 2 cm.

Figure 2. Second premolar found in the Axlor site. Surface views presented: A) occlusal, B) distal, C) mesial, D) buccal and E) lingual. Used ruler measures 2 cm.



Figura 3. Primer molar hallado en el yacimiento de Axlor. Vistas: A) oclusal, B) distal, C) mesial, D) bucal y E) lingual. Escala de 2 cm.

Figure 3. First molar found in the Axlor site. Surface views presented: A) occlusal, B) distal, C) mesial, D) buccal and E) lingual. Used ruler measures 2 cm.



Figura 4. Tercer molar hallado en el yacimiento de Axlor. Vistas: A) oclusal, B) distal y C) bucal. Escala de 2 cm.

Figure 4. Third molar found in the Axlor site. Surface views presented: A) occlusal, B) distal and C) buccal. Used ruler measures 2 cm.

### Axlor A.45

#### Nivel III

#### .3250

P<sup>4</sup>: Ax 13E/13F 265-270.2

M<sup>1</sup>: Ax 13E/13F 265-270.1

M<sup>3</sup>: Ax 13E/13F 265-270.3

Cabría mencionar que la nomenclatura del segundo premolar como P<sup>4</sup> en las siglas de las piezas del Museo se debía a que en la fecha del hallazgo de Axlor aún se consideraban primer y segundo premolar como tercer y cuarto premolar de la fórmula dentaria arcaica 3.1.4.3 (tres incisivos, un canino, cuatro pre-molares y tres molares, descrita en fósiles *-Purgatorius-*).

## 2.2. Muestra comparativa

Debido a restricciones temporales que condicionaron la metodología para el análisis, se utilizaron datos de piezas dentales pertenecientes a la colección de fósiles del Pleistoceno Medio del yacimiento de Sima de los Huesos de la Sierra de Atapuerca (Burgos), así como de muestras de neandertales y de hu-

manos anatómicamente modernos del Pleistoceno Superior estudiadas por **María Martín-Torres (2005, 2011) (Tablas IVa, IVb, IVc).**

Se eligieron estas muestras debido a que tanto humanos modernos como neandertales están relativamente próximos en el espacio y el tiempo a la muestra de Axlor. Además, la morfología y anatomía de estas muestras constituye una herramienta útil para la identificación taxonómica de las piezas estudiadas.

### 2.3. Métodos

La metodología seguida en este trabajo fue similar a la utilizada en 1973 por José María Basabe. Se llevó a cabo un análisis morfométrico de los dientes utilizando calibres manuales y anotándose las características observadas en cada pieza. Este procedimiento sería válido también para comprobar la reproducibilidad del experimento original.

En el estudio anatómico y morfológico se empleó el método descrito por **Turner (1991) y Scott y Turner (1997)**, modificado en parte por **María Martín-Torres (2005).**

La odontometría consistió en la toma de las dimensiones mesiodistal y bucolingual de los dientes de acuerdo con el método descrito por **Bermúdez de Castro (Memoria de Tesis Doctoral, 1985).**

- **Diámetro (dimensión) mesiodistal.** En premolares y molares, distancia entre los puntos de contacto de las piezas.

- **Diámetro (dimensión) bucolingual.** Perpendicular al mesiodistal, distancia máxima entre las convexidades bucales y linguales más acusadas.

## 3- RESULTADOS

Teniendo en cuenta las medidas tomadas por Basabe en 1973 (**Tabla IIIa**), se tomaron las medidas del diámetro bucolingual y el mesiodistal (**Tabla IIIb**) de las piezas disponibles para su comparación.

Los resultados obtenidos muestran bastante similitud y, a pesar del bajo número de muestras disponibles (cinco originales y tres conservadas en el Museo Arqueológico de Bilbao), impidiendo la utilización de herramientas estadísticas (tamaño mínimo muestral para un análisis estadístico fiable, 30 unidades), se observa poca variación entre las medidas originales y las tomadas para el estudio, así como buen ajuste a una regresión lineal demostrando un bajo margen de error entre ambas medidas y un nivel bajo de discrepancias (**Figura 5**).

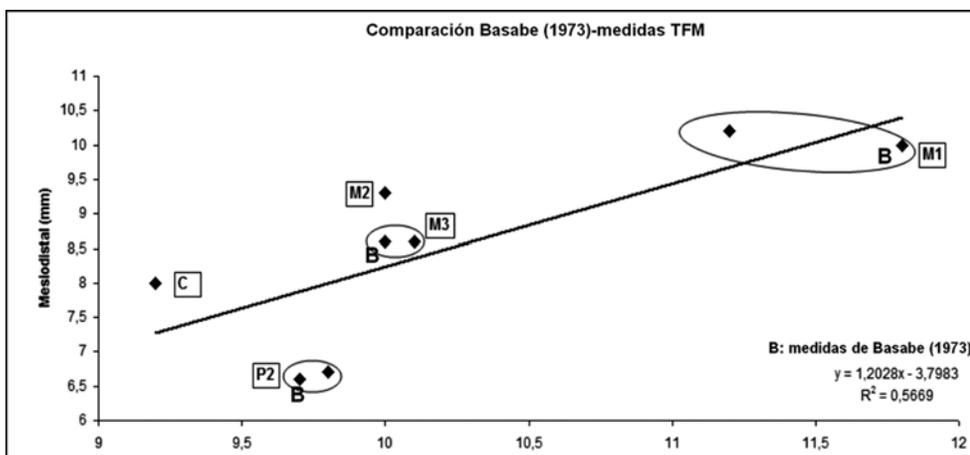


Figura 5. Gráfico de comparación de las medidas de las piezas estudiadas (**Tablas IIIa y IIIb**). En círculos los pares de medidas correspondientes a piezas del Arkeologi Museoa-datos de **Basabe (1973)** y únicamente con la identificación de la pieza los datos de **Basabe (1973)** (C: canino; P2: segundo premolar; M1, M2, M3: molares).

Figure 5. Comparison graphic of studied teeth's measures, shown in **Tables IIIa and IIIb**. Rounded, the coupling of measures of the Archaeologic Museum - **Basabe (1973)** data and only with the teeth label **Basabe (1973)** data (C: canine tooth; P2: second premolar tooth; M1, M2, M3: first, second and third molar).

En cuanto a la morfología y anatomía de las piezas, se observaron las siguientes características (ver también **Tablas I y II**):

- **P<sup>2</sup>** (**Figura 2**). Buen estado de conservación y morfología oval, desgaste mesial y distal interproximal relativamente bajo. En el protocono, bastante grande, el ápice mostraba desplazamiento mesial respecto al paracono,

<b>Cresta bucal esencial.</b> Grado de expresión y posible bifurcación, en P3 y P4.
0. Ausente.
1. Única.
2. Bifurcada.
<b>Cresta lingual esencial.</b> Puntuación igual a la cresta bucal esencial.
<b>Cresta accesoria distal premolar.</b> Cresta entre el ápice dental y la cresta marginal distolingual.
0. Ausente.
1. Presente.
<b>Cresta accesoria mesial premolar.</b> Cresta entre el ápice dental y la cresta marginal mesiolingual.
Puntuación igual a la cresta accesoria distal premolar
<b>Cresta transversal premolar.</b> Cresta transversal conectando las cúspides principales de los premolares.
0. Ausente. Fisura sagital continua.
1. Débil o interrumpida por la fisura sagital.
2. Pronunciada o cresta sagital eliminada.
<b>Metacono.</b> Expresión de esta cúspide.
0. Ausente.
1. Existe una cresta adjunta pero no hay ápice libre.
2. Leve cúspula con ápice libre.
3. Cúspide débil.
4. Metacono grande.
5. Metacono muy grande.
<b>Hipocono.</b> Expresión de esta cúspide.
0. Ausente.
1. Leve cresta.
2. Pequeña cúspula.
3. Pequeña cúspide.
4. Cúspide grande.
5. Cúspide muy grande.
<b>Cúspide 5.</b> Expresión del metacónulo.
0. Ausente.
1. El surco distal que separa hipocono y metacono no aparece.
2. Pequeña cúspula.
3. Pequeña cúspide.
4. Cúspide mediana.
<b>Cresta oblicua.</b> Expresión de una cresta de esmalte conectando protocono y metacono.
0. Ausente o interrumpida.
1. Continua conectando protocono y metacono.
<b>Cresta transversal molar.</b> Cresta conectando la zona mesial del protocono y el paracono.
0. Ausente o interrumpida.
1. Presente o continua.
<b>Complejo de Carabellí.</b> Tubérculo de expresión variable en la superficie lingual del protocono.
0. Zona mesiolingual del protocono lisa.
1. Surco presente.
2. Fosa presente.
3. Pequeña depresión en forma de Y.
4. Depresión en Y grande.
5. Pequeña cúspide sin ápice libre.
6. Cúspide mediana con el ápice en contacto con el surco medial lingual.
7. Cúspide grande libre.
<b>Parastilo.</b> Tubérculo de expresión variable en la superficie bucal del paracono.
0. Superficie bucal de paracono y metacono lisa.
1. Fosa presente en o cerca del surco vestibular entre paracono y metacono.
2. Pequeña cúspide con ápice adjunto.
3. Cúspide mediana con ápice libre.
4. Cúspide grande con ápice libre.
5. Cúspide muy grande con ápice libre.
6. Corona libre con "forma de clavija" unida a la raíz del M3.
<b>Tubérculos accesorios mesial marginales.</b> Tubérculos en la cresta mesial de molares superiores.
0. Ausentes.
1. Presentes.

Tabla 1: Definición y grados de expresión de los rasgos morfológicos dentales analizados en las piezas estudiadas. Modificado de Carlsen (1987), Turner *et al.* (1991), Scott and Turner (1997), y Martín-Torres *et al.* (2011).  
Table 1: Definitions and grades of expression for the dental morphological traits analyzed in studied sample. Modified from Carlsen (1987), Turner *et al.* (1991), Scott and Turner (1997), and Martín-Torres *et al.* (2011).

así como un desgaste del esmalte de grado 2 - 3 (según Molnar, 1971). Se observó un ligero abultamiento en la zona cervical de la cara bucal y que presentaba las raíces fusionadas con hipercementosis apical.

• **M<sup>1</sup> (Figura 3).** La pieza más desgastada de las tres estudiadas, de morfología romboidal-cuadrangular. La cara oclusal parecía muy desgastada, observándose claramente la dentina en las fosas mesial y distal, por lo que en la escala de Molnar (1971) se le atribuiría un grado 4. Mostraba mayor desgaste interproximal que el P<sup>2</sup> y en el fragmento de tabla maxilar se pudo distinguir parte del alvéolo de M<sup>2</sup>. Presentaba hipotaurodontismo entre las raíces bucales, siendo mesioturodontismo entre la raíz lingual y las bucales.

• **M<sup>3</sup> (Figura 4).** La pieza menos deteriorada de las tres estudiadas, de forma triangular - acorazonada. Sin tubérculos accesorios, únicamente se detectó desgaste interproximal mesial. Sin desgaste excesivo del esmalte en la cara oclusal (grado 0 - 1 según Molnar, 1971), mostraba la raíz lingual rota a 3 mm de la base y las bucales aparecían exteriormente fusionadas presentando hipotaurodontismo quedando libre únicamente el tercio apical.

El espesor de la tabla ósea, la inserción radicular y la dimensión de las facetas de contacto, sumadas al elevado desgaste de M<sup>1</sup> indicarían una potente masticación u oclusión.

Característica	Pieza dental		
	P <sup>2</sup>	M <sup>1</sup>	M <sup>3</sup>
Cresta bucal esencial	2	-	-
Cresta lingual esencial	1	-	-
Cresta accesoria distal P	1	-	-
Cresta accesoria mesial P	0	-	-
Cresta transversal P	0	-	-
Metacono	-	4	3
Hipocono	-	1	2
Cúspide 5	-	1	0
Cresta oblicua	-	1	0
Cresta transversal molar	-	Muy degradado	0
Complejo de Carabelli	-	0	0
Parastilo	-	0	0
Tubérculos accesorios marginales	2 distales	Muy degradados	0

Tabla II: Grados de expresión de las diferentes características analizadas en los dientes de Axlor, definidas en la Tabla I. El guión indica ausencia de datos.

Table II: Grades of expression of analysed features in Axlor teeth, defined in Table I. Dash shows data absence.

Medida (mm)	Pieza dental				
	C	P <sup>2</sup>	M <sup>1</sup>	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>
Bucolingual	9,2	9,7	11,8	10	10
Mesiodistal	8	6,6	10	9,3	8,6

Tabla IIIa: Medidas principales de los dientes de Axlor, Basabe (1973).

Table IIIa: Main measures of Axlor teeth, Basabe (1973).

Medida (mm)	Pieza dental			
	P <sup>2</sup>	M <sup>1</sup>	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>
Bucolingual	9,8	11,2		10,1
Mesiodistal	6,7	10,2		8,6

Tabla IIIb: Medidas principales de los dientes de Axlor realizadas para este trabajo.

Table IIIb: Main measures of Axlor teeth made for this paper.

P4	Grado	SH	NEA	SAP
	1	0	0	20 (14.1%)
	2	0	0	69 (48.6%)
	3	1 (5%)	3 (11.1%)	14 (9.9%)
	4	18 (90%)	19 (70.4%)	15 (10.6%)
	5	1 (5%)	5 (18.5%)	4 (2.8%)
<b>Total</b>		20	27	142
Cresta transversal	0	1 (5%)	5 (19.2%)	116 (81.7%)
	1	4 (20%)	3 (11.5%)	14 (9.9%)
	2	15 (75%)	18 (69.2%)	12 (8.5%)
<b>Total</b>		20	26	142
Cresta accesoria mesial	0	16 (100%)	19 (95%)	92 (80%)
	1	0	1 (5%)	23 (20%)
<b>Total</b>		16	20	115
Cresta accesoria distal	0	6 (33.3%)	6 (30%)	87 (77.7%)
	1	12 (66.7%)	14 (70%)	25 (22.3%)
<b>Total</b>		18	20	112

Tabla IVa: Grados de expresión de las características analizadas en P4 de Axlor para una muestra comparativa de dientes de la colección del CENIEH [Modificado de Martínón-Torres (2011)]. SH: Sima de los Huesos; NEA: neandertales; SAP: humano anatómicamente moderno.

Table IVa: Grades of expression of analysed features in Axlor P4 for a comparative sample of teeth from the CENIEH collection [Modified from Martínón-Torres (2011)]. SH: Sima de los Huesos; NEA: Neanderthals; SAP: anatomically modern humans].

M1	Grado	SH	NEA	SAP
Metacono	0	0	0	0
	1	0	0	0
	2	0	0	1 (0.8%)
	3	1 (5.9%)	6 (26.1%)	21 (16.5%)
	4	14 (82.4%)	13 (56.5%)	73 (57.5%)
<b>Total</b>		17	23	127
Hipocono	0	0	0	1 (0.8%)
	1	0	0	0
	2	0	0	2 (1.6%)
	3	1 (5.9%)	1 (4.3%)	11 (8.7%)
	4	5 (29.4%)	10 (43.5%)	58 (45.7%)
<b>Total</b>		17	23	127
C5	0	4 (25%)	1 (4.5%)	44 (35.2%)
	1	3 (18.8%)	4 (18.2%)	29 (23.2%)
	2	3 (18.8%)	10 (45.5%)	37 (29.6%)
	3	4 (25%)	5 (22.7%)	12 (9.6%)
<b>Total</b>		16	22	125
Cresta oblicua	0	0	1 (4.5%)	7 (5.7%)
	1	15 (100%)	21 (95%)	116 (94.3%)
<b>Total</b>		15	22	123
Cresta transversal	0	7 (58.3%)	15 (75%)	43 (54.4%)
	1	5 (41.7%)	5 (25%)	36 (45.6%)
<b>Total</b>		12	20	79
Tubérculos accesorios marginales	0	4 (50%)	7 (36.8%)	51 (65.4%)
	1	4 (50%)	12 (63.2%)	27 (34.6%)
<b>Total</b>		8	19	78
Complejo de Carabelli	0	7 (43.8%)	4 (20%)	91 (73.4%)
	1	9 (56.3%)	6 (30%)	5 (4%)
	2	0	2 (10%)	7 (5.6%)
	3	0	5 (20%)	6 (4.8%)
	4	0	1 (5%)	2 (1.6%)
	5	0	0	3 (2.4%)
	6	0	1 (5%)	5 (4%)
<b>Total</b>		16	20	124
Parastilo	0	12 (70.6%)	14 (70%)	121 (98.4%)
	1	5 (29.4%)	3 (15%)	1 (0.8%)
	2	0	1 (5%)	1 (0.8%)
	3	0	2 (10%)	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
<b>Total</b>		17	20	123

Tabla IVb: Grados de expresión de las características analizadas en M1 de Axlor para una muestra comparativa de dientes de la colección del CENIEH [Modificado de Martínón-Torres (2011)]. SH: Sima de los Huesos; NEA: neandertales; SAP: humano anatómicamente moderno.

Table IVb: Grades of expression of analysed features in Axlor M1 for a comparative sample of teeth from the CENIEH collection [Modified from Martínón-Torres (2011)]. SH: Sima de los Huesos; NEA: Neanderthals; SAP: anatomically modern humans].

M3	Grado	SH	NEA	SAP
Metacono	0	0	0	0
	1	2 (9.5%)	1 (5.6%)	2 (2.2%)
	2	15 (71.4%)	8 (44.4%)	33 (35.5%)
	3	4 (19%)	6 (33.3%)	42 (45.2%)
	4	0	3 (16.7%)	16 (17.2%)
Hipocono	0	0	0	0
	1	12 (57.1%)	3 (17.6%)	15 (16.1%)
	2	8 (38.1%)	3 (17.6%)	18 (19.4%)
	3	1 (4.8%)	9 (52.9%)	41 (44.1%)
	4	0	2 (11.8%)	13 (14%)
C5	0	0	0	0
	1	21 (100%)	6 (35.3%)	63 (67.7%)
	2	0	1 (5.9%)	4 (4.3%)
	3	0	3 (17.6%)	8 (8.6%)
	4	0	2 (11.8%)	12 (12.9%)
Cresta oblicua	0	20 (100%)	12 (70.6%)	66 (74.2%)
	1	0	5 (29.4%)	23 (25.8%)
Cresta transversal	0	19 (95%)	13 (92.9%)	65 (77.4%)
	1	1 (5%)	1 (7.1%)	19 (22.6%)
Tubérculos accesorios marginales	0	4 (21.1%)	2 (14.3%)	29 (35.8%)
	1	15 (78.9%)	12 (85.7%)	52 (64.2%)
Complejo de Carabelli	0	17 (81%)	12 (80%)	68 (76.4%)
	1	1 (4.8%)	0	6 (6.7%)
	2	0	1 (6.7%)	3 (3.4%)
	3	1 (4.8%)	1 (6.7%)	1 (1.1%)
	4	2 (9.5%)	0	3 (3.4%)
	5	0	0	3 (3.4%)
	6	0	0	4 (4.5%)
	7	0	1 (6.7%)	1 (1.1%)
Parastilo	0	20 (95.2%)	14 (87.5%)	81 (92%)
	1	0	1 (6.3%)	3 (3.4%)
	2	0	1 (6.3%)	0
	3	1 (4.8%)	0	0
	4	0	0	2 (2.3%)
	5	0	0	0 (1.1%)
	6	0	0	1 (1.1%)
Total	21	15	89	
Total	21	16	88	

Tabla IVb: Grados de expresión de las características analizadas en M1 de Axlor para una muestra comparativa de dientes de la colección del CENIEH [Modificado de Martínón-Torres (2011)]. SH: Sima de los Huesos; NEA: neandertales; SAP: humano anatómicamente moderno.

Table IVb: Grades of expression of analysed features in Axlor M1 for a comparative sample of teeth from the CENIEH collection [Modified from Martínón-Torres (2011)]. SH: Sima de los Huesos; NEA: Neanderthals; SAP: anatomically modern humans].

Las tres piezas presentaban en común desgaste en sentido mesiodistal, leves inclusiones del esmalte en las zonas de bifurcación de la corona y fisuras en el esmalte por efectos de la oclusión. Se apreciaron fisuras en el cemento de la raíz de las tres piezas, en el caso de la raíz lingual del M<sup>1</sup> dispuestas de tal modo que parecían marcar planos de una futura fractura en esa zona.

En vista de que las facetas de contacto interproximales distales del segundo premolar coinciden con las facetas interproximales mesiales del primer molar, estas piezas pueden adjudicarse a un mismo individuo.

#### 4.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Atendiendo a las medidas obtenidas, las observaciones morfológicas anotadas y lo especificado en la bibliografía consultada (Basabe, 1973; Bermúdez de Castro, 1985; García-Bour, 1997; Rodríguez Cuenca, 2003; Martínón-Torres, 2005 y 2011), puede concluirse que los dientes de Axlor serían atribuibles a *Homo neanderthalensis* y que el procedimiento de José María Basabe (1973) continúa siendo válido para la diferenciación métrica de piezas dentales de diferentes homínidos.

La principal razón que lleva a esta conclusión es que las medidas realizadas a estas piezas dentales, tanto del diámetro mesiodistal como del bucolingual, las sitúa más cercanas a neandertales que a los humanos anatómicamente modernos, si los comparamos con otras muestras dentales correspondientes a estos homínidos y a una muestra outgroup como la correspondiente al yacimiento de Sima de los Huesos (Atapuerca) (Tabla V y Figura 6).

En comparación a una combinación de medidas de dientes neandertales de Rodríguez Cuenca (2003) y García-Bour (1997), los dientes de Axlor presentan los diámetros mesiodistal y bucolingual li-

Pieza dental	Sima de los Huesos		<i>Homo neanderthalensis</i>		Axlor		<i>Homo sapiens</i>	
	Mesiodistal	Bucolingual	Mesiodistal	Bucolingual	Mesiodistal	Bucolingual	Mesiodistal	Bucolingual
C	8,75±0,38	9,88±0,52	8,26	9,43	8	9,2	7,06	7,95
P4	7,55±0,53	10,27±0,65	7,58	9,76	6,7	9,8	6,54	8,72
M1	11,05±0,68	11,5±0,62	11,64	11,5	10	11,8	10,5	10,84
M2	9,94±0,94	12,18±0,73	11,38	11,85	9,3	10	9,89	10,65
M3	8,62±0,6	11,46±0,92	10,58	11,92	8,6	10	9,52	10,14

Tabla V: Comparación de las medidas analizadas en las piezas dentales de Axlor con otras muestras de dientes: Sima de los Huesos de la colección del CENIEH [Modificado de Martínón-Torres (2011)] y el promedio de las medidas de piezas de *Homo neanderthalensis* y *Homo sapiens* neolítico [Modificado de Rodríguez Cuenca (2003) y García-Bour (1997)].

Table V: Comparison of analysed measures in Axlor teeth with other teeth samples: Sima de los Huesos from the CENIEH collection [Modified from Martínón-Torres (2011)] and the mean of *Homo neanderthalensis* and Neolithic *Homo sapiens* teeth measures [Modified from Rodríguez Cuenca (2003) and García-Bour (1997)].

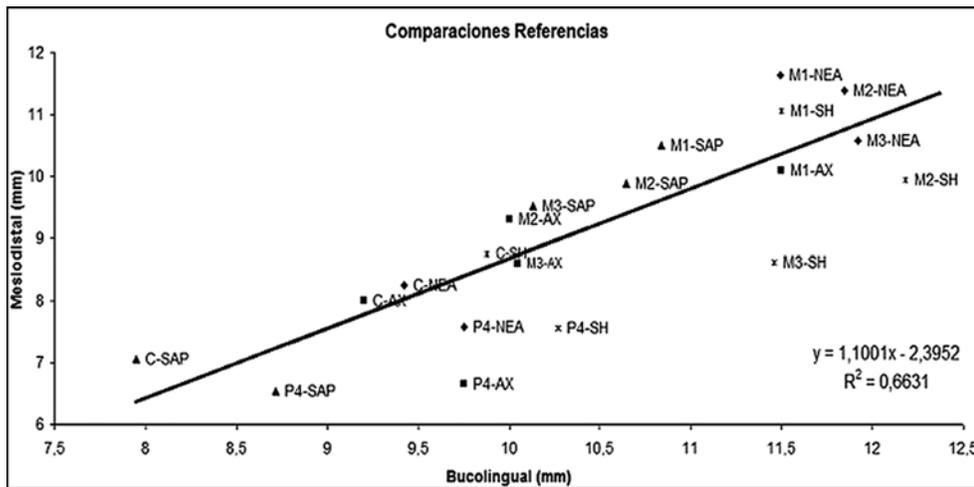


Figura 6. Gráfico de comparación de las medidas de las piezas estudiadas con los datos de referencia de Martín-Torres (2005), García-Bour (1997) y Rodríguez Cuenca (2003) adjuntados en la Tabla V. (C: canino; P4: segundo premolar; M1, M2, M3: molares; NEA: neandertal, AX: Axlor, SAP: humano anatómicamente moderno, SH: Sima de los Huesos).  
Figure 6. Comparison graphic showing studied teeth's measures and reference data from Martín-Torres (2005), García-Bour (1997) and Rodríguez Cuenca (2003) shown in Table V. (C: canine; P4: second premolar; M1, M2, M3: first, second and third molars; NEA: Neanderthals, AX: Axlor, SAP: anatomically modern human, SH: Sima de los Huesos site).

geramente inferiores a la media combinada de datos salvo en el diámetro bucolingual de M1, superior a la misma.

Al comparar con las medias combinadas de humanos modernos (neolítico), se observa una tendencia inversa, es decir, las medidas de los dientes de Axlor son superiores a las de la muestra de humanos modernos.

Las diferencias observadas para el

diámetro bucolingual del M1 entre el trabajo de José María Basabe y el presente se deben a discrepancias metodológicas ya que Basabe (1973) parece emplear la máxima distancia posible entre las caras lingual y bucal. Así mismo, las diferencias respecto a la bibliografía se deben a que el tamaño muestral es muy superior al empleado en este trabajo.

Otro aspecto que lleva a la conclusión de que se trata de dientes pertenecientes a *Homo neanderthalensis* es el taurodontismo de los molares, típico de este grupo, y las diferencias morfológicas apreciadas con las piezas de poblaciones modernas (material cedido por Concepción de la Rúa Vaca). Como es sabido, los dientes de humanos anatómicamente modernos son relativamente menores en tamaño y carecen de taurodontismo, aunque morfológicamente se diferencian en detalles como la ausencia de crestas accesorias en los premolares y de tubérculos adicionales (cúspide 5, tubérculo de Carabelli o parastilo) en los molares en gran parte de las muestras conocidas, así como en que los caninos de neandertal tienen mayores diámetro bucolingual y convexidad de la cara labial (bucal).

## 5.- AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi gratitud al Doctor José María Bermúdez de Castro, Director y Coordinador del Programa de Paleobiología de Hominidos en el grupo de Antropología Dental del CENIEH, director de este trabajo, por brindarme la oportunidad de ampliar conocimientos en el área de Antropología mediante la realización de esta Tesis Máster, por su paciencia y apoyo en los momentos que he dudado y al proporcionarme material bibliográfico.

Mostrar también mi reconocimiento a la Doctora María Martín-Torres, Responsable del Grupo de Investigación de Antropología Dental del CENIEH, su ayuda y apoyo técnico en la toma de medidas y la descripción inicial de los dientes estudiados en este trabajo, así como por el material bibliográfico cedido.

Agradecer la colaboración del Director del Museo Arqueológico de Bilbao, Iñaki García Camino, por ceder las piezas estudiadas y las instalaciones necesarias para el estudio, y de Joseba Ríos Garaizar por su generosidad al ceder parte de la bibliografía utilizada en este proyecto.

Por último, agradecer a la Catedrática del Departamento de Genética, Antropología Física y Fisiología Animal de la Facultad de Ciencia y Tecnología de Leioa Concepción de la Rúa Vaca los conocimientos adquiridos durante su docencia en Antropología Física y Fundamentos de Biología Aplicada a Antropología de la Licenciatura de Biología, sin los que habría sido incapaz de llevar a cabo este trabajo, y la cesión de material de apoyo.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

ALTUNA, J.

- 1980 a. Fauna de Axlor. Campaña de 1969. En BARANDIARÁN, J. M. *Excavaciones en Axlor. Campaña de 1969. Obras Completas XVII*. 219-225. La Gran Enciclopedia Vasca. Bilbao.  
 b. Fauna de Axlor. Campaña de 1971. En BARANDIARÁN, J. M. *Excavaciones en Axlor. Campaña de 1971. Obras Completas XVII*. 273-279. La Gran Enciclopedia Vasca. Bilbao.

BALDEÓN, A.

- 1999 *El abrigo de Axlor (Bizkaia, País Vasco). Las industrias líticas de sus niveles Musterienses*. MUNIBE (Antropología-Arkeologia), nº 51, pp. 9-121.

BASABE, J. M.

- 1973 *Dientes humanos del Musteriense de Axlor (Dima, Vizcaya)*. Trabajos de Antropología, nº 4, pp. 187-207, vol. 16.

BERMÚDEZ DE CASTRO J.M.

- 1985 *La dentición de los pobladores prehistóricos de las Islas Canarias. Estudio antropológico*. Memoria de Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

CARLSEN, O.

- 1987 *Dental Morphology*. Munksgaard, Copenhagen.

GARCÍA-BOUR *et al.*

- 1997 *Evolución de la dentición en la transición :mesolítico-neolítico de la península ibérica: un modelo de sustitución poblacional*. Anales de Odontostomatología, 3, 116-121.

GONZÁLEZ, J.; IBÁÑEZ, J. J.; RÍOS, J.; BOURGUIGNON, L.; CASTAÑOS, P.; TARRIÑO, A.

- 2005 *Excavaciones recientes en Axlor. Movilidad y planificación de actividades en grupos de neandertales*. Museo de Altamira. MONOGRAFÍAS nº 20: pp. 527-539.

MARTINÓN-TORRES, M.

- 2005 *Evolución del aparato dental de los homínidos. Estudio de los dientes humanos de los yacimientos pleistocénicos de Atapuerca*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

MARTINÓN-TORRES, M.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M.; GÓMEZ-ROBLES, A.; PRADO-SIMÓN, L. & ARSUAGA J. L.

- 2011 Morphological description and comparison of the dental remains from Atapuerca-Sima de los Huesos site (Spain). *Journal of Human Evolution*, 1-52. doi:10.1016/j.jhevol.2011.08.007.

MOLNAR, S.

- 1971 *Human tooth wear, tooth function and cultural variability*. American Journal of Physical Anthropology 34, 175-190.

MOZOTA HOLGUERAS, M.

- 2007 *El hueso como materia prima: Las industrias óseas del final del Musteriense en la Región Cantábrica. Los niveles B-C-D de Axlor (Dima, Bizkaia)*. Trabajo de Investigación de Tercer Ciclo. Departamento de Ciencias Históricas. Universidad de Cantabria

RÍOS-GARAIZAR, JOSEBA; GONZÁLEZ, JESÚS; IBÁÑEZ, JUAN JOSÉ.

- a. 2003 La excavación en Axlor. *Las formas de vida de los últimos neandertales*. Boletín nº5, 62-83. Sociedad Española De Espeleología y Ciencias Del Karst.  
 b. 2004 *Excavación arqueológica en el yacimiento de Axlor (Dima, Bizkaia). Memoria de excavación*.

RÍOS-GARAIZAR, J.; GÁRATE, D.; GÓMEZ-OLIVENCIA, A.; IRIARTE-AVILÉS, E.; ARANBURU-ARTANO, A.; ARCERDILLO-ALONSO, D.; GARCÍA, A.; IRIARTE-CHIAPUSSO, M. J.; MORENO, J.; MURELAGA, X.; ORTÍZ, J. E.; TORRES, T.; SAN PEDRO-CALLEJA, Z. & ZAPATA-PEÑA, L.

- 2011 *The Lower to Middle Palaeolithic transition in northern Iberia: new data from Arlanpe Cave*. Antiquity, Volume 085 Issue 329 September.

RODRÍGUEZ CUENCA, J.V.

2003 *Dientes y diversidad humana: avances de la antropología dental*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

SCOTT, G.R., TURNER II, C.G.

1997 *The Anthropology of Modern Human Teeth: Dental Morphology and Its Variation in Recent Human Populations*. University Press, Cambridge.

TURNER II, C.G., NICHOL, C.R., SCOTT, G.R.,

1991 Scoring procedures for key morphological traits of the permanent dentition: the Arizona State University dental anthropology system. In: KELLEY, M., LARSEN, C. (Eds.), *Advances in Dental Anthropology*. Wiley-Liss, New York, pp. 13-31.

# Definición tecno-tipológica y funcional de las laminillas Dufour: el caso de los niveles IX y VIII del Sector Central del Abrigo de La Viña (La Manzaneda, Oviedo, Asturias)

## Techno-typological and functional definition of Dufour bladelets: the case of levels IX and VIII from Central Area in La Viña Rock Shelter (La Manzaneda, Oviedo, Asturias)

**PALABRAS CLAVES:** Paleolítico Superior, Auriñaciense, tecnología, tipología, traceología, laminillas *Dufour*, abrigo de La Viña.  
**KEY WORDS:** Upper Palaeolithic, Aurignacian, technology, typology, traceology, Dufour bladetes, La Viña Rock Shelter.

Paloma SUÁREZ FERRUELO<sup>(1)</sup>

### RESUMEN

En los últimos años han proliferado los trabajos de investigación centrados en el papel desempeñado por la producción de soportes laminares y microlaminares en las primeras fases del Paleolítico superior, dada su presencia mayoritaria en los conjuntos líticos adscritos a este período. De forma paralela, el interés también se ha centrado en conocer la función de algunos elementos característicos, como las laminillas Dufour y su asociación estratigráfica con las piezas carenadas. En dicho contexto se inserta este trabajo, en el cual se presentan los resultados del análisis tecno-tipológico y funcional de un lote de materiales procedentes de los niveles auriñacienses IX y VIII del Sector Central del Abrigo de La Viña (La Manzaneda, Oviedo, Asturias), que ha revelado la existencia de patrones de estandarización en la producción de soportes microlaminares normalizados en cuanto a la morfología, tipometría de los soportes y los talones. Estos soportes se seleccionan para la elaboración de laminillas Dufour, algunas de las cuales fueron empleadas como elementos de proyectil emangados, tal y como se desprende de los datos obtenidos del análisis funcional.

### ABSTRACT

It became important, in the last years, the increase of research about the role played by the laminar and microlaminar blanks in the first times of Upper Palaeolithic, because of its majority in the lithic collections of that period. Concurrently, the analysis has focused in knowing the function of some characteristic artefacts, like the Dufour bladelets, and its stratigraphic association with carinated pieces. In that context where we include this work, in which we present the techno-typological and functional results of a set of materials from the aurignacian levels IX and VIII of the Central Area of La Viña Rock Shelter (La Manzaneda, Oviedo, Asturias); that shows the presence of standardised patterns in the production of normalised microlaminar blanks relating the morphology, blank tipometry and the butts. Those items are selected for the Dufour bladelets manufacture, some of which were employed as haft projectiles in accordance with the functional analysis.

## 1.- INTRODUCCIÓN. Cuestiones previas

El Auriñaciense es un tecno-complejo extensamente difundido por el continente europeo desde el 42.000-35.000 BP según las fechas obtenidas en los últimos años a partir de la datación por 14C AMS. Su rápida difusión, tradicionalmente considerada obra de los primeros *Homo sapiens sapiens* llegados desde el continente africano, se relaciona con la apertura geográfica del territorio propiciada por las condiciones climáticas favorables del OIS 3. Se caracteriza por la introducción de importantes innovaciones en las formas de vida (economía especializada), las técnicas (industrias líticas leptolíticas, caracterizadas por la presencia de raspadores, buriles, truncaturas y algunos tipos sumamente característicos como las laminillas Dufour), la generalización de las industrias en hueso, asta y marfil, la expresión gráfica parietal y mobiliario, y los rituales (DJINDJIAN *et al.*, 1999).

En el caso concreto de la Península Ibérica, los trabajos llevados a cabo en numerosos yacimientos han planteado la existencia de marcadas diferencias entre la zona cantábrica y la mediterránea, y han

<sup>(1)</sup> Área de Prehistoria, Departamento de Historia, Universidad de Oviedo. Calle Teniente Alfonso Martínez s/n 33011, Oviedo • Email: psuarez.ferruelo@gmail.com

Directores: Ignacio Barandiarán Maestu (Universidad del País Vasco- uph/ehu) y Marco de la Rasilla Vives (Universidad de Oviedo).

puesto de manifiesto una distribución irregular de los yacimientos en el conjunto del territorio. En este sentido, la Cornisa Cantábrica se constituye como un ámbito de referencia para el estudio de este periodo, gracias a una concentración excepcional de yacimientos con niveles adscritos a esta etapa, algunos de los cuales presentan secuencias completas del Paleolítico Superior, entre los que se cuenta el abrigo de La Viña, que han permitido formular una buena definición tecno-tipológica a partir de los materiales estudiados procedentes de los yacimientos de El Castillo, Cueva Morín, Covalejos, Labeko Koba, Hornos de la Peña, El Otero, El Cierro y Cofresnedo (CABRERA *et al.*, 2004; BERNALDO DE QUIRÓS *et al.*, 2008), trasladando, matizado, el modelo francés.

### 1.1 Contexto arqueológico

Situado en la localidad asturiana de La Manzaneda (a escasos 7 km de Oviedo), el abrigo de La Viña se abre a unos 100 m. en un frente calizo (formación Caliza de Montaña edad Viseense-Namuriense, Carbonífero), sobre la margen derecha del río Nalón, dominando el amplio valle gracias a la posición privilegiada que le confiere una orientación sur-sureste. Las coordenadas UTM (Huso 30) del yacimiento son X= 270842.24 e Y= 4799686.24 Z = 350 m.s.n.m Las investigaciones llevadas a cabo entre 1980 y 1996 bajo la dirección de J. Fortea han permitido poner en evidencia la existencia de una intensa y prolongada ocupación, con niveles arqueológicos que abarcan desde el Musteriense hasta el Holoceno y una estratigrafía parietal de grabados adscritos a dos ciclos sucesivos: auriñaciense y graveto-solutrense (FORTEA, 1981).

Se trata de un abrigo de grandes dimensiones (~ 225 m<sup>2</sup> de superficie y 30 m de longitud). El Sector Central, situado en la parte media del abrigo fue escogido para iniciar las intervenciones arqueológicas por ser el lugar en el que la superficie potencialmente excavable alcanzaba mayor cota, así como por estar en conexión con uno de los testigos adosados a la pared. De esta forma se procedió al establecimiento de un corte de referencia en la banda de cuadros desde B14 a G14, éste último adosado a dicho testigo y a la pared en la que se encuentran algunos de los grabados que aparecieron cubiertos por la estratigrafía (Figura 1).

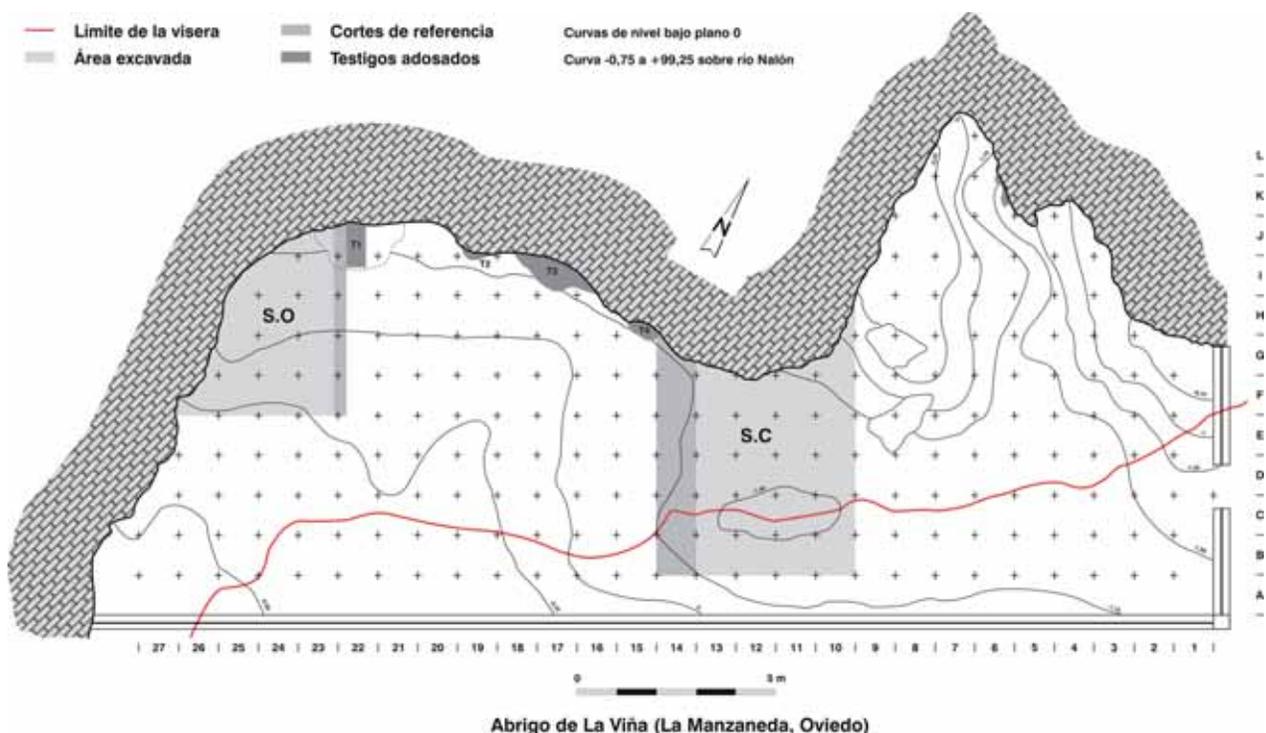


Figura 1. Planta general del Abrigo de La Viña.  
Figure 1. General plan of La Viña Rock Shelter.

La descripción estratigráfica y cultural de los niveles que nos ocupan fue establecida por J. Fortea y M. Hoyos de la siguiente manera (FORTEA, 1990, 1992, 1995, 1999) (Figura 2):

**Nivel VII:** es un lecho de bloques caídos representado únicamente en la zona externa del abrigo, los cuales se corresponden con el último retroceso de la visera del abrigo y su matriz escasa procede mayoritariamente de la percolación del nivel superior.

**Nivel VIII (Auriñaciense):** compuesto por una matriz de arcillas de color marrón rojizo que engloban gravillas y cantos pequeños con estratificación masiva y muy compacta, con algunas subdivisiones: el nivel **VIIIa** se caracteriza por la presencia de algunos cantos y bloques englobados en una matriz roja y estratificación masiva; el **VIIIb** por arcillas arenosas rojizas con algún canto disperso y restos antrópicos, particularmente una delgada capa negra que abarca G y F14, se lamina y acuña en E14 y no llega a D, con estratificación masiva; y el **VIIIc**, formado por arcillas rojizas similares a las del nivel anterior, que se enriquecen en cantos hacia la pared, estratificación masiva, sin ordenamiento interno y más compacto que los anteriores, con cementaciones locales por carbonatos.

**Nivel IX (Auriñaciense):** formado por arcillas arenosas rojizas de un color un tanto más claras que las del nivel anterior, masivas y compactas. Se ha reconocido una unidad inferior denominada **IX inferior**, pues hacia la base el nivel se vuelve más rico en cantos de caliza que aparecen dispersos entre la matriz y alterados.

**Nivel X (Paleolítico Superior inicial indeterminado):** presenta una matriz de arcillas arenosas de color amarillento que aparecen depositadas en la roca madre encajante del abrigo, rellenando las pequeñas vaguadas que forma el sustrato calizo. En la zona cubierta en la que se documenta este nivel sirve para marcar el nivel de base.

**Nivel XI:** se corresponde con el fondo calizo del abrigo en los cuadros descubiertos por la visera.

Es preciso señalar que para estos niveles del Sector Central no existen dataciones, y del Sector Occidental contamos con una de  $36.500 \pm 750$  BP para el nivel XIII (FORTEA, 1995), si bien recientemente el ORAU de la Universidad de Oxford ha realizado un conjunto de dataciones que de momento permanecen inéditas.

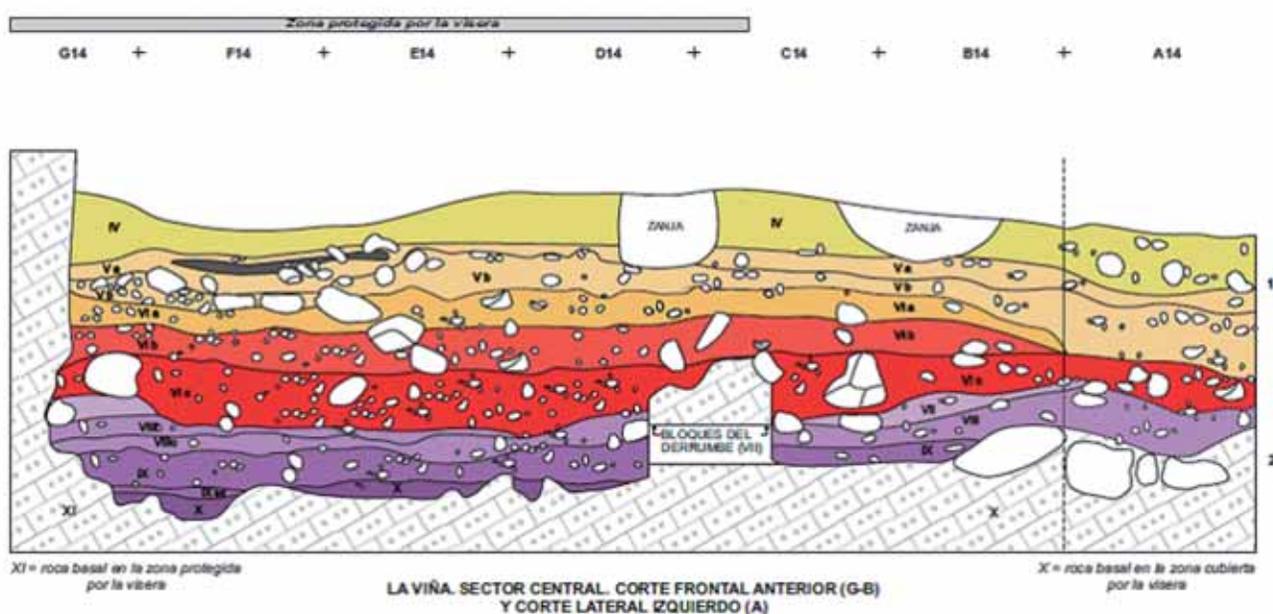


Figura 2. Corte estratigráfico del Sector Central del Abrigo de La Viña (Dibujo: Efrén Rodríguez).  
Figure 2. Stratigraphic section of the Central Area in La Viña rock shelter (Drawing: Efrén Rodríguez).

## 1.2 Objetivos

El presente trabajo tiene dos objetivos fundamentales. El primero de ellos es la definición tecno- tipológica de las laminillas Dufour en el marco de los esquemas de producción microlaminar adscritos al Auriñaciense, con el fin de discernir la existencia de elementos específicos en este tipo de piezas, relacionados con la selección de materias primas para su elaboración, la morfometría de los soportes, patrones de fragmentación, lateralización del retoque, morfometría de los talones, etc. El segundo de ellos se basa en un análisis funcional o de huellas de uso en las laminillas Dufour para tratar de validar o refutar la hipótesis de su posible uso como elementos de proyectil enmangados.

## 1.3 Antecedentes

Dada la relevante entidad cualitativa y cuantitativa que alcanzan las producciones laminares y microlaminares en el equipamiento lítico durante el Paleolítico superior inicial, numerosos trabajos recientes se han centrado en cuestiones relativas a su variabilidad a lo largo de las diferentes fases del Auriñaciense (LE BRUN-RICALENS *et al.*, 2005); así como en cuestiones específicas relativas a la tecnología, tipología y funcionalidad de las laminillas Dufour. En esta línea se pueden citar las investigaciones llevadas a cabo en varias colecciones auriñacienses procedentes de yacimientos como Le Flageolet I (LUCAS, 1997; HAYS & LUCAS, 2001), Abri Pataud (CHIOTTI, 2000, 2003), Brassempouy (O' FARRELL, 2005), Isturitz (NORMAND *et al.*, 2008), Fumane (BROGLIO *et al.*, 2005), Paglicci (BORGIA & RANALDO, 2009), Kozarnica y Yakteh (TSANOVA *et al.*, 2011), etc.

Las laminillas Dufour fueron identificadas por J. Bouyssonie en 1923 en el yacimiento de Bos del Ser (Corrèze) denominándolas inicialmente como "*lamelle de Bos del Ser*" (BOUYSSONIE, 1923); pero no las describió hasta 1944 a partir de los trabajos desarrollados en la Grotte Dufour (Corrèze), como "*une lamelle étroite à fine retouche marginale semi- abrupte, souvent alterne et parfois pratiquée sur un seul bord ou revers*" (BOUYSSONIE, 1944).

Esta primera definición, basada en la morfología del soporte, así como en la profundidad y posición del retoque fue ampliada unos años más tarde por Sonnevile- Bordes y Perrot, aludiendo a una morfología del perfil frecuentemente curvo<sup>1</sup>. Al mismo tiempo G. Laplace situó las laminillas Dufour directamente en el grupo de las "*lames à dos marginale*", y posteriormente fue el primero en insistir acerca de la importante presencia de estas piezas en una fase anterior al Auriñaciense que bautizó como Protoauriñaciense (LAPLACE, 1966) y que ha sido ampliamente documentada en yacimientos como La Viña (SANTAMARÍA, 2012) L'Arbreda, Labeko Koba, Cueva Morín, Isturitz, Gatzarria, Esquicho- Grapau, Fumane, Grotte du Renne, Krems Hundsteig, Tincova, Kozarnica, etc. (OTTE, 2010).

A finales de los años sesenta del siglo pasado, F. Bordes introdujo en su propuesta de definición la hipótesis de que los soportes seleccionados para la confección de este tipo de piezas fueran producto de la explotación de los raspadores carenados, una cuestión que ha sido ampliamente estudiada y corroborada en los últimos años en diversos trabajos. Contrariamente a las propuestas anteriores, en su definición únicamente se incluyen las piezas que presentan una morfología del perfil torcido y retoque alterno en los dos bordes<sup>2</sup>.

Más recientemente, autores como DEMARS y LAURENT (1992), han llegado a diferenciar dos tipos de laminillas Dufour, en función de la morfología del perfil y la tipometría del soporte, distinguiendo entre el subtipo *Dufour*, elaborado sobre laminilla de perfil curvo cuya longitud varía en general entre 30 y 45 mm. y el subtipo *Roc de Combe*, confeccionado sobre laminilla de perfil torcido cuya longitud varía en general entre 15 y 20 mm.

<sup>1</sup> SONNEVILLE- BORDES Y PERROT (1956: 554): "*lamelle à profil normalement incurvé, présentant des fines retouches marginales continues semi-abruptes, soit exclusivement sur l'un des bords de l'une des faces, dorsale ou ventrale, soit sur les deux bords, et, dans ce cas-là, disposées de façon alterne*".

<sup>2</sup> F. BORDES (1968): "*le terme de lamelle Dufour devrait être réservé à des petites lamelles torsées, habituellement déchets de taille de grattoirs carénés, qui portent une retouche semi- abrupte alterne sur leurs deux bords: une directe, partant du ventre de la lamelle, une inverse, partant du dos de la lamelle*".

Inicialmente estas piezas fueron consideradas el fósil director del Perigordense II de D. Peyrony, dado que en el yacimiento de *Bos del Ser* habían aparecido junto a raspadores auriñacienses y cuchillos de Châtelperron, pero, tras probarse que esos niveles eran resultado de una mezcla pasaron a considerarse como piezas específicas del Auriñaciense, más concretamente el subtipo *Dufour* se asocia a las primeras fases de este tecno-complejo y el subtipo *Roc de Combe* a los momentos más evolucionados (DEMARS & LAURENT, 1992).

En nuestro caso han sido clasificadas como laminillas Dufour todas aquellas piezas elaboradas a partir de soportes microlaminares que presentan un retoque continuo marginal semiabrupto, ya sea éste alterno o practicado exclusivamente sobre uno de los dos bordes, independientemente de cuál sea la morfología del perfil, al no considerar que este último rasgo sea determinante.

## 2.- MATERIALES Y MÉTODO

Para la caracterización tecno-tipológica de las laminillas Dufour se ha realizado de forma paralela el análisis de los restos de talla microlaminares procedentes de ambos niveles. Debido al volumen ingente de objetos líticos que fueron recuperados en el yacimiento, se ha llevado a cabo la selección, para un estudio pormenorizado, de una muestra escogida mediante un sistema de números aleatorios a partir de los cuales ha sido analizado el material procedente de un subcuadro, dentro de cada cuadro, capa y nivel. Es preciso matizar que los soportes laminares se han diferenciado del resto de acuerdo con los criterios tipométricos ampliamente extendidos en la bibliografía (MERINO, 1980), según los cuales una lámina ha de tener una longitud mayor que el doble de su anchura, siendo ésta mayor de 12 mm, mientras que en las laminillas la anchura ha de ser inferior a 12 mm. Por su parte los núcleos y los útiles elaborados sobre soportes laminares han sido estudiados en su totalidad.

En líneas generales la metodología aplicada para el análisis de los restos líticos se articula en torno a siete apartados que aportan información acerca de los siguientes aspectos del registro:

**1. Materias primas:** se han identificado dos variedades de sílex local, uno cenozoico (Piloña) y otro neógeno (Piedramuelle), el sílex Flysch de Kurtxia, así como cuarcita y cristal de roca.

**2. Tecnología:** este apartado incluye la clasificación morfológica de los soportes y la tipometría de los talones.

**3. Tafonomía:** para valorar el estado de conservación de la muestra se ha procedido a la clasificación de los soportes incompletos según las categorías de fractura propuestas por Hiscock (2002), al mismo tiempo que se han identificado algunos tipos de fractura específicos siguiendo los estudios funcionales llevados a cabo por O'FARRELL (2005) en las laminillas auriñacienses y las puntas de la Gravette, las cuales pueden tener un posible uso como elementos de proyectil.

**4. Tipometría:** debido al elevado índice de fragmentación de la muestra únicamente ha sido posible abordar de forma tentativa este apartado. Se han medido la longitud, anchura y espesor máximo de todas las piezas que se han conservado completas o con fracturas marginales y en el caso de las laminillas Dufour se ha medido la anchura y el espesor de todos los fragmentos.

**5. Tipología:** el conjunto de útiles o soportes retocados ha sido clasificado inicialmente en función de la lista tipológica de SONNEVILLE- BORDES Y PERROT (1954, 1955, 1956, 1956bis) y posteriormente se han compilado según grupos tipológicos.

**6. Traceología:** el estudio funcional o de huellas de uso en las laminillas Dufour se ha podido llevar a cabo gracias a la realización de una estancia de investigación en el Departamento de Ciencias de la Antigüedad de la Universidad de Zaragoza, bajo la supervisión del Dr. Carlos Mazo. Para identificar la presencia de micropulidos, estrías, redondeamientos, esquirlamientos, huellas tecnológicas y restos de ocre se han empleado microscopios ópticos Nikon Optiphot, AFX- II A y Nikon Eclipse 50 i (hasta 500 aumentos), y lupas binoculares Intralux 5000- 1 y Nikon SMZ- 10 con oculares 10x y un objetivo de 0,66x a 4x. La documentación de las mismas se ha llevado a cabo con una cámara fotográfica Nikon Fx- 35. Es preciso señalar que por el momento no se han realizado test experimentales que permitan validar los datos, dado que dicha actividad se llevará a cabo en el futuro en el marco de un proyecto en curso en la Universidad de Oviedo.

**7. Estudio de los núcleos:** este tipo de piezas han sido clasificadas desde un punto de vista tecno-tipológico en función de diversas categorías:

- **Núcleo discoide:** dentro de este grupo se distingue entre núcleos discoides unificiales y bifaciales.
- **Núcleo microlaminar mixto** (raspador y buril).
- **Núcleo piramidal.**
- **Núcleo prismático:** dentro de este grupo se distinguen diferentes variedades (Pelegrin, 1995):
  1. Con un plano de percusión.
  2. Con dos planos de percusión:
    - \* Dos planos de percusión opuestos alternos, con dos superficies de lascado independientes.
    - \* Dos planos de percusión adyacentes y superficies de lascado convergentes.
    - \* Dos planos de percusión adyacentes y superficies de lascado ortogonales.

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Siguiendo el procedimiento de selección mencionado en el apartado anterior se ha llevado a cabo el estudio, para el nivel IX, de 262 restos de talla microlaminares, 159 útiles (111 sobre lámina y 48 sobre laminilla) y 135 núcleos, mientras que del nivel VIII, mucho más discreto en volumen de efectivos, se han estudiado 98 restos de talla microlaminares, 55 útiles (17 sobre lámina y 38 sobre laminilla) y 46 núcleos.

Entre los materiales líticos retocados de ambos niveles predominan las láminas y laminillas con retoque simple (IX= 64, VIII=25), seguidas de los raspadores (IX= 15; VIII= 4), buriles (IX= 9; VIII= 4), elementos de dorso (IX= 15; VIII= 3), truncaturas (IX= 12; VIII= 3), escotaduras (IX= 14; VIII= 3), láminas auriñacienses (IX= 2; VIII= 1), laminillas Dufour (IX= 13; VIII= 12)<sup>3</sup> (Láminas 1 y 2), útiles compuestos (IX= 9), denticulados (IX= 4) y piezas astilladas (IX= 2).

#### 3.1 La producción de láminas y laminillas: estudio tecno- tipológico de los núcleos

El conjunto de núcleos que han sido objeto de estudio pone de manifiesto la existencia de una dinámica de obtención de los soportes laminares y microlaminares diferente en ambos niveles.

En el nivel IX se ha podido identificar una producción de estos soportes a partir de dos esquemas operativos mayoritarios bien diferenciados, los raspadores carenados (n= 58) y los núcleos prismáticos unipolares y bipolares (n= 30). Los raspadores carenados son el tipo mejor representado y se destinaron principalmente a la producción de laminillas de perfil curvo y en algún caso recto, las cuales se emplearon para la elaboración de las laminillas Dufour. En los núcleos prismáticos se ha podido constatar que en buena parte de las piezas prima un esquema de explotación de la cara más ancha del soporte, lo cual se relaciona con una búsqueda consciente o premeditada de soportes lo más largos y anchos posibles. En cambio en el nivel VIII predomina un esquema basado en la explotación de núcleos prismáticos unipolares y bipolares (n= 17) para la obtención de soportes laminares en los momentos iniciales del proceso de talla y microlaminares en su fase final, dada la morfología de los negativos presentes en la superficie de lascado en el momento de su abandono (Lámina 3).

De todos modos, en ambos niveles no dejan de estar presentes otros esquemas más discretos en la forma de núcleos de tipo piramidal (IX= 3; VIII= 2), poliédrico (IX= 12; VIII= 6) y microlaminar mixto (IX= 7), así como una producción de lascas a partir de núcleos discoides (unipolares y bipolares) (IX= 3; VIII= 5). El resto son núcleos indeterminados (IX= 22; VIII= 14) en los que no ha sido posible identificar un esquema de producción concreto.

<sup>3</sup> En el Sector Occidental, de acuerdo con las investigaciones recientes llevadas a cabo en los niveles auriñacienses también se recuperó un buen número de este tipo de piezas.

La aplicación de la prueba del Anova (Tablas I, II, III y IV) al estudio tipométrico de los núcleos, poniendo en relación sus dimensiones con las materias primas empleadas indica la existencia de un cierto grado de condicionamiento en las dimensiones de los mismos en función de si estos fueron explotados en cuarcita (con unas dimensiones mayores) o en sílex<sup>4</sup>. En este sentido se ha podido observar que los ejemplares de sílex presentan unas dimensiones muy reducidas en el momento de su abandono, de forma que fueron explotados hasta quedar completamente agotados o hasta que la aparición de accidentes internos (especialmente geodas e impurezas) dieron lugar a accidentes de talla como peldaños o reflejados, que interrumpen la extracción de soportes con unas dimensiones potencialmente funcionales. Este hecho evidencia un aprovechamiento exhaustivo de los recursos líticos disponibles.

La principal materia prima explotada fue el sílex (IX= 69,6%; VIII= 60,9%) seguida de la cuarcita (IX= 30,4%; VIII= 34,8%) y el cristal de roca (VIII= 4,3%). Entre las diferentes variedades de sílex documentadas es la de Piedramuelle (IX= 35,5%; VIII= 39,2%) la que predomina netamente en ambos conjuntos, seguida de la de Piloña (IX= 16,3%; VIII= 6,5%). Además en el nivel VIII se ha documentado la presencia del sílex Flysch de Kurtzia (4,3%).

## 3.2 Definición tecno-tipológica de las laminillas Dufour

### 3.2.1. Materias primas

Al analizar la composición litológica general de ambos niveles se aprecia que en todas las categorías de piezas estudiadas es netamente mayoritaria la presencia del sílex, frente a la cuarcita y el cristal de roca. Entre las variedades silíceas documentadas predominan la de Piedramuelle y Piloña respectivamente (Figura 3), seguidas de los sílex alterados (por desilificación o patinación) y los indeterminados. Además, resulta llamativa la identificación en el nivel VIII de la variedad tipo flysch, en soportes microlaminares retocados (n= 2) y núcleos (n= 2). En el caso concreto de las laminillas Dufour, fueron elaboradas exclusivamente en sílex de Piedramuelle (IX= 7; VIII= 6) y Piloña (IX= 7; VIII= 2). Ambas variedades silíceas han sido identificadas de forma pionera en Asturias gracias a un proyecto de investigación desarrollado en los últimos años en el Área de Prehistoria de la Universidad de Oviedo (SANTAMARÍA *et al.*, 2010, 2011a, 2011b, 2012; FORTEA *et al.*, 2010; DUARTE *et al.*, e. p.; TARRIÑO *et al.*, e. p.) (Tablas V y VI).

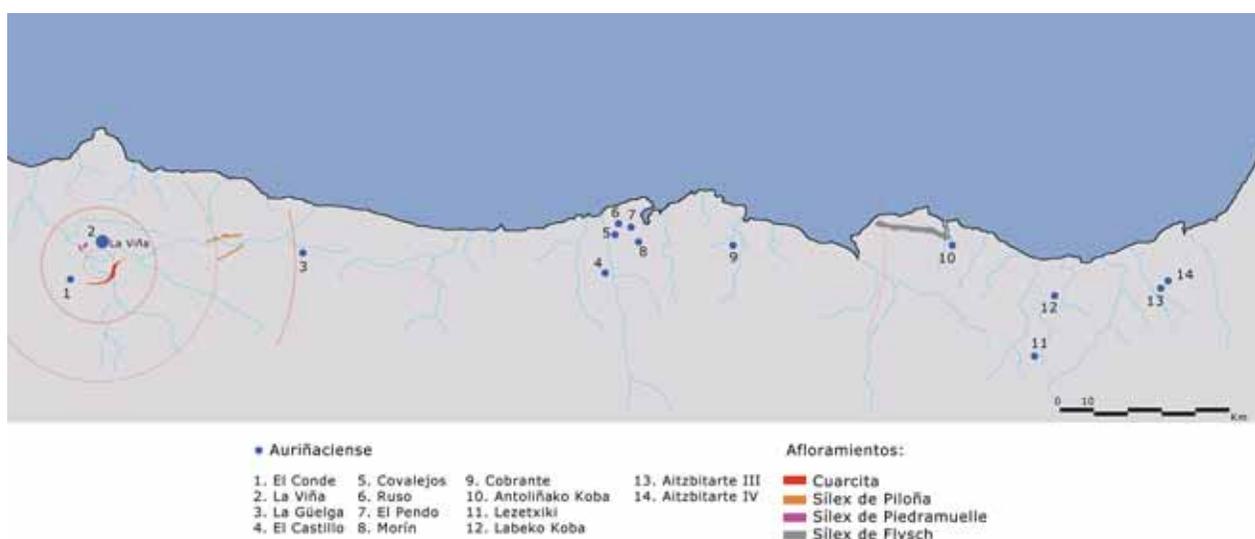


Figura 3. Mapa de la localización de los yacimientos aurinienses cantábricos y ubicación de los afloramientos primarios de las materias primas identificadas en la muestra seleccionada (modificado por S. Candanedo a partir de SANTAMARÍA 2012 y TARRIÑO 2001).

Figure 3. Map with the location of Aurignacian sites in the Cantabrian area, and situation of the raw materials outcrops identified at the selected sample (modified by S. Candanedo from SANTAMARÍA 2012 y TARRIÑO 2001).

<sup>4</sup> En ambos niveles el p- valor es inferior a 0,05.

### 3.2.2. Morfología de los soportes

Atendiendo a la morfología de los soportes microlaminares, tanto brutos como retocados se aprecia una marcada regularización u estandarización de los soportes ya que en ambos niveles estas piezas presentan mayoritariamente perfil recto, eje longitudinal rectilíneo, bordes paralelos y sección triangular.

Estos mismos patrones de estandarización morfológica del perfil se encuentran en el conjunto de laminillas Dufour procedentes del nivel IX, dado que para su elaboración se seleccionaron preferentemente los soportes de perfil recto (n= 12; 92,3%) con la presencia testimonial de un único ejemplar con el perfil curvo (n= 1; 7,7%). En las laminillas Dufour del nivel VIII no se aprecia este patrón de forma tan clara, aunque predominan las de perfil recto (n= 6; 50%), pero también están representadas la de perfil curvo (n= 3; 25%) y torcido (n= 3; 25%).

La totalidad de las piezas procedentes de ambos niveles presentan el eje longitudinal rectilíneo (IX= 13, 100%; VIII= 12, 100%) y los bordes paralelos (IX= 13, 100%; VIII= 11, 91,7%) excepto el único ejemplar conservado completo cuyos bordes son convergentes. En cuanto a la sección de estas piezas, se reparte entre triangular (IX= 9, 69,2%; VIII= 7, 58,3%) y trapezoidal (IX= 4, 30,8%; VIII= 5, 41,7%).

### 3.2.3 Tipometría de los talones

Dentro del estudio de los soportes de las laminillas Dufour cabe atender a la morfología y tipometría de los talones, que en el nivel IX (n= 4) desarrollan generalmente un ángulo entre 75-90° con respecto a la cara dorsal (n= 3; 75%), frente a los que presentan un ángulo > 90° (n= 1; 25%). En el nivel VIII por el contrario la totalidad de los talones conservados (n= 7) presentan un ángulo > 90°. Por lo que respecta a su morfología, se distribuyen en talones lisos (IX= 2; VIII= 2), seguidos de los lineales (IX= 2; VIII= 2), facetados (VIII= 2) y puntiformes (VIII= 1). La clasificación según intervalos de anchura revela que todos ellos son estrechos. En el nivel IX las medidas de los mismos oscilan entre 2,92-3,65 mm mientras que en el nivel VIII lo hacen entre 2,12-5,23 mm. Del mismo modo la clasificación según intervalos de espesor pone de manifiesto que todos son finos. En el nivel IX el espesor de las piezas oscila entre 0,51 y 1,41 mm mientras que en el nivel VIII lo hace entre 0,86-2,13 mm. (Figura 4).

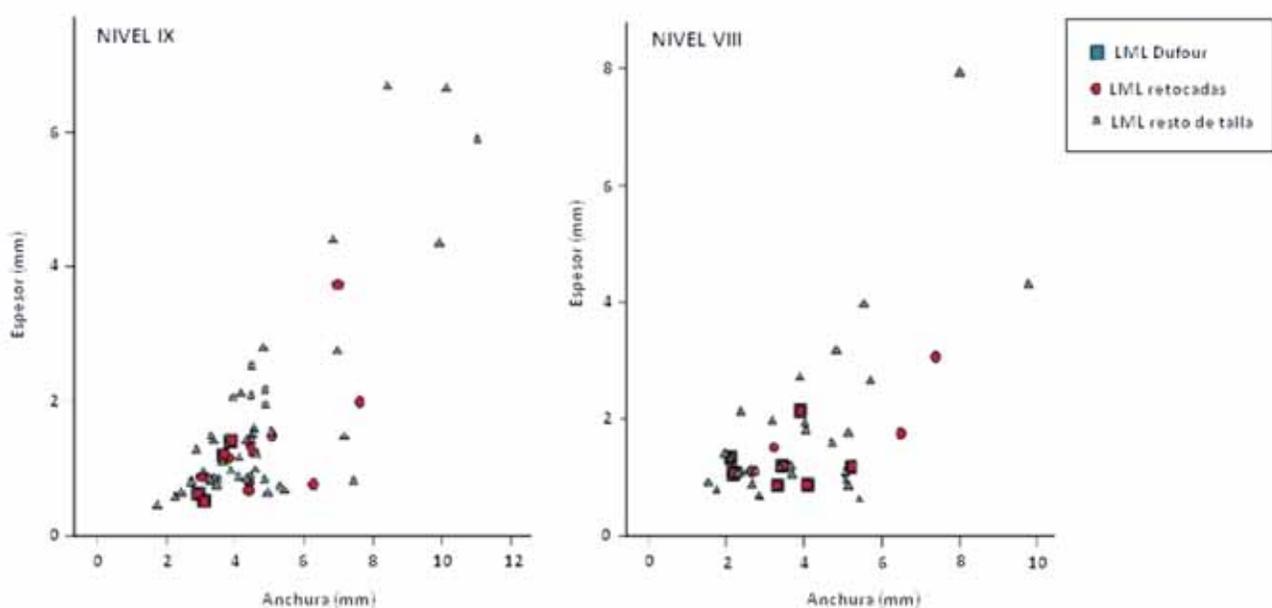


Figura 4. Diagrama de dispersión con la distribución de los talones conservados según anchura y espesor.  
Figure 4. Scatter plot showing the distribution of preserved butts according to its wideness and thickness.

### 3.2.4. Fragmentación

El índice de fragmentación de los soportes microlaminares es muy elevado en ambos niveles, tanto en el caso de los restos de talla (IX= 89,3%; VIII= 74,7%) como en los retocados (IX= 91,2%; VIII= 69%). Este hecho se hace especialmente relevante en las laminillas Dufour, de las cuales únicamente se conserva un ejemplar completo procedente del nivel VIII, mientras que el resto están fragmentadas y se reparten de la siguiente manera entre las diferentes categorías de fracturas: fragmentos transversales proximales (IX= 30,8%; VIII= 58,4%), transversales mesiales (IX= 61,5%; VIII= 25%) y transversales distales (IX= 7,7 %; VIII= 8,3%). No parece que exista un patrón de fragmentación definido, sin embargo es sugerente que el número de fragmentos distales es ligeramente inferior al resto en ambos niveles, lo cual suele asociarse al hecho de que esta es la parte de la pieza que se pierde cuando se fragmenta al ser empleada como elemento de proyectil, lo que se une a que en el nivel IX y, especialmente en el nivel VIII, los fragmentos proximales también son abundantes, siendo la parte que se conserva en el astil (Tablas VII y VIII).

Al analizar con la lupa binocular los tipos específicos de fracturas siguiendo la propuesta de O'Farrell se ha constatado la presencia de una pieza con fractura compleja del tipo 2a, correspondiente a una fractura en flexión con terminación en pluma.

### 3.2.5. Tipometría. Índice de carenado

Debido al elevado índice de fragmentación de las piezas analizadas, éste limita el estudio tipométrico de las mismas. Por este motivo se ha medido en cada laminilla Dufour su anchura y espesor, con el fin de discernir la existencia de ciertos patrones tipométricos exclusivamente en lo que se refiere al índice de carenado.

En ambos niveles predominan las laminillas Dufour elaboradas a partir de soportes planos, cuyo índice de carenado oscila entre 2 y 4. Únicamente dos piezas fueron elaboradas en soportes muy planos con un índice de carenado superior a 4.

Al comparar estos datos con los proporcionados por el estudio tipométrico de los restos de talla se aprecia que en ese caso también se produjeron soportes espesos con un índice de carenado entre 1 y 2 (IX= 19,1%; VIII= 34,6%) los cuales no fueron seleccionados para la elaboración de este tipo de piezas. Lo mismo ocurre si atendemos a los datos del estudio tipométrico de los soportes retocados: en el nivel IX los soportes espesos suponen el 34,5% de los efectivos y en el nivel VIII el 41,7%.

### 3.2.6. Lateralización del retoque

En cuanto a la lateralización del retoque parece que existen ciertos patrones de estandarización, especialmente en el caso de las piezas con retoque alterno, dado que en todos los casos (IX= 4; VIII= 3) el retoque directo se localiza en el borde izquierdo, opuesto a un retoque inverso en el derecho.

En ambos niveles son más numerosas las piezas que presentan únicamente retoque inverso (IX= 5; VIII= 7), seguidas de las que presentan únicamente retoque directo (IX= 4; VIII= 2). En ambos casos no parece que exista la preferencia por uno de los bordes, ya que su presencia en el borde izquierdo o derecho se reparte de forma homogénea.

## 3.3. Análisis funcional de las laminillas Dufour

El utillaje microlaminar y, más concretamente, las laminillas Dufour y las laminillas de dorso han sido interpretadas tradicionalmente como elementos enmangados en proyectiles compuestos o asociadas a tareas de corte poco intensas.

Con el fin de corroborar alguna de estas hipótesis a partir de los datos que pueden ofrecer al respecto los análisis de huellas de uso se ha estudiado el conjunto de laminillas Dufour procedentes de los niveles IX y VIII del abrigo de La Viña (Sector Central).

Este tipo de análisis pueden aportar evidencias acerca del método de enmangue y acerca de su uso, aunque los datos proporcionados en este trabajo y por consiguiente las conclusiones derivadas del mismo se han visto dificultadas por una serie de limitaciones impuestas por diferentes factores, como el carácter

efímero de algunos tipos de huellas, el reducido tamaño de los fragmentos conservados y la presencia en algunas piezas de diferentes tipos de alteraciones sin- y post- deposicionales (pátinas, deshidratación y alteración térmica), así como de impurezas y cristalizaciones propias de los sílex de Piloña y Piedramuelle. Dado que estas alteraciones se presentan en diferente grado de intensidad, en determinados casos su presencia ha provocado que las piezas sean descartadas (n=5; 20%), en otros que la visibilidad de las huellas de uso sea reducida (n= 7; 28%) y finalmente el resto de piezas permiten una observación bastante buena (n= 13; 52%) (Tabla IX).

### 3.3.1 Tipos de huellas

#### Restos de ocre

En un buen número de piezas (n= 13; 52%) se ha identificado la presencia de restos microscópicos de ocre, preferentemente localizados sobre la superficie de los levantamientos generados por el retoque. Este hecho resulta significativo, dado que tradicionalmente se ha considerado que el retoque marginal semiabrupto característico de este tipo de las laminillas Dufour se efectuó con la intención de embotar el filo para su enmangue en un elemento compuesto, utilizando para su fijación algún tipo de mezcla compuesta por ocre, resinas de árboles y grasa animal (HAYS & LUCAS 2001).

#### Huellas tecnológicas

Una cuestión que ha sido objeto de debate es la técnica con que se realizó el retoque en estas piezas, dividiéndose las opiniones entre si éste se efectuó por percusión o por presión del filo sobre una materia dura.

En este sentido, se ha identificado en un reducido número de piezas (n= 5, 20%) un tipo de huella tecnológica denominada "ojo de perdiz"<sup>5</sup>.

Su presencia por sí sola no es indicativa de la realización del retoque por percusión, dado que puede generarse por otras causas, sin embargo se ha podido constatar que en este caso dichas huellas aparecen asociadas al filo retocado, localizándose en la cara de la pieza desde la que se realizó el retoque.

#### Esquirlamientos

Este es el tipo de huella más frecuente en todo el conjunto analizado (n= 16; 64%) y que afecta con mayor intensidad a la integridad de los filos, ya que en algunos casos los esquirlamientos son visibles macroscópicamente por el considerable tamaño que alcanzan.

Los esquirlamientos se localizan de forma continua a lo largo de los filos no retocados (opuestos al dorso y potencialmente utilizables al quedar fuera de la parte hipotéticamente enmangada), y su presencia afecta con la misma intensidad a la cara dorsal y ventral de las piezas. Presentan diferentes tamaños, aunque en general son bastante grandes y marcados, con reflejados y terminaciones abruptas.

Generalmente se asocian a otras huellas identificadas en la zona de contacto de los levantamientos, como brillos, redondeamientos, abrasión y micropulido (Figura 5).

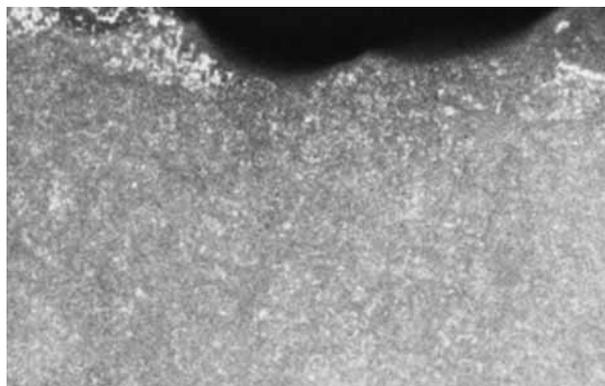


Figura 5. Esquirlamiento asociado a micropulido (200x). Pieza n° 989.  
Figure 5. Spalling associated with micro polish (200x). Item n° 989.

<sup>5</sup> "Alteración, generalmente macroscópica, de origen mecánico, laboral- lascado- o natural, que puede producirse cuando un sílex resulta golpeado y no se fractura. Consiste en un círculo o semicírculo que se localiza en el punto de impacto, cuyo centro constituye el vértice de un cono que se abre hacia el interior de la masa silíceo y que de haberse desprendido una lasca sería el comienzo de un bulbo de percusión" (MAZO, 1991: 97).

Todo ello viene a indicar que estos filos son el resultado del trabajo de materiales medios/duros o duros, según los diferentes modelos de desgaste de los filos que se han propuesto (MAZO, 1991: 94) y que por tanto fueron utilizados, pudiendo descartar que sean el resultado de procesos post-deposicionales, pues en ese caso deberían localizarse en todos los filos y sobre la superficie de la pieza.

### Redondeamiento

El redondeamiento (embotamiento de un filo o arista) puede generarse como resultado de la utilización de la pieza, dependiendo su intensidad de la duración del trabajo y la resistencia del material trabajado.

En las piezas analizadas el redondeamiento se localiza preferentemente sobre las aristas que configuran los negativos de los bordes retocados ( $n= 9$ ; 36%), frente a los filos no retocados ( $n= 4$ ; 16%) u otras partes de la pieza como el talón ( $n= 2$ ; 8%) o el extremo distal ( $n= 1$ ; 4%).

Este tipo de huella no puede ser empleado por sí mismo como criterio para afirmar que una pieza ha sido utilizada, puesto que también puede ser el resultado de procesos naturales (rodamiento) (MAZO, 1991: 103); sin embargo en algunas de las piezas se ha podido constatar su asociación con otro tipo de huellas funcionales como abrasión ( $n= 2$ ; 8%) y micropulido ( $n= 1$ ; 4%). Además en una de las piezas el redondeamiento se presenta de manera continua a lo largo de todo el filo retocado asociado a restos de ocre, lo cual puede indicar que dicho redondeamiento sea el resultado de su uso como elemento enmangado, generando un redondeamiento de las aristas que conforman los levantamientos del retoque debido a la fricción de la pieza contra el astil.

### Abrasión

La abrasión es una de las huellas que aparecen de forma menos frecuente en el conjunto de piezas analizadas ( $n= 9$ ; 36%), y en los casos en que se documenta no es muy intensa (Figura 6).

Su localización en las piezas no es excesivamente regular, sin embargo predomina la aparición de abrasión en los filos retocados, ya sea en las dos caras del mismo, siendo más intensa sobre las aristas que conforman los negativos del retoque ( $n= 2$ ; 8%) o únicamente en la cara en la que se encuentran dichos negativos ( $n= 4$ ; 16%).

En otros casos se localiza en el extremo distal ( $n= 1$ ), el talón ( $n= 1$ ); el filo no retocado ( $n= 2$ ) o asociado a la fractura ( $n= 1$ ). Este último caso es muy sugerente, dado que la localización específica de la abrasión junto a la zona de fractura de la pieza (en este caso un fragmento transversal mesial) puede indicar que se produjo un choque entre esta parte de la pieza y la parte distal de la misma en el momento de fracturarse, estando fija a un mango.

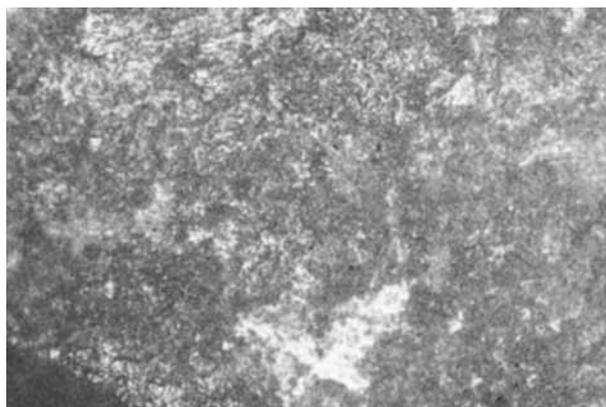


Figura 6. Plataforma de abrasión. Las estrias indican una dirección del movimiento oblicua, hacia el interior de la pieza (200x). Pieza nº 314.  
Figure 6. Abrasion platform. Stretch marks indicate an oblique direction of movement towards the internal part of the piece. Item nº 314.

### Micropulido

En 7 piezas (28%) ha sido identificada la presencia de micropulidos indiferenciados, que se han definido como un "estadio en el desarrollo de un micropulido que se corresponde con el momento inicial de su formación, por lo que la huella todavía no se encuentra bien definida. En este momento la trama es escasa, el desarrollo indiferenciado, la coalescencia fluida y el brillo generalmente graso. El tiempo en que cada micropulido alcanza sus características definitivas desde esta posición es variable, y algunas materias rara vez pasan de este estadio indiferenciado" (MAZO, 1991: 93).

El micropulido se localiza indistintamente, tanto en los bordes no retocados como en los retocados, y sugiere en el primer caso que estos fueron utilizados; en el segundo que la pieza habiendo sido enmangada por

la parte en la cual se encuentra el dorso retocado, se ha visto expuesta a los efectos de la fricción con el mango en el momento de su uso (Figura 7).

#### 4.- CONCLUSIONES

El análisis de las series líticas pone de manifiesto una explotación preferente del sílex frente a la cuarcita y el cristal de roca, así como una selección casi exclusiva de las materias primas de origen local (sílex de Piedramuelle, sílex de Piloña y cuarcita), salvo las escasas evidencias de núcleos y piezas retocadas elaboradas en sílex exógeno de tipo flysch, procedente de la costa vizcaína. Este empleo mayoritario del sílex de Piedramuelle constatado en los niveles aurriñacienses del abrigo de La Viña se hace extensible a otros del mismo yacimiento que han sido objeto de estudio en trabajos recientes (SANTAMARÍA 2012, MARTÍNEZ- FERNÁNDEZ, en prensa) y puede explicarse por el hecho de que se trata del recurso silíceo con mayor disponibilidad en el entorno inmediato del abrigo, en un radio de captación que no excede los 10 km. Por su parte, el sílex de Piloña también tiene una presencia importante en el conjunto, al igual que ocurre en otros yacimientos asturianos como Cueto de la Mina, Llonín y especialmente la cueva de El Sidrón, donde supera el 80-90% de los efectivos. En este caso, los afloramientos primarios se encuentran en un radio medio de movilidad en torno a 50 km desde el yacimiento. Además, para esta variedad ha sido posible rastrear movimientos más amplios, dado que también ha sido identificado en otros yacimientos de la Cornisa Cantábrica localizados a ~120 km (El Linar, Cualventi y Las Aguas). Se trata, por tanto, del sílex asturiano con mayor movilidad de todos los identificados hasta el momento (TARRIÑO *et al.*, en prensa).

Los datos permiten proponer un modelo de economía de las materias primas en el aurriñaciense de La Viña de corto-medio recorrido, caracterizado por la proximidad de las fuentes de aprovisionamiento, similar al que ha sido documentado en otros yacimientos cantábricos de la misma época, como Cueva Morín, El Castillo y Labeko Koba (Cabrera *et al.*, 2004), contando en este caso con testimonios puntuales de aprovisionamiento de otros sílex como el flysch, cuyos afloramientos se encuentran a ~400 km en la costa vizcaína.

Por su parte, el estudio tecno- tipológico de los núcleos ha puesto de manifiesto la existencia de diferentes esquemas de explotación en cada nivel, los cuales tienen como resultado la obtención de soportes laminares y microlaminares con unas características morfológicas muy bien definidas. Este hecho se plasma, en ambos niveles, en una producción estandarizada de soportes con el perfil recto, eje longitudinal rectilíneo, bordes paralelos y sección triangular, los cuales se emplean prioritariamente en la elaboración de las laminillas Dufour. Lo mismo ocurre con la tipología de los talones, predominando en todos los casos las piezas con talones lisos, seguidos de los lineales, facetados y puntiformes y la tipometría de los mismos, predominando los estrechos y finos.

Una de las características fundamentales en el conjunto analizado es el elevado índice de fragmentación de los soportes. En un depósito arqueológico de estas características es posible plantear diferentes explicaciones de carácter general que expliquen este hecho, sin embargo la historia geológica del abrigo nos llevaría a decantarnos por una explicación de índole postdeposicional, según la cual, la caída de bloques generada por el derrumbe de la visera que marca el nivel VII debió tener importantes implicaciones en este sentido. Sin embargo, al analizar el componente espacial de las laminillas Dufour se ha observado que éstas se ubican preferentemente en los cuadros situados hacia el interior del abrigo, excepto dos ejemplares recuperados en B14, siendo los que se encuentran hacia el exterior (B14 y C14) los que están afectados por el derrumbe. Por ello, es preciso plantear otro tipo de causas que expliquen la elevada fracturación de este tipo de piezas, como el pisoteo, la realización de actividades de talla en el sitio o bien su utilización en diversas actividades en consonancia con los resultados del análisis funcional y la presencia de algunas fracturas complejas.

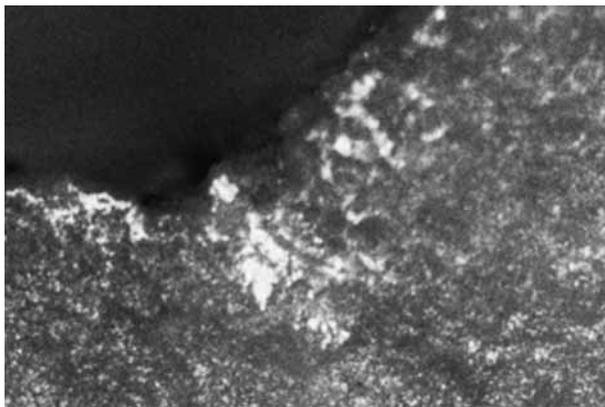


Figura 7. Micropolido asociado a una huella de percusión (200x). Pieza nº 966.  
Figure 7. Micro polish associated to a percussion mark (200x). Item nº 966.

El estudio tipométrico, seriamente limitado por el elevado grado de fragmentación de la muestra, pone de manifiesto la selección de soportes planos y muy planos para la elaboración de las laminillas Dufour, excluyendo los soportes espesos documentados en los restos de talla.

Otro argumento en favor de la estandarización de las laminillas Dufour proviene de la tipología, especialmente en el caso de las piezas que presentan retoque alterno: en todos los casos el retoque directo se localiza en el borde izquierdo, opuesto a un retoque inverso en el derecho, tal y como se ha podido evidenciar en los yacimientos de Le Flageolet I (HAYS & LUCAS, 2001) y Pataud (CHIOTTI, 2000).

Finalmente, el estudio traceológico de las laminillas Dufour ha ofrecido datos bastante sugerentes, a pesar de las limitaciones impuestas por el registro. No ha sido posible llegar a un grado de análisis suficiente como para determinar la materia sobre la que se aplicaron ni tampoco la acción con la que se llevó a cabo el trabajo en estas piezas, sin embargo podemos concluir que existen evidencias suficientes para afirmar, al menos de forma preliminar hasta que los resultados sean contrastados mediante experimentación, que al menos algunas fueron empleadas como elementos de proyectil enmangados.

## 5.- AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero mostrar mi más profundo agradecimiento a Ignacio Barandiarán, por su confianza y compromiso al aceptar dirigir este trabajo, así como a Ana Cava, por las valiosas enseñanzas y consejos que ambos me han dispensado durante los meses de mi estancia en Vitoria. A Marco de la Rasilla (codirector) también por su confianza demostrada en los últimos años y la formación constante basada en el valor del esfuerzo diario. También quiero agradecer a Carlos Mazo Pérez el permitirme llevar a cabo una estancia de investigación en la Universidad de Zaragoza bajo su supervisión e introducirme en los conocimientos sobre análisis funcionales, cuya aplicación ha enriquecido enormemente los resultados que aquí se presentan. A Andoni Tarrío su interés y ayuda indispensable en la identificación de las materias primas. A mis compañeros del Área de Prehistoria de la Universidad de Oviedo por su apoyo diario, a la Universidad del País Vasco por la concesión de una beca de ayuda a la movilidad para la realización del Máster y, finalmente, a los miembros que integraron el tribunal que evaluó este trabajo por sus observaciones.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación que, sobre éste y otros yacimientos, se está llevando a cabo por diferentes investigadores y doctorandos en el Área de Prehistoria de la Universidad de Oviedo.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

BERNALDO DE QUIRÓS, F., ARRIZABALAGA, A., MAÍLLO- FERNÁNDEZ, J.M., IRIARTE, M.J.

2008 La transición Paleolítico medio- superior en la región centro-oriental de la cornisa cantábrica. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Nueva época. Prehistoria y Arqueología*, t. 1, pp- 33- 46.

BORDES, F.

1968 *The Old Stone Age*. McGraw-Hill, 1968 - 255 p.

BORGIA, V., RANALDO, F.

2009 Functional analysis of the aurignacian backed bladelets from Grotta Paglicci, *Human Evolution*, vol.24, n.1.

BOUYSSONIE, J .

1923 Station préhistorique aurignacienne du Bos-de1-Ser près Brive (Corrèze), en Association Française pour l' Avancement des Sciences, vol. 47, pp. 617-622.

1944 La grotte Dufour près Brive (Corrèze). *Bul. S.P. F.*, t. 41, n. 12.

BROGLIO, A., BERTOLA, E., DE STEFANI, M., MARINI, D., LEMORINI, C., ROSSETTI, P.

2005 La production lamellaire et les armatures lamellaires de l'Aurignacien ancien de la Grotte de Fumane (Monts Lessini, Vénétie), en LE BRUN- RICALENS, F., BORDES, J- G. y BON, F., (coords.): *Productions lamellaires attribuées à l' Aurignacien: chaînes opératoires et perspectives technoculturelles. Actes du XIVe Congrès de l' UISPP, Liège 2- 8 Septembre 2001*, Archéologiques 1, Musée national d' histoire et d' art, Luxembourg, pp. 395- 412.

- CABRERA, V., ARRIZABALAGA, Á., BERNALDO DE QUIRÓS, F. y MAÍLLO, J.M.  
 2004 La transición al Paleolítico superior y la evolución de los contextos aurignacienses (50.000- 27.000 BP), en FANO, M.Á. (coord): *Las sociedades del Paleolítico en la región cantábrica*, KOBIE (Serie Anejos), 8, Bilbao, pp. 141- 208.
- CHIOTTI, L.  
 2000 Lamelles Dufour et grattoirs aurignaciens (carénés et à museau) de la couche 8 de l'abri Pataud, Les Eyzies-de-Tayac, Dordogne, *L'Anthropologie*, 104 (2), pp. 239-263.  
 2003 Les productions lamellaires dans l'Aurignacien de L'Abri Pataud, Les Eyzies-de-Tayac (Dordogne). *Gallia Préhistoire*, 45, pp.113-156.
- DEMARS, P- Y., LAURENT, P.  
 1992 *Types d'outils lithiques du Paléolithique supérieur en Europe*. CNRS, Paris.
- DJINDJIAN, F., KOSLOWSKI, J. y OTTE, M.  
 1999 *Le paléolithique supérieur en Europe*, Armand Colin, Paris.
- DUARTE, E., SANTAMARÍA, D., MARTÍNEZ, L., FERNÁNDEZ DE LA VEGA, J., SUÁREZ, P., FORCELLEDO, E., TARRIÑO, A., RASILLA, M. de la  
 En prensa El sílex como recurso mineral en la Prehistoria de Asturias. En, *Workshop Sílex: trazadores litológicos de larga distancia durante la Prehistoria de la Península Ibérica*. Burgos (junio de 2011).
- FORTEA, F. J.  
 1981 Investigaciones en la cuenca media del Nalón, Asturias (España). Noticia y primeros resultados, en *Zephyrus*, XXXII- XXXIII, pp. 5- 16.  
 1990 Abrigo de La Viña. Informe de las campañas 1980- 1986, en *Excavaciones Arqueológicas en Asturias*, 1, Servicio de Publicaciones de la Consejería de Cultura, Educación y Deportes del Principado de Asturias, Oviedo, pp. 55- 68.  
 1992 Abrigo de La Viña. Informe de las campañas 1987- 1990, en *Excavaciones Arqueológicas en Asturias*, 2, Servicio de Publicaciones de la Consejería de Cultura, Educación y Deportes del Principado de Asturias, Oviedo, pp. 19- 28.  
 1995 Abrigo de La Viña. Informe de las campañas 1991- 1994, en *Excavaciones Arqueológicas en Asturias*, 3, Servicio de Publicaciones de la Consejería de Cultura, Educación y Deportes del Principado de Asturias, Oviedo, pp. 19- 32.  
 1999 Abrigo de La Viña. Informe y primera valoración de las campañas de 1995 a 1998, en *Excavaciones Arqueológicas en Asturias*, 4, Servicio de Publicaciones de la Consejería de Cultura, Educación y Deportes del Principado de Asturias, Oviedo, pp. 19- 32.
- FORTEA, J., RASILLA, M. DE LA., SANTAMARIA, D., MARTINEZ, L., DUARTE, E., FERNANDEZ DE LA VEGA, J.  
 2010 El Paleolítico superior en Asturias en los albores del siglo XXI. En El Paleolítico superior peninsular. *Novedades del siglo XXI*. Barcelona, pp. 271-289.
- HAYS, M., LUCAS, G.  
 2001 *Experimental investigations of Aurignacian Dufour bladelets*. In Hays M., Thacker P. (dir.). Questioning the answers: resolving fundamental problems of the Early Upper Paleolithic. BAR, Oxford, pp. 109- 116.
- HISCOCK, P.  
 2002 Quantifying the size of artifact assemblages, *JAS* 29, pp. 251-258.
- LAPLACE, G.  
 1966 *Recherches sur l'origine et l'évolution des complexes leptolithiques*. Supp. n°4 de Mélanges d'Archéologie et d'Histoire. Paris.
- LUCAS, G.  
 1997 Les lamelles Dufour du Flageolet 1 (Bézenac, Dordogne) dans le contexte aurignacien. *Paléo*, n° 9, pp. 191- 219.
- LE BRUN- RICALENS, F., BORDES, J-G. Y BON, F. (COORDS)  
 2005 Productions lamellaires attribuées à l'Aurignacien: chaînes opératoires et perspectives technoculturelles. Actes du *XIV<sup>e</sup> congrès de l'UISPP, Liège 2-8 Septembre 2001*, Archéologiques 1, Musée national d'histoire et d'art, Luxembourg, pp.23-72.
- MAZO, C.  
 1991 *Glosario y cuerpo bibliográfico de los estudios funcionales en Prehistoria*. Monografías Arqueológicas 34, Universidad de Zaragoza.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, L., RASILLA, M. DE LA  
 En prensa El Gravetiense en Asturias: revisión y novedades. Coloquio internacional sobre el Gravetiense cantábrico: estado de la cuestión. Museo de Altamira, 20 al 22 de octubre de 2011.

MERINO, J.M.

1980 *Tecnología lítica*. Munibe, Suplemento nº 4, San Sebastián.

NORMAND C., O'FARRELL M. & RIOS GARAIZAR J.

2008 Quelles(s) utilisation(s) pour les productions lamellaires de l'Aurignacien archaïque? Quelques données et réflexions à partir des exemplaires de la grotte d'Isturitz (Pyénées-Atlantiques; France). En: J.-M. Pétilion, M.-H. Dias-Meirinho, P. Cattelain, M. Honegger, C. Normand, N. Valdeyron (coord.), Recherches sur les armatures de projectiles du Paléolithique supérieur au Néolithique (actes du colloque C83, XVe congrès de l'UISPP, Lisbonne, 4-9 septembre 2006), *Palethnologie*, 1, p. 7 – 46.

O' FARRELL, M.

2005 Étude préliminaire des éléments d' armature lithique de l' Aurignacien ancien de Brassempouy, en LE BRUN- RICALENS, F., BORDES, J- G. y BON, F., (coords.): *Productions lamellaires attribuées à l' Aurignacien: chaînes opératoires et perspectives technologiques*. Actes du XI<sup>Ve</sup> Congrès de l' UISPP, Liège 2- 8 Septembre 2001, Archéologiques 1, Musée national d' histoire et d' art, Luxembourg, pp. 395- 412.

OTTE, M.

2010 *Les Aurignaciens*. Editions Errance. 300 pp.

PELEGRIN, J.

1995 Technologie lithique: le Châtelperronien de Roc-de-Combe (Lot) et de la Côte (Dordogne). CNRS, Paris.

SANTAMARÍA, D., FORTEA, J., RASILLA, M. DE LA, MARTÍNEZ, L., CAÑAVERAS, J.C., SÁNCHEZ MORAL, S., ROSAS, A., ESTALRRICH, A., GARCÍA- TABERNERO, A., LALUEZA-FOX,C.

2010 The technological an typological behavior of a Neanderthal group from El Sidrón Cave (Asturias, Spain). *Oxford Journal of Archaeology*, 29 (2): 119- 148.

SANTAMARÍA, D., MARTÍNEZ, L., DUARTE, E., CAÑAVERAS, J.C., ROSAS, A., SÁNCHEZ MORAL, S., SILVA, P.G., LALUEZA-FOX,C., RASILLA, M. DE LA

2011a Los remontajes líticos musterienses de la cueva de El Sidrón (Borines, Piloña, Asturias). En V. Turu y A. Constante (eds.). *El Cuaternario en España y áreas afines, avances en 2011*. AEQUA y Fundación Marcel Chevalier, Andorra: 229-233.

SANTAMARÍA, D., RASILLA, M. DE LA, MARTÍNEZ, L., TARRIÑO, A.

2011b Las herramientas y su interpretación cultural y económica. En Rasilla, M. de la., Rosas, A., Cañaveras, J-C., Lalueza-Fox, C. (eds). *La cueva de El Sidrón (Borines, Piloña, Asturias) Investigación interdisciplinar de un grupo neandertal*. Excavaciones Arqueológicas en Asturias. Monografías, I: 137-146.

SANTAMARÍA, D.

2012 *La transición del Paleolítico medio al superior en Asturias. El Abrigo de La Viña (La Manzaneda, Oviedo) y la cueva de El Sidrón (Borines, Piloña)*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Oviedo.

SONNEVILLE-BORDES, D. de, PERROT, L.

1954 Lexique typologique du Paléolithique supérieur, en Bulletin de la Société Préhistorique Française, 51 (7), pp.327-335.

1955 Lexique typologique du Paléolithique supérieur. Outillage lithique III –outils composites- perçoirs, en Bulletin de la Société Préhistorique Française, 52(1), pp.76-79.

1956 Lexique typologique du Paléolithique supérieur, en Bulletin de la Société Préhistorique Française, 53 (7), pp.408-412.

1956b Lexique typologique du Paléolithique supérieur, en Bulletin de la Société Préhistorique Française, 53 (9), pp.547-559.

TARRIÑO. A., DUARTE, E., SANTAMARÍA, D., MARTÍNEZ, L., FERNÁNDEZ DE LA VEGA, J., SUÁREZ, P., RODRÍGUEZ, V., FORCELLEDO, E., RASILLA, M. DE LA

En prensa El sílex de Piloña. Caracterización de una nueva fuente de materia prima en la Prehistoria de Asturias. Homenaje al profesor F. Javier Fortea Pérez. Universidad de Oviedo.

TARRIÑO, A.

2001 *El sílex en la Cuenca Vasco- Cantábrica y Pirineo Navarro: caracterización y su aprovechamiento en la Prehistoria*. Tesis Doctoral, UPV- EHU.

TSANOVA, T., ZWYNS, N., EIZENBERG, L., TEYSSANDIER, N., LE BRUN-RICALENS, F., OTTE, M.

2011 Le plus petit dénominateur commun: réflexion sur la variabilité des ensembles lamellaires du Paléolithique supérieur ancien d'Europe. Un bilan autour des exemples de Kozarnika (Est des Balkans) et Yafteh (Zagros Central), *L'Anthropologie*.

## 7.- ANEXO

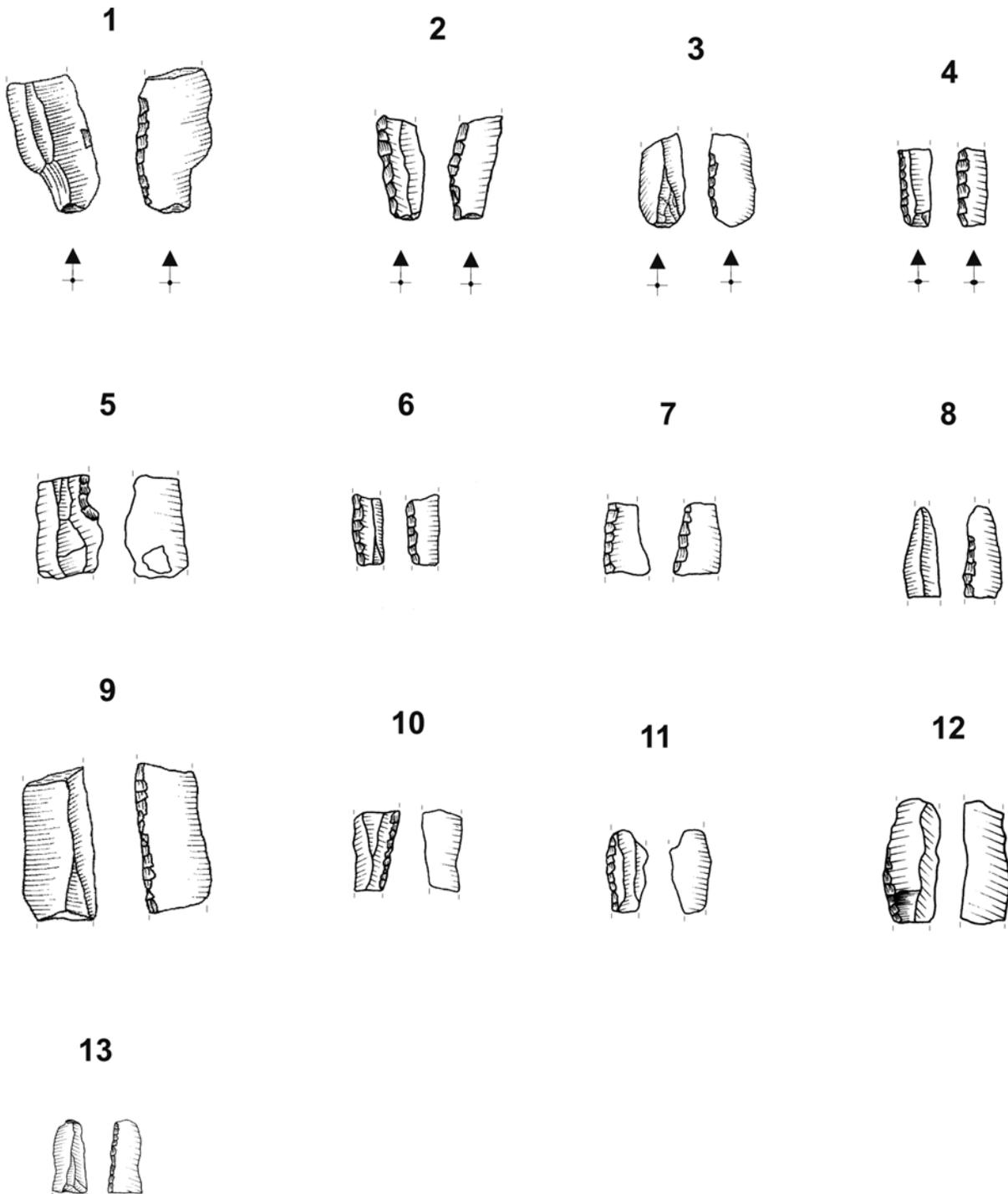


Lámina 1. Abrigo de La Viña. Sector Central. Conjunto de laminillas Dufour procedentes del nivel IX. 1- 4 fragmentos transversales proximales; 5- 12 fragmentos transversales mesiales; 13 fragmento transversal distal.

Plate 1. La Viña Rock Shelter. Central Area. Dufour bladelets from level IX. 1- 4 transversal proximal fragments; 5- 12 transversal mesial fragments; 13 transversal distal fragment.

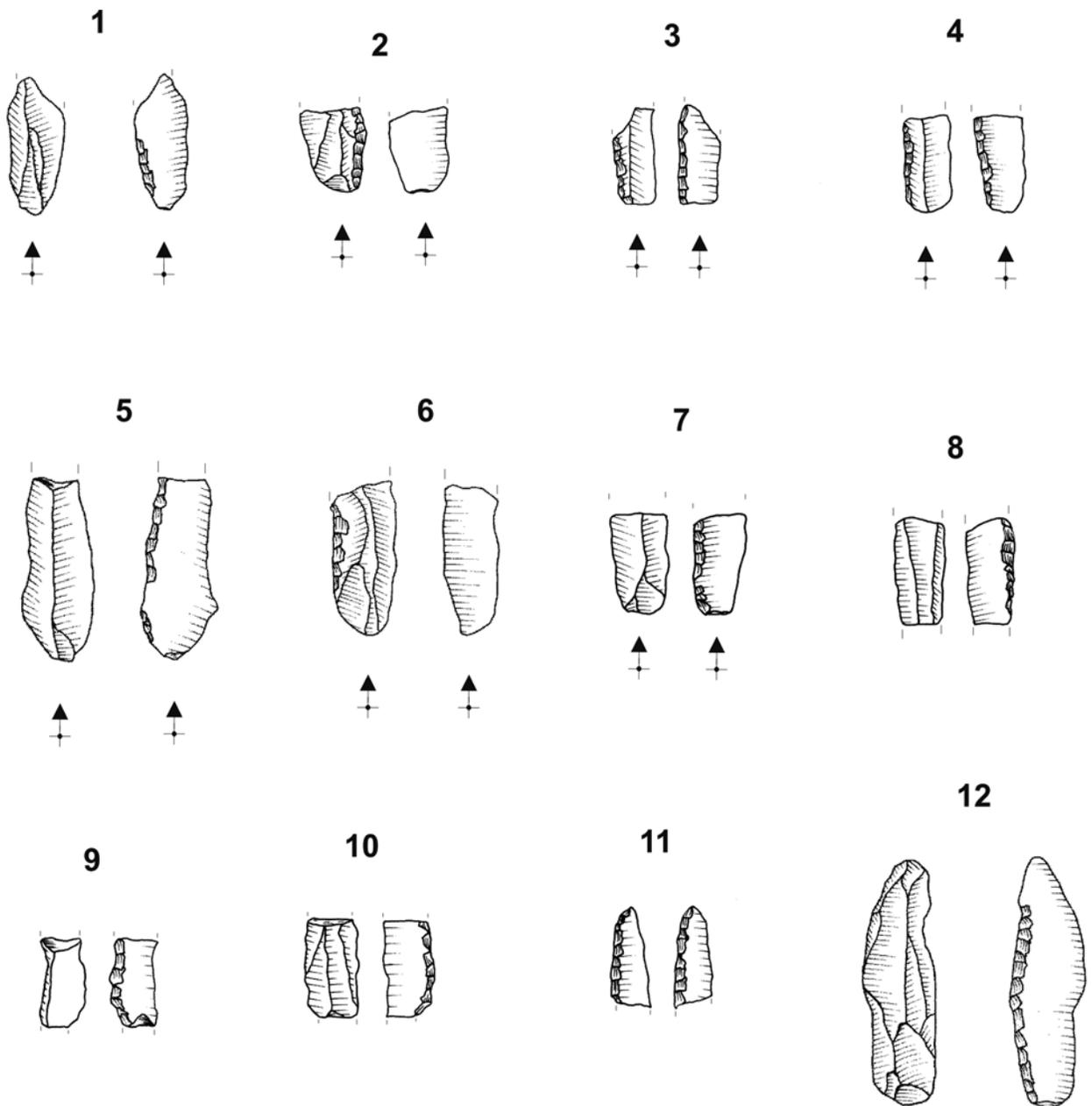


Lámina 2. Abrigo de La Viña. Sector Central. Conjunto de laminillas Dufour procedentes del nivel VIII. Lámina 2. Abrigo de la Viña. Sector Central. 1- 7 fragmentos transversales proximales; 8- 10 fragmentos transversales mesiales; 11 fragmento transversal distal; 12 pieza completa.  
Plate 2. La Viña Rock Shelter. Central Area. Dufour bladelets from level VIII. 1- 7 transversal proximal fragments; 8- 10 transversal mesial fragments; 11 transversal distal fragment; 12 complete.

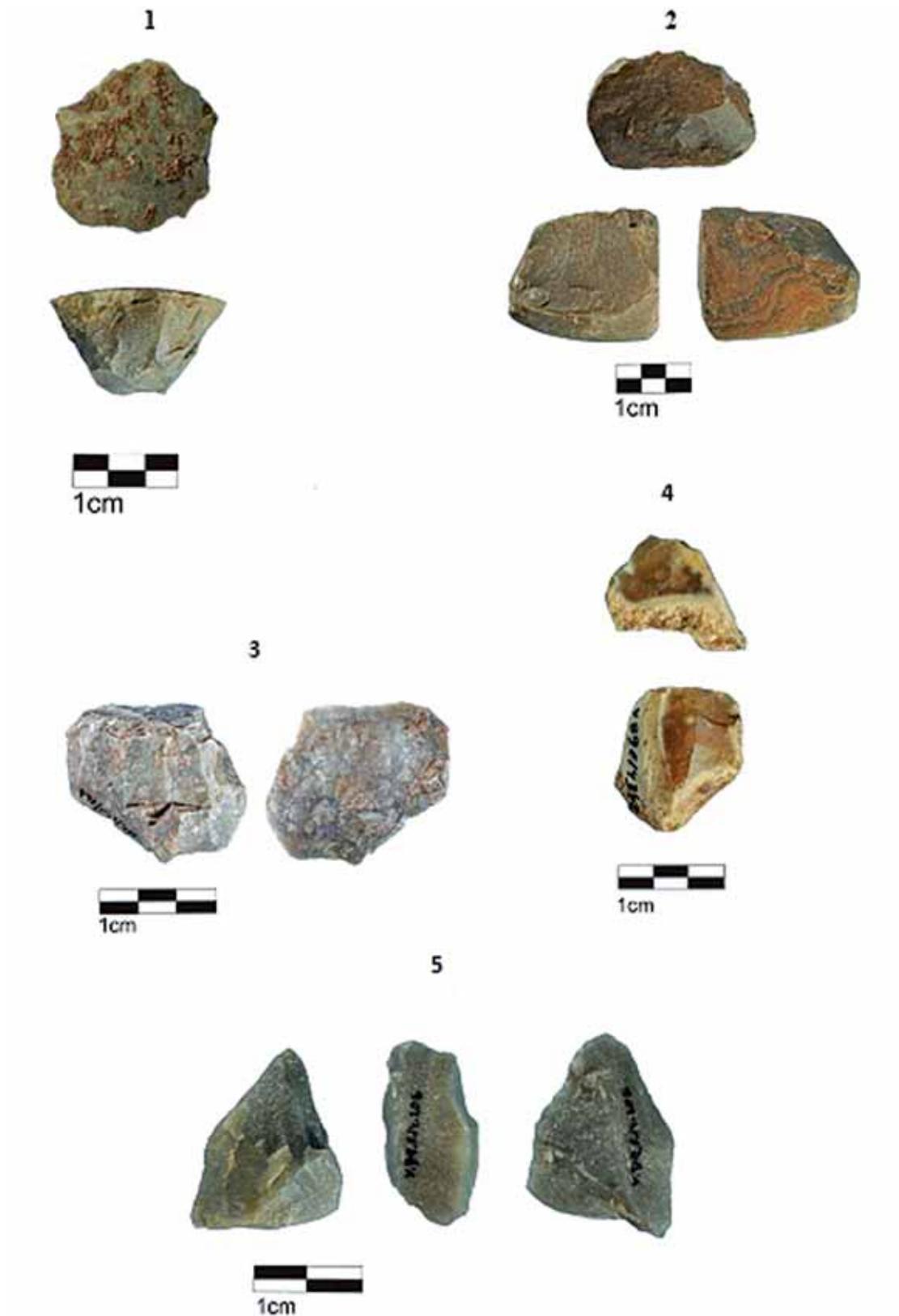


Lámina 3. Abrigo de La Viña. Sector Central. Muestra de núcleos procedentes de los niveles IX y VIII. 1- Núcleo piramidal; 2- Núcleo prismático unipolar sobre lasca; 3- Flanco de núcleo microlaminar; 4- Núcleo prismático unipolar; 5- Núcleo buril sobre lasca.  
 Plate 3. La Viña Rock Shelter. Central Area. Cores sample from levels IX and VIII. 1- Pyramidal core; 2- Unipolar prismatic core on flake; 3- Microlaminar core flank; 4- Unipolar prismatic core; 5- Burin core on flake.

Variable	Varianza	gl	F	p- valor
Longitud	Inter- grupos	6	18,338	,000
	Intra- grupos	107		
Anchura	Inter- grupos	6	3,793	,002
	Intra- grupos	107		
Espesor	Inter- grupos	6	2,335	,037
	Intra- grupos	107		

Tabla I: Abrigo de La Viña. Sector Central. Resultados de la prueba del Anova aplicada al estudio tipométrico de los núcleos del nivel IX.

Table I: La Viña Rock Shelter. Central Area. Anova test results applied to the cores typometric study from level IX.

Variable tipométrica	Varianza	gl	F	p- valor
Longitud	Inter- grupos	7	3,550	0,005
	Intra- grupos	39		
Anchura	Inter- grupos	7	1,515	0,191
	Intra- grupos	39		
Espesor	Inter- grupos	7	1,023	0,431
	Intra- grupos	39		

Tabla III: Abrigo de La Viña. Sector Central. Resultados de la prueba del Anova aplicada al estudio tipométrico de los núcleos del nivel VIII.

Table III: La Viña Rock Shelter. Central Area. Anova test results applied to the cores typometric study from level VIII.

Tipo	Mat. Prima	N	Estadístico	Longitud	Anchura	Espesor
N. prismático	Cuarcita	12		34,103	43,024	35,236
	Sílex	18		8,0942	15,3310	11,9435
N. Poliédrico	Cuarcita	9		26,529	26,841	27,687
	Sílex	3		7,0490	6,0042	9,8599
N. Discoide	Cuarcita	1		40,449	33,634	26,564
	Sílex	2		7,1416	5,3366	7,9438
	Otros	9		37,270	30,137	18,773
N. raspador	Cuarcita	1		6,1225	5,4042	1,8103
	Sílex	49		39,850	32,270	22,120
N. buril	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	1		51,525	48,325	22,980
N. piramidal	Cuarcita	1		15,3937	14,4745	3,5072
	Sílex	2		25,358	36,987	46,787
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		6,1005	12,3892	12,0224
	Sílex	6		18,857	23,669	30,490
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		5,2908	7,5880	8,2041
	Sílex	1		27,640	19,910	35,510
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	1		51,920	36,050	25,970
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	2		21,705	23,225	16,960
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		3,8113	2,7224	4,7093
	Sílex	2		42,560	25,720	18,620
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	6		19,083	20,355	27,272
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		8,2831	6,5466	8,3769
	Sílex	6				

Tabla II: Abrigo de La Viña. Sector Central. Media y desviación típica de la longitud, anchura y espesor según materia prima de los núcleos del nivel IX.

Table II: La Viña Rock Shelter. Central Area. Average and standard deviation of the length, width and thickness of the cores by raw material from level VIII.

Tipo	Mat. Prima	N	Estadístico	Longitud	Anchura	Espesor
N. prismático	Cuarcita	4		36,848	53,645	33,978
	Sílex	13		9,5940	6,6562	12,2681
N. Poliédrico	Cuarcita	4		25,466	33,588	23,703
	Sílex	1		6,4271	11,6199	7,8231
N. Discoide	Cuarcita	2		70,583	62,210	38,718
	Sílex	3		19,1134	23,6716	19,8164
	Otros	1		24,240	49,270	37,700
N. raspador	Cuarcita	2		-	-	-
	Sílex	3		50,420	65,490	38,850
N. buril	Cuarcita	1		19,8556	47,3903	24,48
	Sílex	1		32,883	39,587	32,373
N. piramidal	Cuarcita	1		26,9678	19,2846	22,2453
	Sílex	2		21,730	31,920	21,870
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	2		50,070	49,320	25,660
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	1		28,040	58,810	35,420
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	2		13,020	19,470	19,700
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	2		21,875	24,115	17,555
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		8,1812	0,4172	0,4172
	Sílex	2		23,500	37,340	58,840
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		-	-	-
	Sílex	2		16,085	23,235	30,715
N. microlaminar mixto	Cuarcita	1		2,3688	10,5995	1,1384
	Sílex	2				

Tabla IV: Abrigo de La Viña. Sector Central. Media y desviación típica de la longitud, anchura y espesor según materia prima de los núcleos del nivel IX.

Table IV: La Viña Rock Shelter. Central Area. Average and standard deviation of the length, width and thickness of the cores by raw material from level IX.

NIVEL IX	S. Pi.		S. Pd.		S. alt.		S. indet.		Cuarcita		Cristal de roca		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
LML RESTO DE TALLA	57	21,7	78	29,8	40	15,3	29	11,1	55	21	3	1,1	262	100
LML RETOCADAS	27	47,4	14	24,5	3	5,3	7	12,3	5	8,8	1	1,7	57	100
LML DUFOUR	6	46,2	7	53,8	-	-	-	-	-	-	-	-	13	100
NÚCLEOS	22	16,3	48	35,5	22	16,3	2	1,5	41	30,4	-	-	135	100

Tabla V: Abrigo de La Viña. Sector Central. Tipos de materias primas identificadas según las diferentes categorías de piezas analizadas del nivel IX.  
Table V: La Viña Rock Shelter. Central Area. Kind of raw materials identified according to the different categories of artifacts analyzed from level IX.

NIVEL VIII	S. Pi.		S. Pd.		S. Flysch		S. alt.		S. indet.		Cuarcita		Cristal de roca		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
LML RESTO DE TALLA	18	18,4	34	34,7	-	-	9	9,2	6	6,1	31	31,6	-	-	98	100
LML RETOCADAS	-	-	15	57,7	2	7,7	8	30,8	-	-	-	-	1	3,8	26	100
LML DUFOUR	2	16,7	7	58,3	-	-	3	25	-	-	-	-	-	-	12	100
NÚCLEOS	3	6,5	18	39,2	2	4,3	3	6,5	2	4,3	16	34,9	2	4,3	46	100

Tabla VI: Abrigo de La Viña. Sector Central. Tipos de materias primas identificadas según las diferentes categorías de piezas analizadas del nivel VIII. Abreviaturas: S.Pi. (sílex de Piloña); S.Pd. (sílex de Piedramuelle); S.alt. (sílex alterado); S.indet. (sílex indeterminado).

Table VI: La Viña Rock Shelter. Central Area. Kind of raw materials identified according to the different categories of artifacts analyzed from level VIII. Abbreviations: S.Pi. (chert of Piloña); S.Pd. (chert of Piedramuelle); S.alt. (alterate chert); S. Indet. (indeterminate chert).

ABREVIATURAS: S.Pi. (sílex de Piloña); S.Pd. (sílex de Piedramuelle); S.alt. (sílex alterado); S.indet. (sílex indeterminado).

Nivel IX	TP		TM		TD		M		C		LDD		LIM		TOTAL	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
LML RESTO DE TALLA	18	18,4	34	34,7	-	-	9	9,2	6	6,1	31	31,6	-	-	98	100
LML RETOCADAS	-	-	15	57,7	2	7,7	8	30,8	-	-	-	-	1	3,8	26	100
LML DUFOUR	2	16,7	7	58,3	-	-	3	25	-	-	-	-	-	-	12	100

Tabla VII: Abrigo de La Viña. Sector Central. Clasificación de los soportes del nivel IX según las categorías de fracturas propuestas por HISCOCK 2002. Abreviaturas: TP (transversal proximal); TM (transversal mesial); TD (transversal distal); M (marginal); C (completa); LDD (longitudinal derecha distal); LIM (longitudinal izquierda mesial).

Table VII: La Viña Rock Shelter. Central Area. Classification of the blanks from level IX according to the fracture categories proposed by HISCOCK 2002. Abbreviations: TP (proximal transversal); TM (mesial transversal); TD (distal transversal); M (marginal); C (complete); LDD (longitudinal right distal); LIM (longitudinal left mesial).

Nivel VIII	TP		TM		TD		M		C		LIM		TOTAL	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
LML RESTO DE TALLA	8	9,6	26	31,3	27	32,5	7	8,4	14	16,9	1	1,3	83	100
LML RETOCADAS	8	27,6	8	27,6	4	13,8	5	17,2	4	13,8	-	-	29	100
LML DUFOUR	7	58,4	3	25	1	8,3	-	-	1	8,3	-	-	12	100

Tabla VIII: Abrigo de La Viña. Sector Central. Clasificación de los soportes del nivel VIII según las categorías de fracturas propuestas por Hiscock 2002. Abreviaturas: TP (transversal proximal); TM (transversal mesial); TD (transversal distal); M (marginal); C (completa); LDD (longitudinal derecha distal); LIM (longitudinal izquierda mesial).

Table VIII: La Viña Rock Shelter. Central Area. Classification of the blanks from level VIII according to the fracture categories proposed by HISCOCK 2002. Abbreviations: TP (proximal transversal); TM (mesial transversal); TD (distal transversal); M (marginal); C (complete); LDD (longitudinal right distal); LIM (longitudinal left mesial).

ABREVIATURAS: TP (transversal proximal); TM (transversal mesial); TD (transversal distal); M (marginal); C (completa); LDD (longitudinal derecha distal); LIM (longitudinal izquierda mesial).

Nº inventario	Cuadro	Subcuadro	Capa	Nivel	Tipos de huellas					
					Ocre	Marca tecnológica	Esquirlamientos	Redondeamiento	Abrasión	Micropulido
206	E14	5	28	IX	x					
210	E14	6	28	IX	x	x	x	x		
957	F14	4	24	IX inf			x	x		
984	F14	3	25	IX inf	x	x		x	x	
996	F14	4	25	IX inf	x		x		x	x
1080	F14	4	26	IX inf	x		x			
1107	F14	9	26	IX inf	x	x	x		x	
1191	F14	9	27	IX inf	-	-	-	-	-	-
450	D14	9	14	IX	-	-	-	-	-	-
432	D14	6	13	IX	-	-	-	-	-	-
314	E14	3	29	IX	x		x	x		
314 bis	E14	3	29	IX	-	-	-	-	-	-
282	E14	3	29	IX	-	-	-	-	-	-
3	C14	8	1	VIII	x		x	x	x	
311	D14	3	9	VIIIc				x	x	
333	D14	1-2	10	VIIIc	x		x	x		x
362	D14	1-2	11	VIIIc	x	x	x	x	x	
609	F14	3	21	VIIIc			x	x		x
682	F14	4	22	VIIIc	x		x	x		x
704	F14	6	22	VIIIc	x		x	x		
787	E14	1	23	VIII			x			
837	E14	1	24	VIIIc	x		x	x	x	
879	B14	5	12	VIII				x		x
966	B14	4	14	VIII		x	x			x
989	E14	3	26	VIIIc			x	x	x	x

Tabla IX: Abrigo de La Viña. Sector Central. Relación de los diferentes tipos de restos y huellas de uso microscópicas identificadas en las laminillas Dufour procedentes de los niveles IX y VIII.

Table IX: La Viña Rock Shelter. Central Area. List of the different kinds of items and microscopic usewear traces identified in the Dufour bladelets from levels IX and VIII.



# Registros sedimentarios como indicadores paleoambientales y de la actividad antrópica durante la Neolitización: La Cueva de Els Trocs y su entorno (Abella, Huesca)

## Sedimentary records as paleoenvironmental indicators and human activity during the beginning of the Neolithic in the Iberian Peninsula: The Els Trocs Cave and its surroundings (Abella, Huesca)

**PALABRAS CLAVES:** Neolítico, Pirineos Centrales, Sedimentos exokársticos, Geoquímica XRF, Deforestación.  
**KEY WORDS:** Neolithic, Central Pyrenees, Exokarstic sediments, XRF Geochemistry, Deforestation.

Naiara URÍA BLANCO<sup>(1)</sup>

### RESUMEN

Se presenta un estudio geoarqueológico (estratigrafía, sedimentología, dataciones radiométricas y geoquímica XRF) del relleno de una dolina (sedimento exokárstico) ubicado en el Pirineo central, en las inmediaciones de la Cueva de Els Trocs, en Abella (Huesca). Este análisis tiene como objetivo investigar el relleno sedimentario de una dolina en las inmediaciones del yacimiento Neolítico de la Cueva de Els Trocs y detectar la posible presencia de indicadores de actividad antrópica relacionada con la neolitización del área. Distintos indicadores sedimentarios y geoquímicos apuntan a la existencia de eventos de deforestación y subsiguiente aumento de erosión de los suelos relacionados a la actividad ganadera realizada por las sociedades neolíticas.

### ABSTRACT

This work addresses the geoarchaeological study (stratigraphy, sedimentology, radiocarbon dating and XRF geochemistry) of exokarstic sediments from a doline near the Neolithic archaeological site called Els Trocs Cave (Abella, Huesca), located in high altitude mountain area of the Central Pyrenees. This study aims to detect and characterize the potential record of palaeoenvironmental changes and human activities in the area since the Neolithic. The results obtained point to the occurrence of Neolithic anthropic deforestation events and subsequent soil erosion/sedimentation phases in order to get pasture areas.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo la alta montaña europea se ha considerado para la prehistoria como un lugar culturalmente marginado, sin apenas actividad humana. Sin embargo, y gracias a los cada vez más numerosos estudios arqueológicos y paleoambientales realizados en estas áreas, se han descubierto pruebas de que la ocupación humana y la gestión del terreno en la alta montaña era un hecho ya desde el Neolítico.

El presente estudio es una aportación al proyecto AGRIWESTMED: *Origins and spread of agriculture in the south-western Mediterranean region, financiado por el European Research Council* y dirigido por la Dra. Leonor Peña-Chocarro (CCHS-CSIC), cuyo objetivo principal es conocer el origen de la agricultura en la Península Ibérica y norte de África durante el inicio del Neolítico. Por esta razón se ha realizado un meticuloso estudio multidisciplinar (arqueología, dataciones radiométricas, antracología, carpología, ADN antiguo de cereales, reconstrucción paleoambiental, etc.) de diversos yacimientos neolíticos tanto en cuevas como al aire libre, y su entorno, a lo largo de la Península Ibérica y el norte de África.

Este trabajo fin de máster (TFM) aborda el estudio paleoambiental mediante la estratigrafía, sedimentología, dataciones radiométricas y geoquímica del entorno de un yacimiento de altura en la ladera sur del

<sup>(1)</sup> Master en Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana, Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco. Aptdo. 644, Bilbao, Bizkaia.

Directores: Eneko Iriarte Avilés. Laboratorio de Evolución Humana, Departamento de Ciencias Históricas y Geografía, Universidad de Burgos.

Pirineo central, la Cueva de Els Trocs. Se pretende investigar si un campo de dolinas adyacente fue utilizado y gestionado con fines relacionados con la agricultura y/o la ganadería durante el Neolítico. Más concretamente se estudia un sondeo realizado en el relleno de una dolina situada en la cercanía de la Cueva de Els Trocs.

## 2.- LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

La zona de estudio se encuentra en el extremo nororiental de la provincia de Huesca, equidistante de los núcleos de población de La Muria y Abella, pertenecientes a los municipios de Bisaurri y Laspaules respectivamente (Fig. 1).



Figura 1. Foto de localización de la Cueva de Els Trocs (Tomada de Google Earth).  
Figure 1. Location of the Cave of Els Trocs (Google Earth).

La Cueva de Els Trocs se localiza muy cerca de la localidad de Abella, aunque en el término municipal de Bisaurri (Huesca). Se encuentra en la parte baja de una fuerte ladera orientada al sureste de un cerro alomado de calizas cretácicas con superficie de lapiaz, densamente cubierto de vegetación, sobre todo erizones y boj, aunque con alguna mancha de pino silvestre. La cueva se sitúa a una altitud de 1.5000 m.s.n.m. Destaca en su entorno inmediato la existencia de una planicie kárstica, denominada partida de la Selva-

plana. Hacia el sur el paisaje aparece dominado por la Sierra del Turbón (Figs. 1 y 2).

En rasgos generales, las calizas cretácicas en las que se localiza la Cueva de Els Trocs se integran dentro de la Unidad Surpirenaica o "cinturón" de cabalgamientos surpirenaicos, un conjunto de láminas cabalgantes desplazadas hacia el sur con materiales mesozoicos y terciarios. En la Unidad Surpirenaica Central, como tradicionalmente se ha denominado, se localiza dentro de la unidad cabalgante denominada como la Lámina de Boixols, en la que se encuadra la Sierra del Turbón. Esta lámina

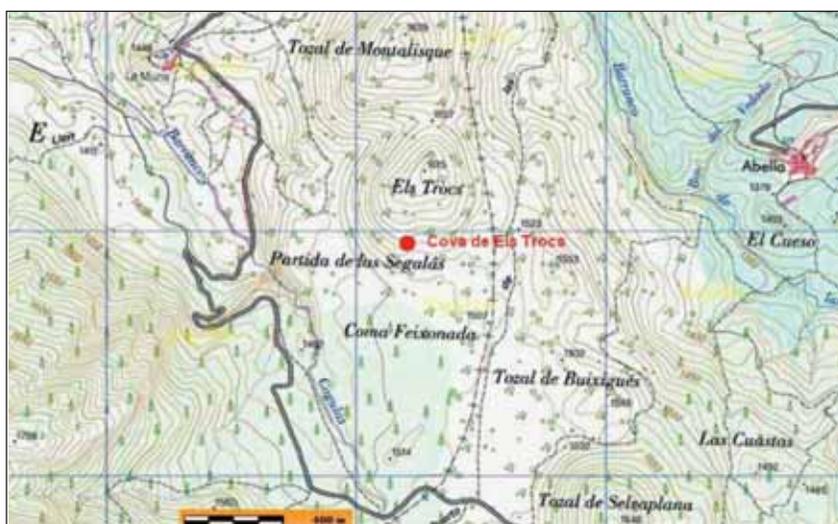


Figura 2. Mapa de localización de la cueva de Els Trocs y la llanura de la Selva-plana inmediatamente al S (denominada Coma Feixonada-Tozal de Buixugues en el mapa).  
Figure 2. Location map of the Els Trocs cave and the neighbouring Selva-plana karstic plain immediately to the S (called Feixonada-Tozal of Buixugues on the map).

viene constituida por una potente serie de unos 2 km. de espesor de materiales, principalmente calcáreos marinos, del Jurásico y Cretácico. Concretamente la cueva se desarrolla en calizas del Cretácico Superior.

Los sondeos estudiados se realizaron en el relleno de una de las numerosas dolinas que constituyen la planicie denominada Selvapiana, adyacente al yacimiento de Els Trocs.

### 3.- MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Estudio del yacimiento arqueológico

Las tareas de estudio del yacimiento arqueológico de la Cova de Els Trocs incluyen la realización de análisis geoarqueológicos dirigidos al estudio de los niveles estratigráficos del yacimiento (no tratados en este Proyecto de Fin de Máster) así como la localización y estudio de posibles registros sedimentarios en su entorno que ayuden a contextualizar paleoambientalmente el yacimiento. Esta metodología busca detectar posibles procesos y cambios ambientales relacionados con la actividad antrópica y/o natural.

El sistema de registro empleado en la excavación ha sido el habitual en el equipo del profesor D. Manuel Rojo (Universidad de Valladolid) en otros yacimientos neolíticos de similar cronología. Se basa en la documentación exhaustiva de todos los niveles y materiales arqueológicos asociados, mediante estación total de topografía, planimetrías, estratigrafías, fotografía y vídeo digital en alta definición. En el caso concreto de la Cueva de Els Trocs, el método de trabajo de campo implica la excavación en área, por niveles naturales, excavando por tallas y semitallas, con una cuadrícula de dos metros de lado subdividida en sectores. La recuperación de todas las evidencias materiales y su registro tridimensional con estación total implica una excavación manual de la estratigrafía necesariamente minuciosa y lenta, pero que permite la documentación exhaustiva del proceso de excavación y el registro minucioso de todo el material arqueológico recuperado. Del mismo modo, se ha desarrollado el sistema de recuperación de evidencias orgánicas que en este yacimiento son muy abundantes y bien conservadas gracias a la alta humedad de la cueva y a sus bajas temperaturas que permiten la conservación de elementos orgánicos, como semillas, hojas, carbones, maderas o huesos. Esto ha permitido la recuperación de miles de evidencias orgánicas, así como microfauna, elementos de adorno, restos de talla lítica e incluso restos cerámicos. Todo ello, ha permitido caracterizar un yacimiento Neolítico de una importancia y localización inusitada (ROJO, 2010).

#### 3.2. Realización de los sondeos

En Julio de 2010 se realizaron 2 sondeos gemelos para la recuperación y estudio de los sedimentos del relleno de una dolina situada en un pastizal de la llanura kárstica de la Selvapiana, en las inmediaciones de la Cueva de Els Trocs (Fig. 3). Estos sondeos se realizaron mediante una sondeadora mecánica Van Walt/Eijkelpamp que permite la recuperación del testigo completo en maniobras de 1 m (Fig. 3). Las coordenadas UTM del lugar de sondeo son: 31T 298462 m (E) 4702449 m (N).



Figura 3. Fotografía del proceso de excavación del yacimiento de Els Trocs y sondeadora mecánica en el punto de sondeo Trocs-1 en la llanura kárstica de la Selvapiana.  
Figure 3. Excavation process in Els Trocs and the window sampler corer at the Trocs-1 core site in the Selvapiana karst.

El sondeo estudiado es el denominado Trocs-1, alcanzó una profundidad de 154 cm hasta el contacto con el sustrato calizo. Problemas técnicos impidieron la recuperación de los 50 cm superiores del sondeo; no obstante, el sondeo gemelo TR1 realizado a menos de 2 metros de distancia permitió recuperar dicho intervalo del que se utilizarán en este trabajo únicamente las dataciones en él realizadas (Fig. 4). Tras la obtención de los testigos del sondeo estos fueron debidamente sellados, rotulados y guardados en una cámara frigorífica a 3-4 °C hasta su apertura para ser muestreados y analizados.

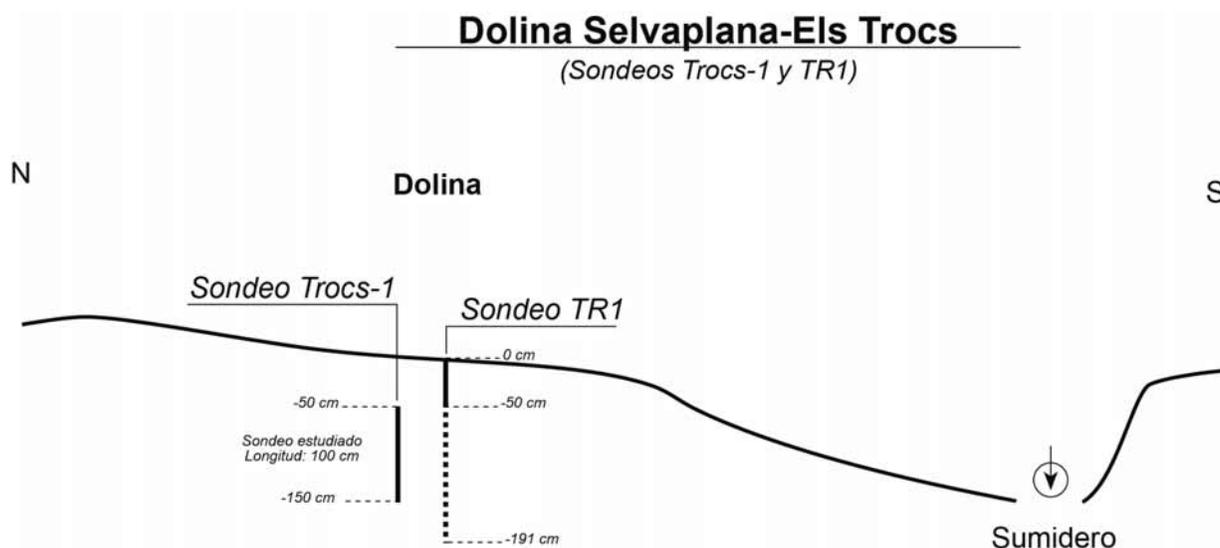


Figura 4. Esquema de los sondeos realizados en el relleno de la dolina en la Selvaplana.  
Figure 4. Field sketch of the cores taken in the Selvaplana doline.

### 3.3. Estratigrafía y sedimentología del sondeo

El sondeo Trocs-1 se ha dividido en 2 unidades estratigráficas (Fig. 5), la Unidad 1 basal, va desde el cm 73 hasta el cm 114 de la Figura 5 y la Unidad 2 va desde el cm 14 hasta el cm 73. Ambas unidades comprenden el metro de sedimento recuperado desde los 50 cm a los 164 cm de profundidad del sondeo Trocs-1 (Fig. 4).

Se han distinguido además 5 subunidades estratigráficas (1a a 1e) en la Unidad 1 en base a la presencia de distintas facies sedimentarias (Fig. 5). Así se han diferenciado a lo largo del sondeo tres facies sedimentarias: una de arcillas rojas masivas con un contenido de materia orgánica variable, otra correspondiente a arcillas rojas carbonosas y por último una facies de arcillas rojas con clastos inferiores a un cm.

En la Unidad 1 se ven representadas las dos últimas facies. Así, la alternancia de éstas delimita la extensión de las diferentes subunidades estratigráficas diferenciadas (Fig. 5):

- Subunidad 1a: 1080mm-1150mm; Arcilla rojiza con fragmentos muy pequeños (< mm) de carbón vegetal.
- Subunidad 1b: 980mm-1080mm; Arcilla rojiza con clastos carbonatados inferiores al cm.
- Subunidad 1c: 915mm-980mm; Arcilla rojiza con fragmentos muy pequeños (< mm) de carbón vegetal.
- Subunidad 1d: 855mm -915mm; Arcilla rojiza con clastos inferiores al cm o clastos calizos posiblemente calcinados.
- Subunidad 1e: 730mm-855mm; Arcilla rojiza con fragmentos muy pequeños (< mm) de carbón vegetal.

La Unidad 2, en cambio, no presenta subunidades y solamente está constituida por una facies sedimentaria. Se caracteriza por contener una arcilla rojiza masiva, la cual se va oscureciendo progresivamente hacia el techo del sondeo (Fig. 5). Dicho oscurecimiento se interpreta debido al paulatino incremento de materia orgánica descompuesta en el sedimento.

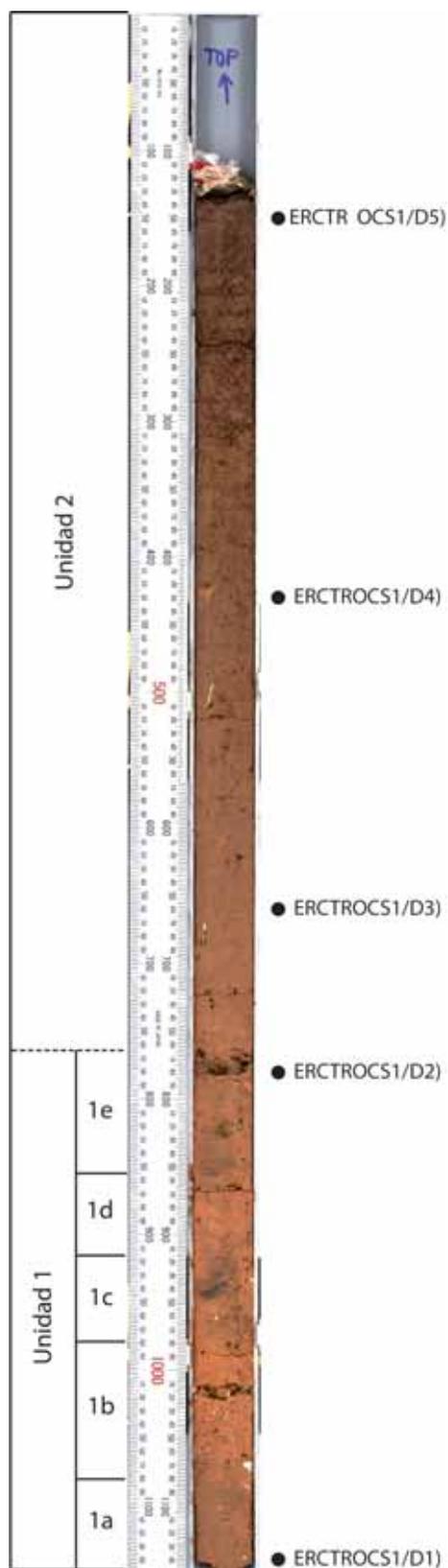


Figura 5. Estratigrafía del Sondeo Trocs-1 y posición de las muestras datadas mediante radiocarbono.  
Figure 5. Stratigraphy of the Trocs-1 core and location of radiocarbon dating samples.

### 3.4. Datación Radiométrica y Cronología del Sondeo

La cronología del sondeo Trocs1 se ha definido a través de la datación radiométrica mediante radiocarbono ( $\delta^{14}\text{C}$  AMS) de 5 muestras. La información referente a las muestras datadas se encuentra en la tabla anexa sobre las dataciones (Anexo I). A su vez, se ha realizado también la datación radiométrica al sondeo TR1, donde se han analizado dos muestras y la más superficial de ellas (profundidad de 18 cm) será utilizada a la hora de datar los 50 cm superficiales no recuperados en el sondeo Trocs-1 (Anexo I).

Es importante señalar que la muestra ERCTROCS1/D2 da una cronología de edad invertida seguramente debido al efecto de envejecimiento de la madera, por el que según la edad del árbol pueden darse cronologías significativamente envejecidas (hasta varios cientos de años), y al posible retrabajamiento de carbones más antiguos.

A partir de los datos de las dataciones radiométricas, se han interpolado las edades y se ha realizado el modelo Edad-Profundidad del sondeo utilizando el paquete estadístico R/Clam (BLAAUW, 2010). Este modelo permite definir de manera estadística la edad de las distintas profundidades del sondeo.

### 3.5. Estudio geoquímico del sondeo mediante XRF Core-Scanner

La composición elemental del sondeo Trocs-1, ha sido analizado mediante un equipo de fluorescencia de rayos X (XRF) adaptado a su uso con muestras de sondeo continuo marca *Avaatech XRF-Core Scanner*. El análisis geoquímico se realizó en el *Laboratorio de XRF Core Scanner* de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona (Departamento de Estratigrafía, Paleontología y Geociencias Marinas). Este es un método no destructivo, no hace falta pulverizar la muestra para su análisis, y semicuantitativo, no se obtiene la cantidad absoluta de los elementos en la muestra pero sí la proporción de cada elemento medido respecto a los otros. Permite el análisis de la composición química elemental desde el Al hasta el U y la obtención de fotografías digitales de alta resolución en luz visible y UV de las muestras.

La preparación de la muestra consiste en el corte y apertura longitudinal del sondeo, utilizándose una mitad para ser analizado geoquímicamente y fotografiado por la cámara de alta resolución del propio escáner (Fig. 5). La otra mitad se utilizó para el estudio palinológico actualmente en curso.

El análisis mediante XRF se ha realizado con un intervalo de medida de 1 cm (110 medidas en total a lo largo del sondeo), utilizando una lámpara de Rhodio como fuente y dos intensidades de medida, 10 kV y 30 kV. La primera de las mediciones se realizó con un voltaje de 10 kV, una intensidad de corriente de 1000  $\mu\text{A}$ , y el tiempo de medida fue de 10 s,

habiéndose medido los siguientes elementos: Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Rh y Ag (Anexo II). La segunda de las medidas se hizo con un voltaje de 30 kV, con una intensidad de corriente de 2000  $\mu$ A, y un tiempo de medida de 25 s y la utilización de un filtro de Pd, habiéndose medido los siguientes elementos: Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb y U.

Los datos obtenidos fueron utilizados para estudiar la variación de distintos elementos y ratios elementales significativos desde el punto de vista paleoambiental y sedimentológico. Intentando inferir así eventos, tendencias, oscilaciones o ciclicidades en su distribución a lo largo del sondeo que pudieran reflejar la actividad de distintos procesos ambientales y/o antrópicos.

### 3.6. Análisis de Componentes Principales (PCA)

Para optimizar el estudio de los datos geoquímicos obtenidos mediante la XRF se ha realizado un Análisis de Componentes Principales (PCA). Este es un método de la estadística multivariante utilizado para buscar agrupamientos "naturales" de los datos, componentes principales, y extraer una estructura latente de los datos analizados. Se pretende definir y posteriormente interpretar los factores que explican la variabilidad de los datos geoquímicos, los distintos componentes principales. Así el método agrupa los elementos químicos en componentes principales según su correlación, de manera que los factores (procesos ambientales, sedimentarios, antrópicos...) que expliquen esas correlaciones o componentes principales, serán los que determinen la variabilidad de dichos elementos a lo largo del sondeo.

A la hora de realizar el Análisis de Componentes Principales este es el flujo de procesos realizados:

1. Filtrado y selección de los datos analíticos.
2. Normalización de los valores utilizando el método de las Puntuaciones-Z.
3. Realización del Análisis de Componentes Principales utilizando el software SPSS 19.0.
4. Obtención de Componentes Principales o factores significativos para nuestros datos.
5. Cálculo de la varianza explicada por cada factor y la varianza total.
6. Analizar los 'scores' (puntuaciones) y los 'loadings' (pesos) de cada componente.
7. Identificar qué variables influyen en cada componente.
8. Interpretación de los Componentes Principales, definición de los factores que los controlan, es decir, identificación de los procesos ambientales que rigen la varianza de los elementos químicos y su evolución temporal.

## 4.- RESULTADOS

### 4.1. Estratigrafía y sedimentología

El sedimento recuperado en el sondeo es arcilloso y homogéneo, tan sólo muestra variaciones en cuanto al contenido en materia orgánica y granulometrías más groseras de manera puntual. Esto denota unas condiciones de sedimentación debidas a procesos constantes, de la misma naturaleza, a lo largo del tiempo sin cambios mayores, en este caso constituyendo el relleno de una dolina.

El origen del sedimento correspondiente a arcillas rojas, con un alto contenido en óxidos de hierro, se interpreta como transportado por flujos tractivos de muy baja energía y depositados en el fondo de una dolina por decantación y/o apantallamiento de la vegetación. El agua de lluvia erosionaría y transportaría por esorrentía superficial sedimentos de los suelos de las laderas adyacentes hasta la dolina.

Episódicamente y sólo en la Unidad 1, se diferencian facies carbonosas, que denotan la incorporación al sedimento de restos vegetales quemados (subunidades 1a, 1c y 1e) que se alternan con intervalos (subunidades 1b y 1d) con presencia de clastos hasta centimétricos de caliza que denotan una mayor erosión del sustrato y mayor energía de transporte.

## 4.2. Datación y cronología del sondeo

A partir de los resultados de las muestras datadas (Tabla I y Anexo I) sabemos que el sondeo abarca los últimos c. 7500 años, es decir, desde el Neolítico hasta prácticamente la actualidad. La datación basal (ERCTROCS1/D1, base de subunidad 1a) da una edad 7570-7330 años cal BP, mientras que la muestra más superficial (ERCTR1-1/D1, a 18 cm de la superficie en el sondeo TR1) corresponde a una edad de 500-320 años cal BP. Cabe mencionar la presencia de una edad invertida para la muestra de la subunidad 1c (ERCTROCS1/D2, a 128 cm de profundidad) que arroja una edad de casi un milenio más antigua (8590-8420 años cal BP) que la datación basal ya mencionada. Teniendo en cuenta el origen del sedimento, derivado de la erosión de suelos adyacentes y el efecto de envejecimiento de la madera, esta edad podría corresponder a material orgánico antiguo conservado en los suelos afectados por la erosión y redepositados en la dolina. Por todo ello, esta datación no ha sido tomada en cuenta a la hora de construir el modelo Edad/Profundidad del sondeo (Fig. 6).

Sondeo	Muestra	Sigla Laboratorio	Profundidad (cm)	Material datado	Edad Radiocarbono Convencional (BP)	Edad Calibrada (2σ) Cal BC/AD	Edad Calibrada (2σ) Cal BP	Curva calibración
TROCS1	ERCTROCS1/D1	Beta-298744	147	Sedimento arcilloso con fragmentos carbón	6550 ± 60	5620-5460, 5440-5420, 5410-5380 Cal BC	7570-7410, 7390-7370, 7360-7330	IntCal 09
TROCS1	ERCTROCS1/D2	Beta-315852	128	Sedimento arcilloso con fragmentos carbón	7720 ± 40	6640-6470 Cal BC	8590-8420	IntCal 09
TROCS1	ERCTROCS1/D3	Beta-315853	116	Sedimento arcilloso con materia orgánica	6500 ± 30	5510-5500, 5490-5470, 5400-5390 Cal BC	7460-7450, 7440-7420, 7360-7340	IntCal 09
TROCS1	ERCTROCS1/D4	Beta-315854	93	Sedimento arcilloso con materia orgánica	6290 ± 30	5320-5220 Cal BC	7270-7160	IntCal 09
TROCS1	ERCTROCS1/D5	Beta-315855	52	Sedimento arcilloso con materia orgánica	1710 ± 30	250-410 Cal AD	1700-1540	IntCal 09
TR1	ERCTR1-1/D1	Beta-315856	18	Sedimento arcilloso con fragmentos carbón	370 ± 30	1450-1530 Cal AD, 1540-1550 Cal AD, 1550-1630 Cal AD	500-420, 410-400, 400-320	IntCal 09
TR1	ERCTR1-2/D2	Beta-315857	191	Sedimento arcilloso con fragmentos carbón	5640 ± 30	4540-4440, 4420-4400, 4380-4370 Cal BC	6490-6400, 6370-6350, 6330-6320	IntCal 09

Tabla I: Edades de las muestras datadas.  
Table I: Ages of dated samples.

Tal y como muestra el modelo de Edad/Profundidad (Fig. 6) la Unidad 1 abarcaría un corto lapso de tiempo, aproximadamente 260 años, desde 7469 hasta 7209 años cal BP. Además, coincide con la distribución temporal de los niveles neolíticos más antiguos del yacimiento de la Cueva de Els Trocs (p. ej. UE20, 7140-6800 años cal BP). De este mismo gráfico puede calcularse la tasa de sedimentación para la Unidad 1 que sería elevada, con valores de 2,1 mm/año. Ello implica que la formación y depósito de los sedimentos carbonosos y ricos en clastos de la Unidad 1 representan eventos muy seguidos en el tiempo y por lo tanto una tasa de erosión de los suelos adyacentes también relativamente alta.

La Unidad 2 englobaría un lapso de tiempo desde los 7209 años cal BP hasta la actualidad y presenta 2 tramos con distintas tasas de sedimentación. El primero de ellos se extendería entre las profundidades de 93 cm (7209 años cal BP, Neolítico) hasta los 52 cm (1611 años cal BP, Alta Edad Media) y estaría caracterizado por una tasa de sedimentación de 0,07 mm/año (Fig. 6). En este caso la tasa de sedimentación es notablemente más baja que en la fase anterior, la erosión sería por tanto menos intensa y seguramente las laderas

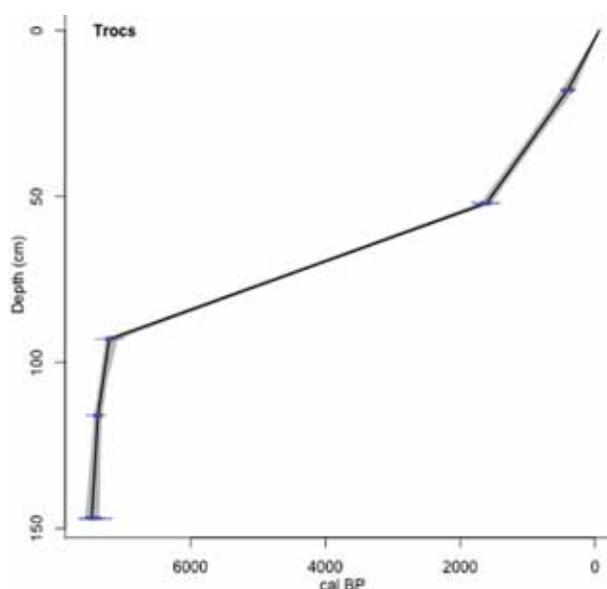


Figura 6. Modelo Edad/Profundidad del sondeo TROCS-1.  
Figure 6. Age /Depth model of the TROCS-1 core.

estarían cubiertas por suelos más estables (vegetados). El último tramo abarcaría los últimos 52 cm del registro de la dolina (muestreados en el sondeo TR1) correspondientes a los últimos 1611 años cal BP y presenta un incremento en la tasa de sedimentación con valores de 0,32 mm/año.

### 4.3. Geoquímica XRF y análisis estadístico mediante PCA

Del PCA de los datos de la geoquímica mediante XRF se han obtenido 7 componentes principales (PC). Siendo la varianza total explicada del 78% (Tabla II). (DISSANAYAKE y RUPASINGHE, 1986; GUENIOT, MUNIER-LAMY y BERTHELIN 1988; WHITE y BROADLEY, 2001; ÅSTRÖM *et al.*, 2008).

Varianza total explicada									
Autovalores iniciales									
Componente	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	9,735	37,441	37,441	9,735	37,441	37,441	8,403	32,318	32,318
2	3,355	12,904	50,345	3,355	12,904	50,345	3,001	11,541	43,859
3	2,089	8,036	58,381	2,089	8,036	58,381	2,518	9,685	53,544
4	1,623	6,242	64,623	1,623	6,242	64,623	2,079	7,995	61,539
5	1,397	5,373	69,996	1,397	5,373	69,996	1,587	6,102	67,641
6	1,068	4,109	74,105	1,068	4,109	74,105	1,52	5,844	73,485
7	1,038	3,994	78,099	1,038	3,994	78,099	1,2	4,614	78,099

Tabla II: Varianza explicada por los distintos componentes principales. Solución no rotada en las columnas de la izquierda y rotada (Varimax) en las de la derecha.  
Table II: Principal Components obtained in the PCA and the variance related to them. No rotated results to the left and rotated (Varimax) results to the right.

A continuación se analizan los resultados más significativos que cabe inferir de los PCs obtenidos, en base a su evolución a lo largo del sondeo y sus características estratigráficas y sedimentológicas (Fig. 7):

#### Componente Principal 1

En este gráfico se han encontrado numerosos elementos con cargas significativas; entre los elementos con cargas positivas: Zn, Ca, As, Fe, Al, Ni, Br, Y, Cr, Cu y los negativos: Sr, Zr (Tabla III). Es el componente que explica la mayor parte de la varianza total explicada, un % 32. Dada la gran cantidad de elementos químicos que se asocian al PC1, cabe interpretar que este PC representa varios factores o procesos sedimentarios, edáficos, etc. que implican la presencia/ausencia de estos elementos.

El Br e Y reflejan materia orgánica carbonosa que podría pertenecer a materia leñosa quemada. Dado que poseen una alta afinidad para unirse a compuestos orgánicos (BIESTER, MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.*, 2012). Su loading o peso es un poco alto y es positivo en el PC1. Por lo que es normal que se den máximos positivos en zonas con materia carbonosa del sondeo: en la subunidad 1a, subunidad 1c y subunidad 1e. A su vez estas subunidades coinciden con distintas tendencias en 5 de los gráficos de evolución de los componentes principales.

El Ca y As suelen estar relacionados al sustrato calizo, pero son liberados y se reciclan durante su meteorización (BIESTER, 2012). Podrían indicar una mayor erosión del sustrato calizo. El loading de Ca y As es elevado y es positivo por lo que contribuirían a los máximos positivos de la curva del PC1.

El Al y Fe son un signo claro de creación de suelo, es decir, de edafización o lixiviación. Su contribución a picos positivos del PC1 podría provenir de la erosión y adición de materiales iluviados (óxidos de hierro) desde los perfiles edáficos por las aguas superficiales.

El Cu, Cr y Zn son elementos metálicos relativamente estables, es decir, el agua no los arrastra y por tanto permanecen estables ante la lixiviación. Su carga no es especialmente alta y es positiva. Su contribución a la carga positiva del PC1 puede interpretarse como un mayor aporte relativo de sedimento.

Con loading negativo se encuentran el Sr y Zr. Son elementos estables. Zr tiene una carga alta y negativa y es un elemento litogénico. Sr no tiene un valor significativamente elevado. Los valores negativos apuntarían a intervalos de estabilidad, no aporte de otros elementos como la materia orgánica, elementos derivados del sustrato calizo, etc. Este cambio se da en la parte basal de la Unidad 2.

### **Componente Principal 2**

Este componente explica una varianza del 11,54 %. En este segundo PC se incluyen el K, V, Si y Ti con cargas positivas significativamente altas. Los máximos cíclicos del PC2 (Si, K y Ti), podrían indicar la ocurrencia de intervalos con mayor presencia relativa de minerales silicatados (filosilicatos y/o cuarzo) respecto a otros componentes como la materia orgánica u otros procesos, minerales y/o elementos. Podrían responder a intervalos con más aporte terrígeno.

### **Componente Principal 3**

Explica el 9,7 % de la varianza total explicada. Presenta el Rb en positivo y Cl y S en negativo. El S tiene un loading alto y podría representar la abundancia relativa de materia orgánica dado que suele estar formando parte del fosfatos. El componente presenta una tendencia similar al PC2 excepto en la parte alta de la Unidad 2 donde anticovarian y podrían marcar intervalos de enriquecimiento en materia orgánica derivada del humus o vegetación del suelo.

### **Componente Principal 4**

Explica el 8 % de la varianza total explicada. Mn, Pb en positivo y con cargas significativamente altas. Presenta valores constantes cercanos a 0 en la Unidad 2, sin embargo en la Unidad 1 el PC4 da máximos coincidiendo con las subunidades ricas en material carbonoso, por lo que podrían estar asociados a él.

### **Componente Principal 5**

Explica el 6,1 % de la varianza total explicada. Sólo el Nb tiene una carga significativamente alta en negativo. Es un elemento relativamente abundante en rocas ígneas ácidas y suele fijarse en arcillas lixiviadas como las bauxitas (DISSANAYAKE & RUPASINGHE, 1986) o agregarse a sustancias húmicas y coloides de Fe disueltos (ÅSTRÖM *et al.*, 2008).

### **Componente Principal 6**

Explica un 5,8 % de la varianza total explicada. Presenta elementos como el P, Cl y U en positivo y su peso no es especialmente elevado. Covaría con el PC5 y PC2 en la Unidad 1 pero anticovaría con PC5, PC3 y PC2 en la Unidad 2. El U es un elemento relativamente inmóvil en suelos oxidados (GUENIOT *et al.*, 1988) y el P y el Cl son nutrientes básicos para la vegetación, siendo relativamente bajos en sedimentos edafizados con cobertera vegetal que los haya absorbido (WHITE y BROADLEY, 2001). Por ello, las variaciones de este PC podrían representar intervalos en los que se da un mayor o menor desarrollo de cobertera vegetal sobre los sedimentos y por tanto un mayor o menor enriquecimiento relativo debido al secuestro de nutrientes.

### **Componente Principal 7**

Ge en negativo y con peso moderadamente alto. En suelos y sedimentos el Ge se suele movilizar en forma de  $\text{Ge}(\text{OH})_2$ , y es fijado en forma de  $\text{Ge}(\text{OH})_4$  por los minerales de la arcilla, óxidos de hierro y la materia orgánica (KABATA-PENDIAS, 2001). En el caso del PC7 parece dar máximos en zonas con más arcillas y menos materia orgánica (carbón) en la Unidad 1, por lo que podría representar mayor abundancia de arcillas y óxidos de hierro.

## **5.- DISCUSIÓN**

Los niveles ricos en carbón y granulometrías más gruesas de la Unidad 1, abarcan un breve lapso de tiempo, c. 260 años, que además se solapa con la ocupación neolítica del yacimiento de la Cueva de Els Trocs cuyos niveles más antiguos tienen edades de 7140-6800 años cal BP. La abundancia de Y y Br en

	1	2	3	4	5	6	7
Zn	<b>0,876</b>	0,131	0,19	0,185	-0,038	-0,076	0,023
Ca	<b>0,856</b>	0,068	-0,159	0,063	0,134	-0,006	0,204
As	<b>0,846</b>	0,11	0,083	-0,026	-0,19	-0,06	0,115
Fe	<b>0,822</b>	0,4	0,157	0,121	0,206	0,067	0,084
Al	<b>0,772</b>	0,521	0,042	0,058	0,246	0,118	0,018
Ni	<b>0,766</b>	0,116	0,228	-0,077	0,219	0,061	-0,204
Br	<b>0,76</b>	-0,09	-0,254	0,087	0,126	0,075	0,229
Y	<b>0,717</b>	0,02	0,106	-0,117	0,338	0,159	0,368
Cr	<b>0,657</b>	0,183	-0,059	0,082	0,032	0,002	-0,163
Cu	<b>0,645</b>	0,205	0,341	-0,021	0,212	0,035	-0,083
Ga	<b>0,59</b>	-0,069	0,443	0,096	-0,04	0,121	-0,072
K	0,494	<b>0,628</b>	0,311	-0,103	0,304	0,211	0,152
V	0,41	<b>0,632</b>	-0,033	-0,245	-0,006	-0,092	-0,087
Rb	0,348	0,295	<b>0,675</b>	-0,311	0,245	0,165	0,122
Si	0,238	<b>0,885</b>	0,03	-0,001	0,069	0,146	0,023
P	0,184	0,201	0,322	-0,204	0,047	<b>0,528</b>	0,385
Mn	0,165	0,006	0,001	<b>0,859</b>	-0,123	-0,019	0,153
Pb	0,126	0,114	-0,052	<b>0,859</b>	0,255	0,038	0,068
Cl	0,093	0,018	<b>-0,521</b>	-0,221	-0,089	<b>0,614</b>	0,073
S	0,03	-0,049	<b>-0,854</b>	-0,012	-0,147	-0,067	-0,009
Ge	-0,022	-0,006	-0,003	-0,201	-0,006	0,063	<b>-0,754</b>
U	-0,103	-0,02	0,192	-0,175	0,002	<b>0,798</b>	-0,176
Ti	-0,237	<b>0,839</b>	0,119	-0,008	0,353	-0,06	0,018
Nb	-0,262	0,063	0,052	-0,096	<b>-0,843</b>	0,045	-0,019
Sr	<b>-0,674</b>	0,064	0,495	-0,37	-0,036	0,178	0,054
Zr	<b>-0,882</b>	0,009	0,139	-0,169	-0,312	0,015	-0,042

Tabla III: Matriz de los componentes principales y los pesos (*loading*) de los distintos elementos en cada componente principal. En negrita se representan los elementos con mayores cargas o *loadings*. Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. a. La rotación ha convergido en 9 iteraciones.

Table III: Principal Component matrix with different element loadings. Bold items represent the higher load for each element. Extraction method: Principal components analysis. Rotation method: Varimax normalization with Kaiser. The rotation has converged after 9 interactions.

de ovejas neonatas que nacen en primavera, época en la que la nieve invernal no suele estar ya a estas cotas (1500 m.s.n.m.). La deforestación, produciría un aumento de la erosión de los suelos y de la escorrenría superficial que quedaría registrado en el relleno de las dolinas de la llanura kárstica.

Por tanto, puede decirse que todas las evidencias estratigráficas, sedimentológicas, y geoquímicas, junto a las arqueológicas apuntan a la acción antrópica, deforestación y aprovechamiento ganadero de pastos de altura, como principal control en la formación de la Unidad 1 durante el inicio del Neolítico. Para estas edades se han encontrado ejemplos semejantes en otras áreas pirenaicas (RIUS, D., VANNIERE, B. y GALOP, D. 2012).

Después, a lo largo de la Unidad 2, la sedimentación se hace más homogénea y responde a tasas de sedimentación sensiblemente menores (0,07 mm/año) hasta la Alta Edad Media (.c. 1611 años cal BP). El contenido en materia orgánica del sedimento es mayor hacia techo, y probablemente no sea de tipo carbonoso (no correlación con Br), sino de materia orgánica degradada (coloidal), típica de la desintegración del humus (PC1 en Fig. 7). Los ciclos que presentan principalmente los PC2 y PC6, parecen indicar una alternancia de intervalos con abundancias relativas variables de elementos litófilos (Si, K y Ti) y en elementos que son reciclados por la vegetación, nutrientes como el P y Cl (PC2)(Fig. 7).

Todo ello podría indicar el establecimiento de una dinámica sedimentaria menos intensa, menor erosión y sedimentación, dada la ausencia de eventos de deforestación y la presencia de suelos vegetados (por el tipo de materia orgánica y ausencia de bioturbación podrían ser prados) en la depresión kárstica. El aporte de sedimento podría sufrir eventuales incrementos en la tasa de sedimentación (ciclos antes mencionados) que darían una mayor cantidad relativa de arcillas (elementos litófilos) respecto a la materia orgánica por ejemplo que podrían corresponder a los máximos del PC2. Por otro lado, la mayor o menor actividad de la vegetación, secuestro de nutrientes, también sería relativamente baja en intervalos con mayor aporte de sedimentos (ver PC6 en Unidad 1) y más intensa cuando los aportes son menores, empobreciendo el sedimento en estos elementos y aumentando su edafización (p. ej. Cl y P del PC6). En los 50 cm superiores no se ha llevado a cabo el estudio geoquímico ni sedimentológico, pero el aumento en la tasa de sedimentación, 0,32 mm/año, para los últimos 1611 años cal BP podría evidenciar una mayor

las subunidades carbonosas de la Unidad 1 apuntan a la existencia en la muestra de material leñoso quemado (carbón) (Fig. 7). El carbón sería incorporado al sedimento desde zonas quemadas alrededor de la depresión kárstica. Inmediatamente después, se daría en depósito de sedimentos más gruesos (subunidades 1b y 1d) que denotan una mayor intensidad de la escorrenría superficial y erosión de suelos; procesos ambos que aumentan en áreas deforestadas y suponen altas tasas de erosión y sedimentación (2,1 mm/año).

Este hecho coincide con la presencia de pastores neolíticos en el área, en la Cueva de Els Trocs, que pudieron deforestar zonas boscosas de la planicie kárstica de la Selva-plana para obtener zonas de prado aprovechables para la ganadería, de manera semejante a los prados de altura actuales. Idea que es totalmente compatible con las evidencias arqueológicas del yacimiento, donde llama la atención la elevada presencia

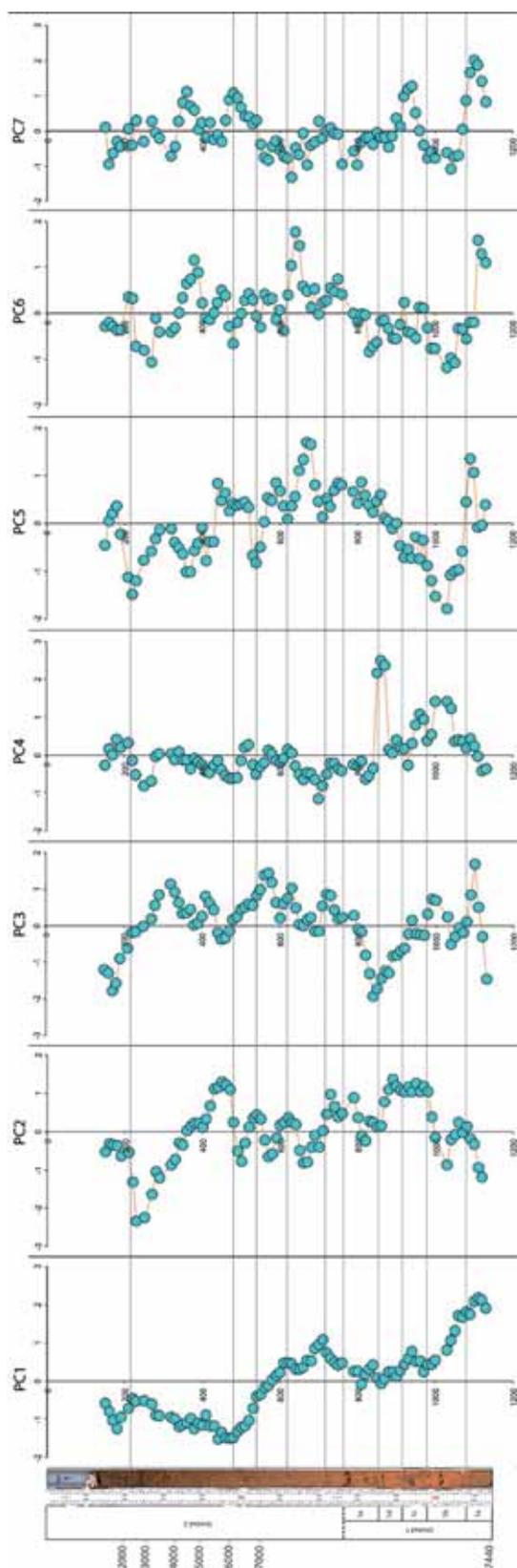


Figura 7. Estratigrafía y evolución de los componentes principales derivados del tratamiento de los datos geoquímicos del sondeo Trocs-1. Figure 7. Stratigraphy and evolution of the principal components derived from the PCA of geochemical data from the Trocs-1 core.

erosión/sedimentación del terreno, posiblemente en relación a actividades antrópicas (gestión forestal y/o agricultura) evidenciadas en el lugar hasta inicios del S. XX y/o cambios ambientales. Es este un tema que se abordará en un futuro estudio del sondeo TR1.

## 6.- CONCLUSIONES

El estudio de la estratigrafía, sedimentología, dataciones radiométricas y geoquímica del relleno de una dolina (sedimento exokárstico) en las inmediaciones del yacimiento de Els Trocs (Huesca), ha puesto de manifiesto la presencia de indicadores sedimentarios y geoquímicos que apuntan a la existencia de eventos de deforestación debidos a incendios antrópicos durante el Neolítico (c. 7100 años). Esta deforestación, estaría además relacionada a la instauración de una actividad de pastoreo de ganado ovino en prados de altura durante la primavera.

Se evidencia, además, que esta deforestación provocaría un subsiguiente aumento de la erosión de los suelos y su depósito en depresiones exokársticas (dolinas, poljes, etc.) y posiblemente endokársticas por infiltración de los sedimentos.

La secuencia estratigráfica del sondeo y las características de sus facies sedimentarias, confirman el carácter polifásico, posiblemente 3 eventos, de las actividades de deforestación expuestas anteriormente. Todas se habrían desarrollado además en un reducido espacio de tiempo c. 260 años.

Posteriormente, la dinámica fue la de una sedimentación natural, con tasas de sedimentación menores, facies típicas de escorrentía superficial y desarrollo de suelos con vegetación posiblemente herbácea, hasta la Alta Edad Media.

Estos datos, podrán ser reforzados con el estudio paleolítico del sondeo actualmente en curso. Los datos obtenidos, arrojan información sobre el inicio de la gestión antrópica y el tipo de explotación de las zonas de media-alta montaña del Pirineo central durante el Neolítico.

## 7.- AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Eneko Iriarte Avilés, que con gran paciencia me ha guiado en este trabajo. A su vez, agradecer al Laboratorio de Evolución Humana de la Universidad de Burgos y a la Universidad del País Vasco por poner a mi alcance su infraestructura investigadora para la realización de este trabajo.

**8.- BIBLIOGRAFÍA**

- ÅSTRÖM, M.E., PELTOLA, P., VIRTASALO, J.J., KOTILAINEN, A.T. y SALMINEN, R.  
2008 Niobium in boreal stream waters and brackish-water sediments. *Geochemistry Exploration, Environment, Analysis*, 8: 139-148.
- BIESTER, H., HERMANN, Y. M. y CORTIZAS, A.M.  
2012 The influence of organic matter decay on the distribution of major and trace elements in ombrotrophic mires – a case study from the Harz Mountains. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84: 126-136.
- BLAAUW, M.  
2010 Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5: 512-518.
- DISSANAYAKE, C.B y RUPASINGHE, M.S.  
1986 The niobium and yttrium abundances in the sedimentary gem deposits of Sri Lanka. *Journal Natural Science Country, Sri Lanka*, 14 (1): 55-74.
- GUENIOT, B., MUNIER-LAMY, C. y BERTHELIN, J.  
1988 Geochemical behavior of uranium in soils, part I. Influence of pedogenetic processes on the distribution of uranium in aerated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 31.
- KABATA-PENDIAS, A.  
2001 *Trace elements in soils and plants*. Third Edition, CRC Press, New York. 1: 21-37.
- RIUS, D., VANNIERE, B. y GALOP, D.  
2012 Holocene history of fire, vegetation and land use from central Pyrenees (France). *Quaternary Research*, 77: 54-64.
- ROJO, M.  
2010 *Informe de 2ª campaña de excavaciones, Cova de Els Trocs*. Bisaurri (Huesca). Inédito.
- WHITE, P.J. y BROADLEY, M.R.  
2001 Chloride in soils and its uptake movement within the plant: A review. *Annals of Botany*, 88: 967-98.

# Estudio multianalítico de una estalagmita, *Novella* (Cueva de Praileaitz, Gipuzkoa): detección y caracterización de indicadores de cambios ambientales

Multianalytic study of a stalagmite, *Novella* (Praileaitz Cave, Gipuzkoa, Basque Country): definition of proxies for the identification of paleoenvironmental changes

**PALABRAS CLAVES:** Cueva de Praileaitz, Estalagmita, Petrología, Geoquímica FRX, TAC, Paleoambiente.

**KEY WORDS:** Praileaitz cave, Stalagmite, Petrology, XRF geochemistry, TAC, Paleoenvironment.

Valentina VANGHI<sup>(1)</sup>

## RESUMEN

En el presente trabajo se aborda un estudio de una estalagmita, *Novella*, muestreada en la Cueva vasca de Praileaitz (Deba, Gipuzkoa), integrando varios tipos de metodologías analíticas (estratigrafía, datación radiométrica, petrología, geoquímica elemental y tomografía axial computarizada).

Se han identificado dos fases de crecimiento distintas: la primera, Fase 1, caracterizada por una textura cristalina dendrítica y la Fase 2 por una textura cristalina columnar. Los datos geoquímicos revelan cambios significativos coincidiendo con los distintos tramos estratigráficos, especialmente en la zona de transición entre las dos fases de crecimiento. Además, el uso de la tomografía axial computarizada ha permitido mostrar su fuerte potencial en este tipo de investigación: entre otras cosas, ha permitido estudiar la distribución espacial de las texturas cristalinas y de la porosidad, que aparece como mayor en la Fase 1 y menor en la Fase 2. De la integración de los resultados derivados de las distintas analíticas, se infieren distintos procesos de formación y controles en el crecimiento de la estalagmita. Así, se plantea la hipótesis de que la Fase 1 se formó bajo condiciones climáticas con un relativo contraste estacional y condiciones húmedas, mientras que la Fase 2 pudo formarse en un contexto climático con menor estacionalidad y mayor humedad ambiental.

## ABSTRACT

This paper presents a multiproxy study of a stalagmite, *Novella*, sampled in the Praileaitz Cave (Deba, Gipuzkoa, Basque Country), integrating several types of analytical techniques (stratigraphy, radiometric dating, petrology, elemental geochemistry and computed axial tomography).

Two different phases of growth were identified within the speleothem: the Phase 1 is characterized by a dendritic crystalline fabric, while the Phase 2 is mainly defined by a columnar crystalline fabric. The geochemical data show significant changes among the various stratigraphic units, and especially in the transition area between the two main phases. The use of computed axial tomography showed the great potential of the technique for this specific type of application: it helped to study the spatial distribution of the various crystalline fabrics and of the porosity in Phases 1 and 2. The combination of all these results give some indications about the different processes occurred during the formation of this stalagmite. Consequently, Phase 1 probably developed under humid condition with relative strong seasonal contrasts, whereas Phase 2 is most likely the result of a humid climatic context without pronounced seasonality.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El estudio de la estalagmita *Novella*, muestreada en la Cueva de Praileaitz (Deba, Gipuzkoa), se desarrolla en el marco de las otras investigaciones del grupo dirigido por la Dra. Arantxa Aranburu relativas a la evolución del valle del río Deba actualmente en curso y otros ya realizados, como la delimitación del área de protección de la cavidad (IRIARTE *et al.* 2010), la hidrología (VADILLO *in press*), la degradación de los espeleotemas (ARANBURU *et al.* 2010) y los resultados de las excavaciones arqueológicas.

El estudio del paleoclima, es hoy en día una línea de investigación de gran interés. Descubrir y entender como y porqué evolucionó el clima en el pasado es esencial para poder entender los cambios climáticos actuales y prever la evolución climática futura. Los espeleotemas junto a otros registros paleoambientales como los sondeos de hielo, los sondeos de sedimento marino y los sondeos de sedimentos lacustres, pue-

<sup>(1)</sup> Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Aptdo. 644, Bilbao, Bizkaia. E-mail: valentinavanghi@gmail.com  
Directores: Eneko Iriarte (Universidad de Burgos), Arantxa Aranburu (Universidad del País Vasco), Ana Moreno (IPE-CSIC),

den considerarse como los archivos más valiosos de los cambios ambientales y climáticos ocurridos en los últimos millones de años. Entre ellos, los espeleotemas tienen muchas ventajas: (i) se pueden datar de manera precisa radiométricamente mediante el método U-Th, (ii) se sitúan en áreas continentales y deshabitadas y por lo tanto poco contaminadas por actividades antrópicas y (iii) son físicamente y químicamente resistentes estando relativamente protegidos de la erosión (FAIRCHILD & BAKER, 2012).

El presente trabajo tiene como objetivos principales el aplicar las metodologías para el estudio de distintos indicadores ambientales en espeleotemas e inferir la evolución ambiental durante el periodo de formación de la estalagmita *Novella*.

### 1.1. La Cueva de Praileaitz: localización geográfica y contexto geológico

La cueva de Praileaitz se encuentra en la parte baja del valle del Río Deba en Gipuzkoa, a 3 km de la costa (Fig. 1), en una colina rodeada por uno de los meandros del mencionado río (meandro de Sasieta). Se desarrolla dentro del macizo kárstico de Izarraitz formado por las calizas cretácicas urgonianas de la Formación Calizas de Erlo, de edad Aptiense-Albiense y que presenta facies mayoritariamente micríticas con abundantes fósiles de rudistas y corales (AGUIRREZABALA, 1996).

El relieve de esta zona está caracterizado por colinas que alcanzan una altura media en torno a 130 m.s.n.m. y están modeladas por procesos exokársticos de disolución que formaron sus morfologías cónicas e incluso semiesféricas separadas por grandes dolinas. Esta topografía de karst poligonal es similar al *cockpit karst* (Fig. 1) descrito por FORD & WILLIAMS (2007) y es típico de regiones con climas húmedos templados y tropicales.

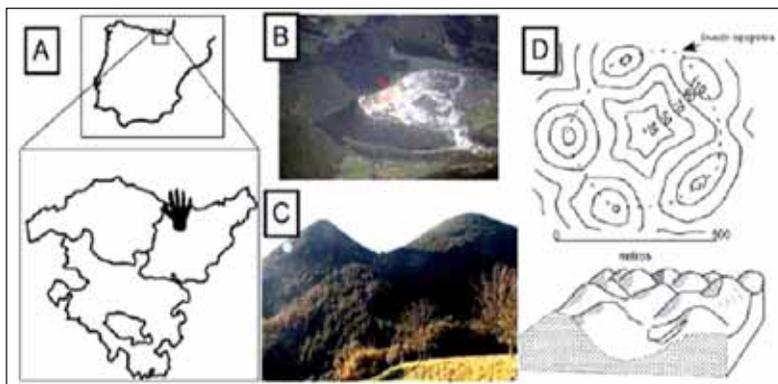


Figura 1. (A): Localización de la Cueva de Praileaitz (País Vasco, España). (B): Fotografía de la cantera Zeleta S.A.. (C), (D): Fotografías y esquemas que ilustran la morfología en cockpit karst. Tomado de ARANBURU et al. (2010) y FORD Y WILLIAMS, (2007).

Figure 1. (A): Geographical location of Praileaitz Cave. (B): Zeleta S.A. quarry. (C), (D) Pictures and schemes illustrating the cockpit karst morphology From ARANBURU et al. (2010) y FORD Y WILLIAMS, (2007).

### 1.2. Climatología

Esta región del País Vasco pertenece a la zona costera de la vertiente atlántica. Está caracterizada por un clima mesotérmico, moderado en cuanto a las temperaturas (la media anual es de 14°C), y muy lluvioso (Fig. 2). Se denomina clima templado húmedo sin estación seca, o clima atlántico. La influencia de la Corriente del Golfo hace que las oscilaciones térmicas entre la noche y el día, o entre el verano y el invierno, sean poco acusadas. Durante el invierno 2011, en la costa se ha registrado una temperatura media entre

los 9-10°C mientras que durante el verano, las medias se han acercado a los 20°C. El factor orográfico explica la gran cantidad de lluvias de toda la vertiente atlántica del País Vasco, entre 1.200 y más de 2.000 mm de precipitación media anual (Fig. 2) (fuente: <http://www.euskalmet.euskadi.net>).

### 1.3. Estratigrafía endokárstica de la Cueva de Praileaitz

La colina sobre la que se desarrolla la cueva está casi completamente dismantelada por la actividad extractiva de la cantera Zeleta S.A. (Fig. 1.B). En el 2006, fue declarada BIC (*Bien de Interés Cultural*) al descubrirse pinturas rupestres sobre algunas formaciones espeleotémicas durante las tareas de excavación del yacimiento Magdaleniense en su interior. Además, desde el año 2000 hasta el 2006, durante las excavaciones de niveles magdalenienses, se han descubierto una treintena de colgantes decorados de piedra negra, destacando entre ellos una pieza que podría reflejar una silueta femenina (CASTRO, 2007).

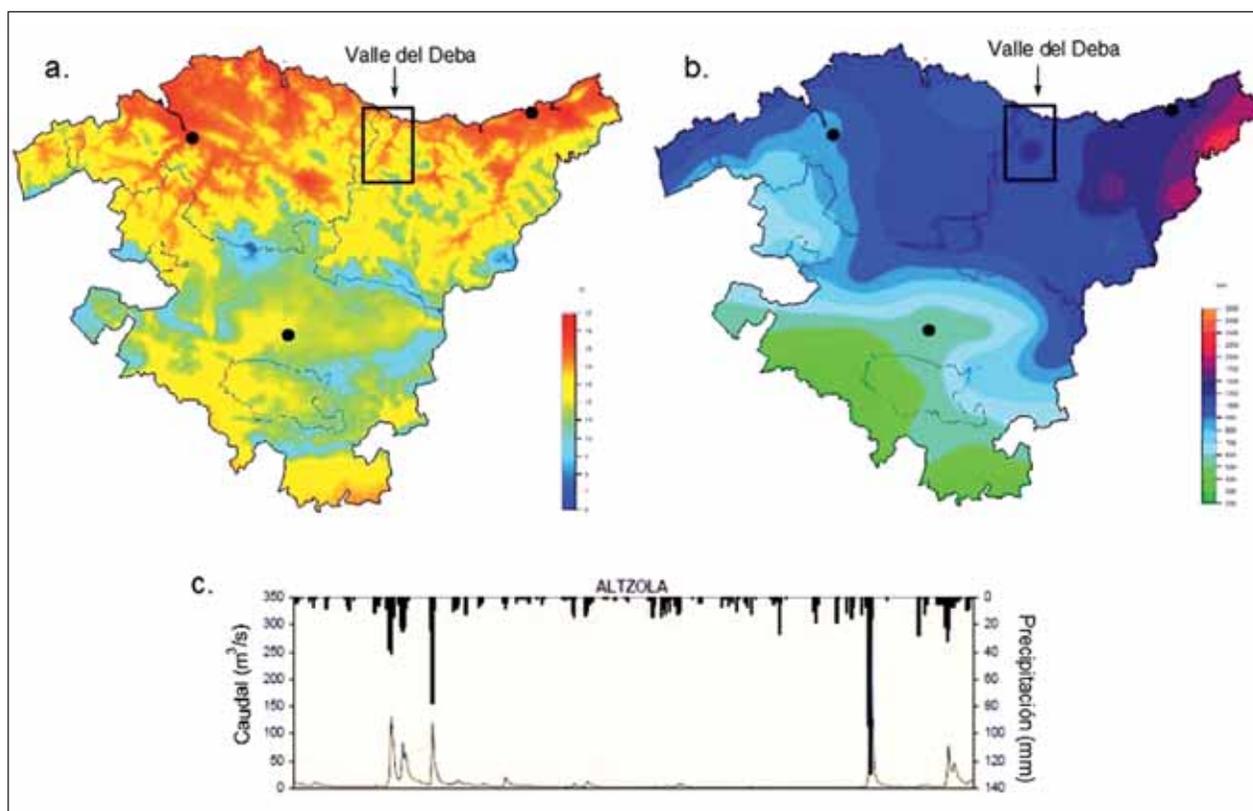


Figura 2. (A): Temperatura media (°C) en el País Vasco durante el año 2011. (B): Precipitaciones acumuladas (mm) en el País Vasco durante el año 2011. (C): Gráfico de precipitación y caudales durante el año 2011 en la estación meteorológica de Altzola en la Valle del Deba (fuente: <http://www.euskalmet.euskadi.net>).  
Figure 2. (A): Mean temperature in the Basque Country during the year 2011. (B): Amount of precipitation accumulated in 2011 in the Basque Country. c. Precipitation and water flow graphic for the year 2011 at the Altzola station (Deba valley). (source: <http://www.euskalmet.euskadi.net>).

La longitud de la cueva alcanza los 100 m en dirección NW-SE, paralelamente a uno de los sistemas de fallas principales del macizo en el que se ubica (IRIARTE *et al.* 2010) (Fig. 3). Tanto la formación de la cueva, como la infiltración de agua y la actividad espeleotémica, están controladas por la presencia de tres familias de fracturas en la roca encajante (IRIARTE *et al.* 2010). Una de estas fracturas, la J15 de la familia F3, controla el goteo en la zona de formación de *Novella* (Fig. 3).

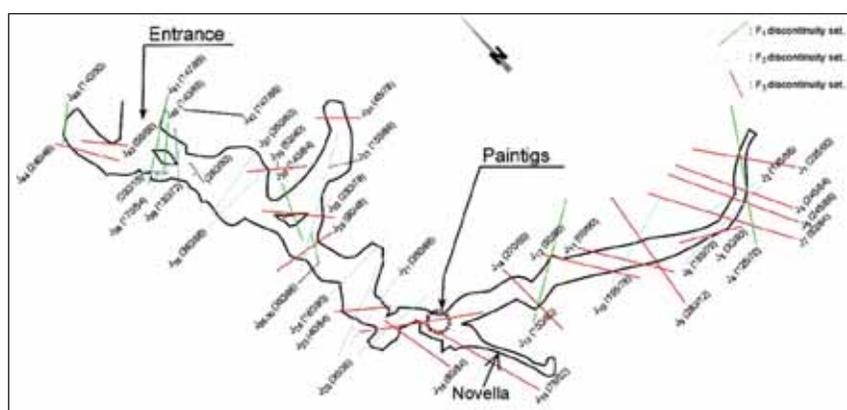


Figura 3. Mapa de la Cueva de Praileaitz con las tres familias de fracturas identificadas por IRIARTE *et al.* (2010). Se indica la localización espacial de las pinturas rupestres, de la estalagmita *Novella* y de la fractura J15.  
Figure 3. Praileaitz Cave map and main fractures identified by IRIARTE *et al.* (2010). The location of the cave paintings, the stalagmite *Novella* and the J15 discontinuity within the cave are indicated.

Los datos obtenidos del estudio estratigráfico endokárstico (ARRIOLABENGOA *et al.* 2012) permitieron reconocer 7 fases sedimentarias distintas que alternan con episodios erosivos:

**Fase 1:** se caracteriza por la formación de coladas y espeleotemas que en la Sala 2 (Fig. 4) se intercalan con niveles conglomeráticos. Predata el primero de los niveles arqueológicos datado en 27.000 años (PEÑALVER, 2007). Por lo tanto, esta fase podría atribuirse a un período húmedo y templado como los interstadiales del Würm (MIS 3) (~60ka, ~37ka) o al interglaciar Riss – Würm (MIS 5) (~140ka).

**Fase 2:** es un nivel detrítico siliciclástico de origen alóctono con una potencia de 2 m que cubre la paleosuperficie de la Fase 1 espeleotemica. Los materiales depositados durante esta fase constituyen los niveles arqueológicos de la cueva, y abarcan desde los 27.000 años B.P. hasta 9.000 años B.P. (Aziliense, Epipaleolítico) (PEÑALVER, 2007).

**Fase 3:** corresponde a una delgada colada espeleotemica de ~ 4 cm que corta la Fase 2 de forma irregular. Se encuentra en la parte superior del nivel arqueológico (**Fase 2**) por encima de los puntos datados en 9.000 años B.P. (PEÑALVER, 2007).

**Fase 4:** está representada por una colada espeleotemica de entre 8 y 20 cm de potencia que cubre toda los depositos previos y fosiliza el registro arqueológico desde la Sala 1 hasta la Sala de las Pinturas (**Fig. 4**). Se relaciona a un periodo muy húmedo y templado que podría corresponder al periodo Boreal del Holoceno.

**Fase 5:** es una fase espeleotemica compuesta principalmente por formaciones de goteo como estalagmitas, columnas, banderas y coladas, que descansan sobre la Fase 4 (**Fig. 4**) y que podrían reflejar un periodo relativamente más seco que la fase anterior (p.ej. óptimo climático holoceno).

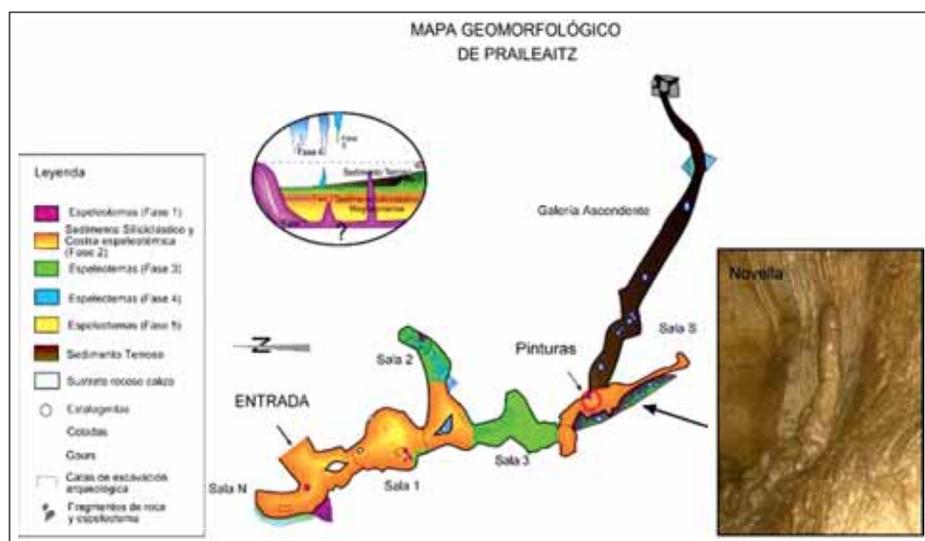


Figura 4. Cartografía geomorfológica de la Cueva de Praileaitz, indicando los varios niveles estratigráficos identificados en su relleno sedimentario, y una fotografía in situ de la estalagmita *Novella*. Modificado de ARANBURU *et al.* (2010).

Figure 4. Geomorphological map of Praileaitz Cave, with the various stratigraphic levels identified in the sedimentary infilling. Modified from ARANBURU *et al.* (2010). A picture of the stalagmite *Novella* is also shown.

**Fase 6:** constituye la segunda secuencia detrítica alóctona limo-arcillosa. Sólo aflora en la Sala Ascendente (**Fig. 4**). Ese relleno terroso engloba abundantes fragmentos de carbón, restos óseos y caracoles no fosilizados, que indican su procedencia desde un suelo de formación reciente del exterior.

**Fase 7:** está representada por las fistulas espeleotemicas actualmente activas y que alimentan los gour sobre la costra de la Fase 4.

## 2.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Muestreo y preparación de las láminas delgadas

El espeleotema objeto de estudio en el presente Trabajo de Fin de Máster, es una estalagmita a la cual hemos denominado *Novella*. Fue muestreada en Diciembre de 2011 en el corredor que une la Sala S y la Sala de las Pinturas de la Cueva de Praileaitz (**Fig. 4**). Se situaba en la pared lateral oeste, por encima de una colada perteneciente a la Fase 4 y fue elegida por su aspecto recto y carácter activo. El inicio de su formación corresponde a la fase 4 y/o 5 de la estratigrafía endokárstica de la cueva (< 9000 años).

Posteriormente, la estalagmita fue seccionada longitudinalmente con una sierra de hilo de diamante y pulida para mejorar el aspecto de las superficies de corte y poder describir así sus características macroscópicas. El pulido se efectuó utilizando un compuesto abrasivo de carborundum en polvo mezclado con agua. No obstante, hemos observado que no conviene pulir los espeleotemas utilizando un compuesto en polvo dado que el polvo abrasivo se queda en los poros. Alternativamente es mejor utilizar otras técnicas, como por ejemplo lijas y asegurarse de que la sierra tenga el hilo afilado. Las láminas delgadas de la estalagmita fueron elaboradas a partir del corte de una de las mitades de la estalagmita. En total se elaboraron 14 láminas cubriendo toda la longitud del espeleotema.

## 2.2. Estratigrafía de la estalagmita *Novella*

En el corte longitudinal de *Novella* destaca la distinta coloración que presentan la mitad inferior y superior, condicionada por la fábrica cristalina. Para realizar un estudio detallado se ha procedido a la individualización de las *láminas* de crecimiento y su agrupación en *tramos y fases*, de características análogas. Sabiendo que la visibilidad de estas láminas puede estar limitada por la resolución de las imágenes utilizadas, se ha trabajado con una imagen de alta resolución de la superficie pulida del espeleotema obtenida mediante un Core-Scanner (FAIRCHILD & BAKER, 2012).

La imagen en alta resolución de la superficie escaneada, ha sido estudiada mediante el programa NIS-Elements 3.2. A partir del gráfico de intensidad del color, se han podido distinguir distintos tramos y láminas de crecimiento que corresponden a intervalos y picos de distinta intensidad y delimitar distintos tramos estratigráficos (**Anexo A**).

## 2.3. Datación radiométrica

Antes de proceder a la extracción y/o envío de muestras para datar, conviene discriminar las muestras en base a: (i) su naturaleza primaria o diagenética y (ii) contenido en U. El carácter primario, no modificado, establecido a partir del estudio al microscopio de las fábricas cristalinas, permite asegurar que los rasgos petrológicos y geoquímicos definidos corresponden a su etapa de formación y no han sido sustancialmente modificados por la circulación de agua posterior a la formación del cristal.

Con el fin de cuantificar la cantidad de U (ppm) contenido en el espeleotema se han muestreado cuatro puntos en la base y techo de cada fase de crecimiento. Los análisis han sido realizados mediante un equipo ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) de la Universidad del País Vasco.

La extracción de las muestras en polvo ha sido efectuada utilizando una broca dental, obteniéndose 100 mg de polvo de calcita. Los datos resultantes del análisis elemental indicaron que, *a priori*, solamente en dos puntos de la estalagmita había una cantidad de uranio suficiente como para poder ser datados (0.461 ppm y 1.149 ppm). Estos dos puntos eran los ubicados a techo de cada fase. No obstante, la alta cantidad de muestra necesaria para la datación mediante espectrometría- $\alpha$  (~10 gr.) sólo hizo posible intentarlo con la muestra de la base de la estalagmita. Las dataciones radiométricas U-Th mediante espectrometría- $\alpha$  han sido efectuadas en el Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Barcelona).

## 2.4. Petrología

La caracterización y la descripción de las texturas cristalinas, tanto primarias como diagenéticas, de la estalagmita se han realizado en base a los trabajos de FRISIA (2003) y FRISIA & BORSATO (2010). El estudio petrológico fue llevado a cabo mediante un microscopio óptico Nikon Eclipse LV100POL y una lupa binocular Nikon AZ100 con un sistema fotográfico digital acoplado Nikon DS-F11 en el Laboratorio de Evolución Humana de la Universidad de Burgos; las imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido (SEM) también fueron obtenidas en un microscopio GEOL JSM-6460LV del Parque Científico Tecnológico de la Universidad de Burgos.

## 2.5. Geoquímica XRD

La difracción de rayos X (XRD) es una técnica analítica que permite de identificar los componentes minerales de una muestra (BARALDI *et al.* 2006). Se ha utilizado esta técnica con el propósito de averiguar si la estalagmita está compuesta por calcita y/o por aragonito. El análisis ha sido llevado a cabo en los laboratorios del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad del País Vasco mediante difracción de Rayos X de muestra total en polvo (XRPD) y Micro-XRD.

## 2.6. Geoquímica XRF y análisis estadístico

La técnica de la fluorescencia de rayos X (XRF) ha sido utilizada en este trabajo con el objetivo de determinar la composición elemental a lo largo de un transecto longitudinal de toda la estalagmita. Para ello

se utilizó un equipo XRF Core-scanner adaptado para la realización de análisis no destructivos de alta resolución, obteniéndose resultados semicuantitativos. Dicho equipo tiene muchas ventajas: es rápido, preciso, no destructivo y tiene un límite de detección para la mayoría de los elementos de pocas partes por millón (ppm) (AL-ESHAIKH & KADACHI, 2006; IDA *et al.* 2005). No obstante, lo novedoso del sistema y sus condiciones limitantes en este tipo de muestras hacen que sus resultados hayan de calibrarse con otros métodos (por ejemplo, ICP-MS) para una correcta interpretación de los datos. Estos análisis fueron realizados en el Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona mediante un XRF-Core Scanner Avaatech.

La estalagmita ha sido irradiada con un espaciado de 0,4 mm en longitud utilizando una lámpara de Rhodio con dos intensidades de medida: de 10 kV con intensidad de corriente de 1000  $\mu$ A cada 25 s para medir los siguientes elementos: Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ag, Tb y Dy; y 30 kV con intensidad de corriente de 2000  $\mu$ A cada 70 s para medir: Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb y Pb.

Los datos obtenidos han sido filtrados y normalizados mediante el método de *Puntuaciones-Z*. Posteriormente se ha realizado un Análisis de Componentes Principales (PCA) utilizando el software SPSS 19.0. El PCA es una técnica estadística de análisis multivariante utilizada para reducir las dimensiones de los datos y, al mismo tiempo, conservar lo mejor posible sus variaciones (HYUN-CHUL *et al.* 2003). Permite caracterizar los individuos o los grupos de individuos según las variables e ilustrar las relaciones existentes entre las distintas variables a partir de las características de los individuos (CORNILLON *et al.* 2008).

Se han obtenido 8 componentes principales (PC). Se han identificado los elementos químicos (variables) que explican cada PC y mediante la realización de distintos gráficos se ha estudiado su variabilidad a lo largo del espeleotema. Para concluir, se ha abordado una interpretación ambiental para cada factor.

## 2.7. Tomografía axial computarizada de rayos X (TAC)

La tomografía axial computarizada de rayos X (TAC), es una técnica no destructiva que permite visualizar la estructura interna de un objeto a través de las variaciones de densidad y de su composición atómica. Requiere la adquisición de una radiografía mono o bi-dimensional en distintos puntos de la muestra en rotación en torno a un eje central (MEES *et al.* 2003). Las imágenes TC se crean dirigiendo un haz de rayos X planar sobre un objeto orientando en diferentes ángulos. Las imágenes resultantes (*slices*) son la representación de lo que se observaría cortando el objeto según el plano de medida (MICKLER *et al.* 2004). Para identificar la naturaleza y las propiedades físicas de un objeto mediante TAC se utilizan los valores de la escala de grises de la imagen en 2D. Estos tienen una correspondencia directa con la densidad (FLISH & BECKER, 2003): p. ej. en la imagen reconstruida, los poros aparecen de color negro y los puntos con mayor densidad resultan en grises cada vez más claros.

Esta técnica se ha aplicado con el objetivo de investigar su potencialidad en el estudio de estalagmitas y ver si existe correspondencia entre la textura cristalina y la variación de la densidad a lo largo de la estalagmita. Debido a la gran cantidad de datos generados por el TAC, la estalagmita ha sido analizada en tres segmentos: uno basal (10 cm), otro segmento intermedio que contiene el límite entre las Fases de crecimiento 1 y 2 (12 cm) y el segmento final (13 cm). Se ha utilizado un sistema marca Xylon CT Compact del Parque Científico-Técnico de la Universidad de Burgos, provisto de un tubo Xylon de 225 Kv/2.8mA de potencia y capacidad de realizar cortes cada 0.2 mm. La información obtenida se procesó mediante el software MIMICS v.10 (*Materialise's Interactive Medical Image Control System software*), reconstruyéndose de forma virtual la imagen en dos y tres dimensiones del espeleotema *Novella*.

## 3.- RESULTADOS

### 3.1. Estratigrafía de la estalagmita *Novella*

La estalagmita mide 35 cm y presenta una forma cilíndrica, menos la base donde se engrosa y adquiere una forma cuadrangular en sección longitudinal. Se desarrolla de manera ligeramente curvada. Se distinguen dos coloraciones diferentes que marcan dos distintas fases y que tienen una extensión similar: una fase

basal (**Fase 1**) de color blanco muy porosa (17 cm) y una segunda fase (**Fase 2**) más oscura de color gris y con aspecto vítreo (18 cm). Alrededor del límite entre la Fase 1 y la Fase 2, cambia el ángulo de crecimiento del espeleotema debido a variaciones en el punto de goteo. Son visibles cinco puntos de goteo diferentes, tres en la Fase 1 y dos en la Fase 2 siendo los de la Fase 1 más marcados que los de la Fase 2 llegando a desarrollar zonas de crecimiento irregular con morfologías en surco (**Anexo A**). Atendiendo a diferencias de color y textura cristalina, cada una de estas fases ha sido dividida en diferentes tramos (**Anexo A**).

### **Fase 1**

Presenta un color blanco y aspecto opaco. La morfología de la estalagmita durante esta fase de crecimiento es asimilable a la "*conical-shape*" de MIORANDI *et al.* (2010) en el que el crecimiento se produce tanto en el ápice como en los flancos de la estalagmita (**Fig. 5**). En la Fase 1 se pueden reconocer ocho diferentes tramos utilizando como criterio de distinción la presencia de un límite definido por cambios en la coloración, cambios en la geometría y disposición de las láminas, la forma del espeleotema, migración del punto de goteo, etc... De base a techo los rasgos más significativos de estos tramos son (**Anexo A**):

*Tramo 1.1:* Este primer tramo mide 2 cm y está caracterizado por presentar una coloración blanca laminada en la que se pueden diferenciar tres intervalos de coloración diferente. La anchura de esos varía entre 2 y 3 mm; el primero y el último tienen una coloración maronacea mientras que el intervalo intermedio presenta una coloración gris. Este tramo está limitado a techo por una lámina más marcada que delimita su contorno.

*Tramo 1.2:* El segundo tramo, presenta un mayor desarrollo lateral, y tiene un grosor de 2,5 cm. Está formado por una alternancia regular de láminas milimétricas blancas y grises. Su crecimiento llega a recubrir todo el contorno del tramo precedente. Su límite superior, corresponde a una superficie irregular.

*Tramo 1.3:* Tiene 1 cm de grosor y está caracterizado por la presencia de intervalos oscuros que engloban superficies irregulares y discontinuidades que truncan las láminas anteriores. Estas superficies son similares a las láminas de "Tipo E (*Erosion*)" descritas por RAILSBACK *et al.* (2011), con una geometría en meseta (*mesa-like*) y que son el resultado de fenómenos erosivos a escala microscópica (**Fig. 6**). Recubre totalmente el flanco derecho del Tramo 2 (**Anexo A**). La última de estas superficies irregulares lo limita del tramo superior.

*Tramo 1.4:* El grosor de este tramo es de 1,5 cm y presenta una facies laminada regular. En la parte superior y en la zona central del tramo es visible una masa gris vítreo formada por un intervalo con abundantes superficies erosivas de Tipo E amalgamadas. Este tramo recubre el flanco derecho del tramo anterior y está limitado a techo por una lámina gris más marcada en la parte central.

*Tramo 1.5:* Tiene un desarrollo extensivo y un grosor muy irregular. Presenta 1 cm de espesor, menos en el punto central del espeleotema donde se reduce hasta los 2 mm. Es visible una alternancia regular de láminas horizontales y, en algunos puntos, superficies de "Tipo E". Recubre totalmente el flanco derecho del Tramo 4 (**Anexo 1**). El contacto con el tramo superior está marcado por una línea marrón más intensa.

*Tramo 1.6:* El grosor de este tramo es de alrededor de 1 cm y se desarrolla sobre la zona central de la estalagmita siendo menos extenso lateralmente que los tramos anteriores (**Anexo A**). El punto de goteo forma un surco definido por una masa gris y vítreo en la cual las láminas de crecimiento son obliteradas (amalgamadas y/o truncadas). Este es un claro ejemplo de límite entre tramos de Tipo L (RAILSBACK *et al.* 2011). Las superficies o discontinuidades de "Tipo L" están caracterizadas por láminas rectas que no se extienden lateralmente hacia los flancos de la estalagmita (**Fig. 6**).

*Tramo 1.7:* Este tramo tiene un espesor variable entre 1 y 4 cm. Está formado por una laminación regular, que se dispone, a su vez, formando intervalos alternantes (~2 mm) de coloración gris o marrón claro y blancos. El punto de goteo migra 1 cm lateralmente hacia la izquierda respecto a la fase 2 (según la foto de referencia del **Anexo A**). En los 5 mm superiores forma un ligero surco que oblitera la continuidad de las laminaciones. Su crecimiento recubre por completo el Tramo 6. Se diferencia respecto al tramo siguiente por su distinta forma.

*Tramo 1.8:* Tiene un espesor variable: desde 3 mm hasta 5 cm. Las líneas de crecimiento están intercaladas de manera regular y algunas están organizadas en intervalos (~1-2 mm) de coloración gris y ma-

rón claro. El punto de goteo se sitúa aún más hacia el eje central de la fase 2 creando surcos bastante profundos. Coincidiendo con algunos puntos de goteo, las láminas se confunden dentro de una masa de color gris/marrón. En el último cm las líneas se distinguen con dificultad y marca el cambio de fase.

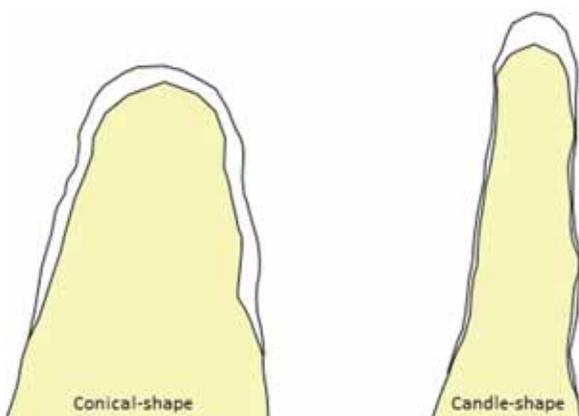


Figura 5. Representación esquemática de la morfologías de crecimiento descritas por MIORANDI *et al.* (2010). A la izquierda, "conical-shape", marcada por un crecimiento homogéneo tanto en los flancos como en el ápice de la estalagmita. A la derecha, "candle-shape", con un crecimiento mayoritario sobre el ápice de la estalagmita.

Figure 5. Patterns of speleothem growth morphology, from MIORANDI *et al.* (2010). On the left, the "conical-shape", which is characterized by a uniform accretion on the edges and on the top of the stalagmite. On the right, the "candle-shape" is characterized by a greater accretion on the top of the stalagmite.

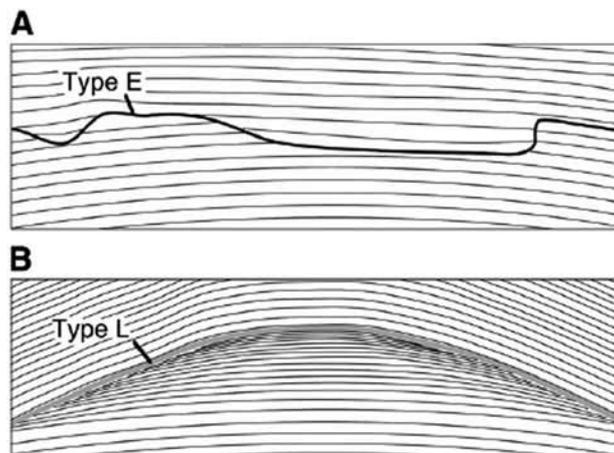


Figura 6. A. Superficie erosiva de "tipo E" (tomado de RAILSBACK *et al.*, 2011). B. Superficie de "tipo L" debida al depósito de una fase lateralmente extensiva (crecimiento en parte media y flancos de la estalagmita) sobre una fase en la que predominó el crecimiento apical, dándose una menor precipitación en los flancos de la estalagmita. Tomado de RAILSBACK *et al.*, 2011).

Figure 6. A. "Type E" erosional surface (from RAILSBACK *et al.*, 2011). B. "Type L" surface due to a phase of accretion occurring on the central part and on the flanks of the speleothem, which is overlaying the previous phase made by a predominant apical accretion and consequent minor precipitation on the flanks (from RAILSBACK *et al.*, 2011).

## Fase 2

Se desarrolla a la vez en dos puntos de *Novella*, tanto en la parte central, que describiremos en este apartado, como en el flanco a la altura del Tramo 2 de la Fase 1, seguramente debido a la existencia de otro punto de goteo adicional. De hecho, su crecimiento se extiende hasta cubrir por completo los flancos de la Fase 1. Este tipo de crecimiento es asimilable al de tipo "candle-shape" (MIORANDI *et al.* 2010) en el cual el crecimiento se produce mayormente en la porción apical de la estalagmita (Fig. 5).

Al contrario que la Fase 1, la Fase 2 es de color oscuro, gris vítreo, sin apenas láminas blancas y difícilmente discernibles (**Anexo A**). Lateralmente las láminas de crecimiento de la Fase 2 cambian a un color característico marrón observable a lo largo de todo el perímetro de la estalagmita y que se debe a la micritización de la calcita. Se han diferenciado 5 tramos según la presencia de superficies de discontinuidad y/o cambio en el patrón de crecimiento de las láminas espeleotémicas (cambio de forma, desplazamiento del punto de goteo, presencia de láminas micritizadas, etc.). De base a techo serían:

**Tramo 2.1:** Mide ~8 cm de grosor y tiene un gran desarrollo lateral recubriendo todos los tramos de la Fase 1. Al igual que los demás tramos de la Fase 2, presenta varios intervalos con láminas de crecimiento blancas mal definidas, pudiendo inferirse cierta ciclicidad o alternancia regular entre intervalos con dominio de láminas oscuras o blancas. De la misma manera pueden también reconocerse 6 intervalos donde la micritización afecta a toda la superficie de crecimiento de la estalagmita (no sólo a la periferia). El límite con el tramo siguiente es definido por el último intervalo de color oscuro. El punto de goteo no es visible.

**Tramo 2.2:** Con ~4 cm de espesor, este tramo se caracteriza por la presencia de intervalos de láminas micriticas más marcadas y continuas hacia el centro. Las láminas blancas poco desarrolladas apenas se distinguen. El límite superior corresponde a una lámina micritizada que se desarrolla hasta la zona central de la estalagmita.

**Tramo 2.3:** Este tramo de ~2,5 cm de espesor, también está limitado por un intervalo blanquecino con mayor abundancia de láminas micriticas. Las láminas blancas presentes aparecen mal definidas con extensiones y grosores variables.

*Tramo 2.4:* Este tramo mide ~5 cm y destaca el desplazamiento lateral del punto de goteo (**Anexo A**). Solamente en el primer centímetro son visibles las láminas blancas que forman un intervalo más blanquecino. Los últimos centímetros son de color marrón claro y apenas se distinguen láminas de crecimiento. Está separado del Tramo 2.5 mediante una lámina micritizada.

*Tramo 2.5:* El último tramo mide ~1,5 cm. La coloración es marrón clara y se observan láminas micríticas continuas en todo el tramo. El punto de goteo vuelve nuevamente a situarse donde se encontraba en los primeros tres tramos de esta misma Fase.

### 3.2. Resultados de la datación radiométrica

La datación U-Th de las muestras por espectrometría alpha no pudo llevarse a cabo dado que no contenían suficiente U y Th. La actividad radiométrica de la muestra era demasiado baja, no pudiéndose medir suficientes cuentas en el espectrómetro como para conseguir a distinguir los picos de los diferentes radioisótopos del ruido de fondo instrumental del equipo (SANTIAGO GIRALT com. pers.).

### 3.3. Petrología

El objetivo de este apartado, es describir e interpretar las texturas cristalinas de la calcita que compone el espeleotema estudiado e identificar las posibles formas de alteración diagenética que pudieran haber sufridos los cristales primarios.

Este estudio es importante a la hora de planificar y realizar las dataciones geocronológicas dado que permite establecer los puntos más favorables, sin modificaciones diagenéticas, para el muestreo de las muestras a datar y ponderar el valor de los resultados geoquímicos.

Además es importante estudiar la fábrica cristalina y los mecanismos de crecimiento de los cristales porque permiten obtener informaciones relacionadas con las características físico-químicas del agua de goteo (SUNAGAWA, 1987), esenciales para la interpretación geoquímica del mismo espeleotema. Los cristales de calcita que forman las distintas láminas del espeleotema, empiezan a formarse debido a variaciones del grado de sobresaturación en  $\text{CaCO}_3$  en el agua de infiltración (FRISIA *et al.* 2000). Su crecimiento está relacionado a la velocidad de goteo, es decir, su formación depende entre otros factores, de la cantidad y tipo de vegetación en superficie, de la pluviosidad media anual (FRISIA, 2003) y del tipo de fractura, fisura o porosidad por la que atraviesa el agua de goteo (Fig. 7).

Se han distinguido 4 texturas cristalinas principales a lo largo de las dos fases de crecimiento de la estalagmita Novella, utilizando como referencia para la clasificación, los trabajos de FRISIA *et al.* (2000), FRISIA (2003) y FRISIA & BORSATO (2010): 1) Textura dendrítica; 2) Textura columnar; 3) Textura dendrítica engrosada y 4) Textura micrítica.

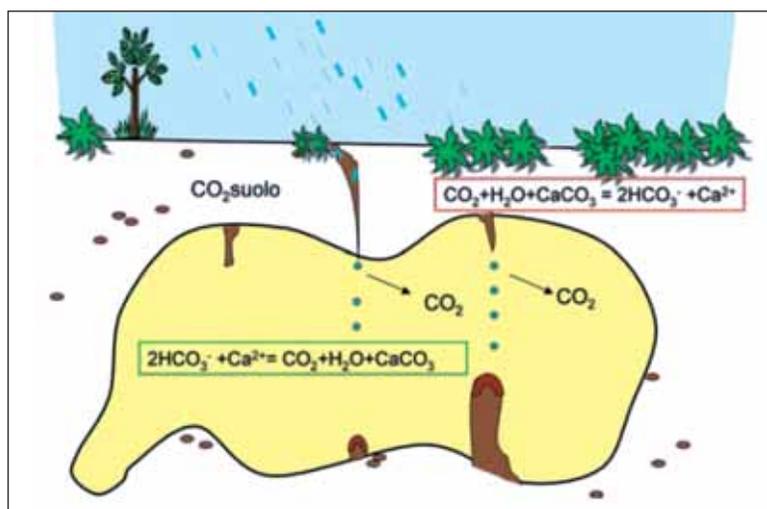


Figura 7. Representación esquemática de las relaciones entre las condiciones ambientales exteriores e interiores de una cueva (FRISIA, 2003). La mayoría del  $\text{CO}_2$  procede de la materia orgánica. Al combinarse con el agua meteorológica, forma una solución ácida que disuelve la roca caliza en su camino hasta el interior de la cueva. Al llegar a una cavidad kárstica, se produce la desgasificación del  $\text{CO}_2$  del agua de goteo, debido a la menor presión de  $\text{CO}_2$  al interior de la cavidad. La desgasificación de  $\text{CO}_2$  hace que el agua de goteo se sobresature en  $\text{CaCO}_3$  precipitando carbonato de calcio cuando la gota toca una superficie, como la parte superior de una estalagmita o el suelo de la cueva. Figure 7. Connections between the external and internal conditions within a cave (from FRISIA, 2003). Most of the  $\text{CO}_2$  comes from the organic matter. Its combination with the meteorological water forms an acid solution that dissolves the calcite. Once inside the karstic cavity, the drip water releases  $\text{CO}_2$  due to the minor  $\text{pCO}_2$  at the interior of the cave. The  $\text{CO}_2$  degasification makes the drip water supersaturated in  $\text{CaCO}_3$  so that the calcium carbonate precipitates when the drop reaches a surface (e.g., a top of a stalagmite or the ground of the cave).

En la *textura dendrítica* los cristales tienen un hábito elongado y fino, acicular. Se disponen entre ellos formando un abanico o una morfología en árbol ramificado, indicando un crecimiento competitivo. Cuando se cruzan varios abanicos generan un enrejado creando una porosidad intercrystalina (FRISIA, 2003). FRISIA & BORSATO (2010) describen esta textura como formada por cristales que llegan a alcanzar una longitud de pocos milímetros y con una anchura comprendida entre 4 y 10  $\mu\text{m}$ . Aunque en nuestra estalagmita el diámetro de los cristales normalmente llega a medir entre 25  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$  de anchura, han sido considerados pertenecientes al tipo dendrítico, dado que presentan la mayoría de las características atribuibles a esta fábrica (**Anexo B1; B2**). Dentro de la textura dendrítica se distinguen dos subtipos: el subtipo *abierto*, que tiene una porosidad intercrystalina, y el subtipo compacto en el cual los poros no están presentes (FRISIA & BORSATO, 2010). En Novella predomina el subtipo abierto.

La textura *dendrítica engrosada* podría representar una forma modificada de la textura dendrítica normal. De hecho, los cristales tienen un diámetro más ancho (se ha medido hasta un máximo de 240  $\mu\text{m}$  de anchura) mientras que mantienen la longitud con respecto a los dendríticos normales. Por ello, la textura dendrítica engrosada presenta un grado de porosidad intercrystalina inferior. Especialmente, los cristales de la textura dendrítica engrosada pueden disponerse de manera ordenada, conservando la típica morfología en abanico, o por lo contrario, pueden disponerse de manera más caótica (**Anexo B3**).

La textura *columnar* está formada por cristales elongados de longitud superior a 100  $\mu\text{m}$  y normalmente anchos, entre 50 y 100  $\mu\text{m}$  (FRISIA & BORSATO, 2010), en disposición más o menos paralela entre ellos y respecto a la dirección de crecimiento del espeleotema (**Anexo B8**). En la estalagmita *Novella* se reconocen tres tipos de textura columnar: *alargada*, *corta* y *abierta*, siendo la más abundante la textura alargada, con cristales de tamaño generalmente medio grande (entre 1 y 3 cm de longitud). Las líneas de crecimiento, valiosos indicadores del carácter primario del cristal, se observan nítidamente dentro del cristal.

La *textura micrítica* está formada por cristales de calcita euédrales o sub-euédrales, sin una elongación preferente y de tamaño no superior a las 4  $\mu\text{m}$  (FRISIA & BORSATO, 2010) (**Anexo B4; B7**).

En *Novella*, las texturas predominantes en cada una de las Fases diferenciadas son:

### Fase 1

La **Fase 1**, mucho más porosa en comparación a la Fase 2, se caracteriza principalmente por la alternancia regular de dos tipos de texturas cristalinas: (i) la textura dendrítica, que al microscopio petrográfico se presenta de color oscuro y (ii) la textura dendrítica engrosada más compacta. A techo de la fase, en algunos casos, se reconoce la textura columnar muy compacta. (**Anexo B1; B2**). Analizando en el detalle la petrografía de cada tramo se observa:

*Tramo 1.1:* Se aprecia una alternancia regular de láminas claras más anchas de textura dendrítica engrosada y oscuras de menor espesor de textura dendrítica normal. A la base, lateralmente, el grado de modificación de los cristales es tan alto que parece formar "masas de cristales fundidos" en las cuales, en varios puntos, no se aprecian los bordes cristalinos. Por esta misma razón la disposición espacial de los cristales aparece menos ordenada.

*Tramo 1.2:* Se observa una alternancia regular de láminas, porosas y más gruesas formada por cristales dendríticos, y láminas claras, bien definidas pero más estrechas formada por cristales dendríticos engrosados.

*Tramo 1.3:* A la base del tramo se mantiene la alternancia regular de láminas de cristales dendríticos y dendríticos engrosados. A techo los bordes de los cristales dendríticos empiezan a fusionarse entre ellos.

*Tramo 1.4:* Igualmente al tramo precedente, a la base se conserva la alternancia regular entre láminas claras y oscuras, y a techo predomina la textura dendrítica engrosada, en disposición más y menos ordenada. En algunos puntos, sobre todo en una banda superior que a visu aparece gris oscuro (**Anexo A**), se aprecian cristales columnares.

*Tramo 1.5:* Está formado por cristales dendríticos engrosados e incluso columnares sin que se aprecie una verdadera laminación.

*Tramo 1.6:* Se observan cristales dendríticos, dendríticos engrosados y cristales columnares pero no se observa una clara disposición en láminas.

*Tramo 1.7:* Domina la textura cristalina dendrítica engrosada y sobre todo en la base del tramo, los rasgos de modificación cristalina se difuminan entre los cristales en forma de "manchas". También es frecuente observar la textura columnar, y sólo en algunos puntos se pueden observar cristales con diámetros más finos, posible "fantasmas" de la textura dendrítica normal, dentro de la columnar. Hacia techo vuelve a aparecer una laminación debida a la alternancia entre la textura dendrítica engrosada y la textura columnar. En algunos casos, esta alternancia está definida por nuevos puntos de nucleación dentro de la misma textura.

*Tramo 1.8:* La textura dendrítica engrosada muy modificada y la columnar predominan en este tramo. Los cristales columnares tienen bordes cristalinos bien definidos y engloban líneas de crecimiento cristalino. Además se puede observar una laminación marcada por la alternancia entre textura columnar y dendrítica engrosada.

El límite entre la Fase 1 y la Fase 2 es muy marcado y neto por el cambio de coloración a visu, pero no es tan aparente en las láminas delgadas y tampoco se observa ninguna discontinuidad erosiva (**Anexo B5**). A lo largo de todo el límite entre las dos fases, predominan los "fantasmas" de cristales dendríticos dándose una mayor porosidad (**Anexo B6**). Sobrepasado este límite, la textura predominante es la de cristales columnares prismáticos bien definidos de la Fase 2.

## **Fase 2**

La **Fase 2** está caracterizada por el predominio de la textura columnar que localmente presenta zonas en las que se aprecian relictos de cristales dendríticos (**Anexo B5; B6**). De un color gris en toda su extensión y hacia la periferia del espeleotema adquiere una tonalidad marrón debido a la presencia de intervalos micríticos. El aspecto vítreo se debe a su fábrica cristalina (**Anexo A**). Los cristales columnares presentan abundantes líneas de crecimiento que denotan una ciclicidad de origen primario. Además marcadas líneas de micritización se desarrollan lateralmente y se amalgaman en la periferia del espeleotema (**Anexo A**). El tamaño de los cristales presenta una tendencia hacia cristales más grandes hacia el centro de la estalagmita donde puede alcanzar los 3 cm de longitud. El tamaño es menor hacia los lados debido a la mayor presencia de láminas de micrita (**Anexo B9**). El eje de crecimiento de los cristales columnares se dispone perpendicularmente al substrato, por lo que los cristales que crecen en los laterales de la estalagmita, generalmente de tamaño menor, tienden a ofrecer una disposición ortogonal con respecto al eje de crecimiento de la estalagmita.

*Tramo 2.1:* En este tramo la textura de los cristales es columnar. El tamaño de los cristales es variable: desde pocos milímetros, en el borde del espeleotema, hasta alcanzar 2-3 cm en el eje central. La forma también varía: cristales estrechos y elongados, cristales cortos de forma poligonal y cristales anchos y largos. Los cristales más menudos presentan, en ocasiones, líneas de crecimiento. En otras zonas se observan los "fantasmas" de los cristales dendríticos. En el borde del espeleotema se encuentran las láminas micríticas.

*Tramo 2.2:* En este tramo también domina la textura columnar. Dominan cristales con una forma bastante estrecha (máximo medio mm de anchura y pocos mm de longitud). Se aprecian "fantasmas" de cristales dendríticos. Las láminas micríticas son presentes en el lateral de la estalagmita.

*Tramo 2.3:* Los cristales son columnares y de tamaño medio. Presentan un diámetro medio de 1 mm y longitud máxima de pocos mm. Hay zonas con cristales dendríticos. Las láminas micríticas no llegan hasta el centro de la estalagmita.

*Tramo 2.4:* Predominan los cristales columnares estrechos, con relictos de cristales dendríticos. Las láminas micríticas se restringen a las zonas laterales.

*Tramo 2.5:* Petrológicamente, es igual al Tramo 2.4.

### 3.4. Mineralogía: difracción de rayos X (DRX)

La DRX ha sido efectuada a partir de las muestras en polvo obtenidas en dos puntos de la estalagmita: en una lámina micrítica de la Fase 2 y en una lámina de textura dendrítica de la Fase 1. Los dos difractogramas obtenidos se solapan perfectamente y en ambos el pico con más intensidad es el perteneciente a la calcita.

Adicionalmente se realizaron también análisis por Micro-XRD en tres puntos de la muestra (Fase 1, Fase 2 y lámina micrítica de la Fase 2). Los resultados indican, en todos los casos, la presencia exclusiva de máximos correspondientes a la calcita. No obstante, las tres zonas presentan fenómenos de texturación (orientación de los cristales) lo que genera cambios importantes en la intensidad de los máximos (AITOR LARRAÑAGA com. pers.).

### 3.5. Geoquímica mediante XRF y análisis de componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales de los datos obtenidos en el XRF core-scanner se ha permitido de identificar 22 componentes principales (PC). Sólo 8 de ellos explican una cantidad significativa de la varianza de los datos geoquímicos, explicando un 60.3 % de la varianza total. De estos ocho componentes, el PC1 es el que más varianza explica (19.23%) y agrupa a seis elementos con pesos o *loadings* significativos, cinco con puntuaciones positivas: Sr, Dy y Ca con valores altos (0.73 - 0.85), Fe y Tb con valores medios (0.63 y 0.6) y uno con puntuación negativa: Si con un valor alto (-0.83) (ver **Tabla I**). Los otros siete componentes principales explican una variancia comprendida entre el 4.9% y 7.4% (ver **Tabla I** para los *loadings* de otros elementos en los demás PCs).

Con los datos obtenidos se realizaron ocho gráficos que reflejan la tendencia de cada componente principal a lo largo del espeleotema para estudiar así la existencia de posibles correspondencias con los tramos y las fases estratigráficas de la estalagmita (**Anexo C**).

El PC1 tiene valores constantes negativos a lo largo de la Fase 1 hasta los 17 cm (medidos desde la base). Después se convierte gradualmente en positivo hasta el cm 24 en la Fase 2. Eso indica un contenido constante de Si al inicio, que decrece paulatinamente después. En los siguientes centímetros de la Fase 2 el gráfico se hace más variable, con una apariencia cíclica dada la presencia de dos máximos positivos (cms 25 y 33) y uno intermedio negativo alrededor del cm 28; esta zona coincide con una zona de rotura en la estalagmita pero no parece afectar las mediciones. En esta segunda fase de la estalagmita hay un mayor contenido relativo de elementos como el Ca, Sr, Dy, Fe y Tb.

El PC2 presenta valores neutros constantes a lo largo de toda la Fase 1 y parte de la Fase 2, hasta los 24 cm a partir de la base. Aun así, en el cm 17, coincidiendo con el límite entre fases, presenta un grupo de pequeños picos positivos. En la Fase 2, a partir del cm 24 presenta un ciclo hacia valores positivos con su máximo en el 27 cm y desciende a valores negativos hasta el final. Esta tendencia indica una mayor presencia de los elementos con peso positivo del componente principal en el ciclo positivo de la Fase 2, el Tb, Cl y S (**Anexo C**).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Sr	<b>0,85</b>	-0,01	0,12	-0,01	0,08	-0,04	0,02	0,04
Dy	<b>0,76</b>	0,18	0,03	0,02	0,10	-0,03	0,14	0
Ca	<b>0,73</b>	-0,28	0,09	-0,04	0,07	-0,01	-0,13	0,02
Fe	<b>0,63</b>	0,42	0,13	-0,08	-0,28	0,13	0,06	-0,04
Tb	<b>0,60</b>	<b>0,56</b>	-0,04	-0,04	-0,26	0,14	0,09	0,06
Pb	0,21	0,12	0,12	-0,16	-0,02	-0,03	<b>0,73</b>	0,2
Cl	0,14	<b>0,69</b>	0,03	-0,06	-0,05	0	-0,03	-0,08
Mn	0,14	0,02	<b>0,89</b>	-0,02	-0,01	-0,09	0,04	0,03
Ti	0,09	-0,05	0,01	-0,11	<b>0,56</b>	0,03	-0,03	-0,12
S	0,08	<b>0,54</b>	0,10	0,28	0,11	-0,36	-0,05	-0,2
Ni	0,07	-0,09	0,06	0,10	0,05	<b>0,7</b>	0,18	-0,19
V	0,07	-0,05	-0,43	0,03	<b>0,63</b>	-0,15	0,29	0,12
Ga	0,05	-0,09	-0,11	<b>0,64</b>	-0,21	0,07	-0,03	0,17
K	-0,02	0,2	0,25	0,01	<b>0,56</b>	0,15	-0,4	0,13
Zn	-0,04	0,09	0,03	<b>0,73</b>	0,08	-0,02	-0,14	0,01
Rb	-0,05	-0,09	0,05	0,17	-0,05	0,04	0,11	<b>0,79</b>
Cu	-0,1	0,08	-0,13	0,07	-0,01	<b>0,68</b>	-0,18	0,18
Al	-0,13	0,45	0,15	-0,1	0,15	0,02	0,09	0,28
Ge	-0,13	-0,15	0,01	<b>0,47</b>	-0,09	0,19	0,32	-0,08
Br	-0,24	-0,03	0,15	0,27	0,07	0,22	0,39	-0,39
Cr	-0,40	-0,28	<b>-0,57</b>	0,06	-0,02	0,02	-0,21	-0,05
Si	<b>-0,83</b>	-0,1	-0,06	0,03	-0,08	0,09	-0,03	0,08
Varianza %	19,23	7,401	7,139	5,818	5,589	5,145	5,126	4,913

Tabla I: Tabla de los pesos ("loadings") de cada elemento en relación a los ocho componentes principales (PC) obtenidos mediante el PCA.

Table I: Loadings values of each elements in relation with the eight principal components (PC) identified during the PCA.

El PC3 tiene valores neutros constantes iniciales con pequeños ciclos poco significativos, si bien alrededor del límite entre fases (cm 17) hay un pico positivo más marcado. En la Fase 2, alrededor del cm 24 los valores se hacen ligeramente negativos, con picos negativos marcados en los cm 24 y 25, y un intervalo positivo entre los cm 28 y 31. Los intervalos negativos indican una mayor presencia de elementos como el Cr, mientras que los positivos elementos como el Mn (**Anexo C**).

El PC4 presenta valores constantes alrededor de cero sin mostrar ninguna tendencia significativa a lo largo de toda la estalagmita (**Anexo C**).

El PC5 tiene valores constantes cercanos a cero a lo largo del espeleotema, no obstante presenta picos claros positivos bien marcados en el contacto entre la Fase 1 y la Fase 2 y en el cm 24. En los centímetros 25 y 31 se observan 2 ligeros máximos negativos. En este componente principal refleja sobre todo los elementos positivos principales son el Ti, V y K (**Anexo C**).

El PC6 presenta también valores constantes alrededor de 0. Podrían señalarse una tendencia entre los cm 17 y 24 de la Fase 2 donde es negativa y los cm 24 y 28 donde se hace más positiva. Coincidiendo con el cambio de Fase se observan ligeros picos positivos. En la PC6 los elementos más significativos, el Ni y el Cu, son negativos (**Anexo C**).

El PC7 tiene valores positivos en los 10 cm basales de la Fase 1 hasta donde se encuentra una segunda rotura del espeleotema (este hecho hace que se tengan que tomar los datos con precaución). Desde el cm 10 hasta el cm 17 presenta valores negativos que luego se convierten en positivos hasta el final del espeleotema. Se reconocen dos grupos de picos positivos para la Fase 2 en los cm 24 y 26. El Pb, con peso positivo, es el único elemento mayoritario que controla este PC (**Anexo C**).

En el PC8 se reconocen valores algo positivos en los primeros 10 cm y una tendencia negativa desde el cm 10 hasta el cm 17 en la Fase 1. En el cm 17 a la altura del cambio de fase, es visible un máximo positivo. El único elemento mayoritario para esta componente principal es el Rb que tiene un loading positivo (**Anexo C**).

En general, los gráficos presentan algunas correlaciones entre los componentes principales y la estratigrafía del espeleotema (tramos y fases). Esto es evidente por ejemplo, en el límite entre la Fase 1 y la Fase 2 donde se encuentran picos en los PC2, 3, 5, 6, 7 y 8 (**Anexo C**). En el gráfico del PC1 esto se manifiesta mediante un cambio de valores de negativos a positivos (**Anexo C**).

Además se pueden observar relaciones entre los gráficos de los componentes principales y algunos tramos de las distintas fases (**Anexo C**). En la Fase 2 el límite superior del Tramo 2.1 coincide con picos del PC1, 2, 3, 5 y 7, mientras que el límite superior del Tramo 2.2 coincide con un pico positivo del PC1. En la Fase 1, los PC1, 5 y 8 presentan un pico positivo y el PC7 uno negativo, coincidiendo con el límite superior del Tramo 1.5. Además el PC7 tiene valores negativos durante el Tramo 1.8 y entre el Tramo 1.3 y el Tramo 1.5. Se puede indicar también, que en el cm 24 muchos PCs presentan picos o cambios de tendencia, máximos en los PC3, 5 y 7 y cambios de tendencia en los PC1, 2, 3 y 6.

### 3.6. Análisis de la tomografía axial computarizada (TAC)

Los datos generados por el TAC fueron tratados mediante el software MIMICS para poder hacer una reconstrucción virtual de cada segmento del espeleotema. El software es capaz de reproducir simultáneamente tres imágenes virtuales en 2D según una visión: axial, coronal y sagital. También es posible crear un modelo en 3D y permite manipular y modificar el objeto con total libertad (SAEY TUAN *et al.* 2005). Se han creado varias máscaras de distintos colores correspondientes a diferentes intervalos de valores que reflejasen la variabilidad interna de la estalagmita de la mejor manera posible: negro (0 - 226), amarillo (226 - 999), fucsia (1000 - 1499), verde (1500 - 1999) y azul (2000 - 3071) (**Anexo D**). Además ha sido creada una máscara blanca (-1024 - 226) y su equivalente imagen en 3D para poder identificar la distribución de la porosidad en el espeleotema (**Anexo E**). De esta manera ha sido posible identificar e individualizar distintas áreas de la estalagmita con densidades diferentes. Analizando las imágenes creadas y en virtud de los resultados obtenidos en el estudio petrológico, es posible verificar la existencia de una correspondencia entre densidad y texturas cristalinas en la estalagmita.

Así, en la **Fase 1** del espeleotema, desde el primer tramo hasta la práctica totalidad del Tramo 1.7, dominan los intervalos de colores amarillo y fucsia de manera alternante (**Anexo D**). El color amarillo, que representa los valores de densidad bajos (226-999), correspondería a la textura dendrítica abierta, caracterizada por tener abundante porosidad intercrystalina. Además, en los Tramos 1.3 y 1.5, se identifican valores de densidad característicos de color amarillo para las superficies de "Tipo E" (**Anexo D1**). La máscara fucsia, que comprende zonas con valores intermedios de densidad, refleja la textura dendrítica engrosada. Esta textura, podría originarse a partir de la textura dendrítica normal por modificaciones/precipitación en los bordes cristalinos como consecuencia de variaciones ambientales, provocando una disminución de la porosidad intercrystalina.

En la periferia y en algunos puntos cerca del eje de crecimiento de la estalagmita de la Fase 1, se observan también los colores verde y azul que corresponden a valores de densidades altos y máximos respectivamente (**Anexo D**). El color azul que se concentra únicamente en el borde de la estalagmita, refleja la textura columnar perfectamente formada y sin apenas porosidad. El color verde con valores altos de densidad, aunque no máximos, coincide con una textura dendrítica engrosada muy modificada y/o a una textura columnar más porosa. En el Tramo 1.8 a medida que nos acercamos al límite de la Fase 1 a la Fase 2, el color amarillo disminuye de forma gradual dando paso a la alternancia de intervalos fucsias y verdes (**Anexo D2**). El color fucsia correspondería a los intervalos relictos o "fantasmas" de la textura dendrítica que por el estudio petrológico también hemos comprobado que existen intercalados en la textura columnar predominante en la Fase 2.

También ha sido posible identificar que la Fase 1 además de abundante porosidad intercrystalina, presenta poros debidos a fenómenos diagenéticos de disolución (**Anexo D**). Estos puntos de densidad igual a cero, aparecen en la imagen en color negro. Están en la mayoría de los casos asociados a algunos de los límites entre tramos, especialmente los que presentan superficies de tipo erosivo o "Tipo E" de MIORANDI *et al.* (2010), como por ejemplo los límites entre los Tramos 1.4 y 1.5 ó 1.6 y 1.7 (**Anexo D1**). Dichas discontinuidades representan fases de erosión y/o no depósito y además disolución de la superficie del espeleotema.

La **Fase 2** está mayoritariamente definida por intervalos alternados de color verde y azul. De hecho es la textura cristalina columnar que domina esta fase de la estalagmita, caracterizada por su baja porosidad. El contorno del espeleotema aparece en esta fase también enteramente de color azul (**Anexo D4**).

En los primeros centímetros del Tramo 2.1, todavía aparece el color fucsia alternado en bandas con el verde y el azul (**Anexo D5**). Al final del Tramo 2.1 y en los tramos 2.2 y 2.3, dominan los intervalos verdes y azules. En el tramo 2.4 vuelve a aparecer la alternancia en bandas fucsia y azules y en algunos puntos asociados al fucsia, hay trazas de color amarillo (**Anexo D6**); esta zona del espeleotema corresponde a una zona con textura cristalina más porosa que la textura columnar, seguramente a intervalos relictos de cristales dendríticos que hemos reconocido en el estudio petrológico. En el último tramo, se observa una alternancia en bandas entre color verde y color azul.

En algunas zonas de la Fase 2, se aprecia una porosidad de origen diagenético por disolución (color negro), pero en cantidades significativamente menores que en la Fase 1, y en su mayoría relacionadas a los límites micritizados entre tramos o la zona de goteo de la estalagmita (**Anexo D**).

Las imágenes en 3D han permitido identificar las zonas con mayor porosidad. El primer segmento, correspondiente enteramente a la Fase 1, presenta un alto grado de porosidad intercrystalina distribuida a lo largo del espacio (**Anexo E1**). El segundo segmento, que abarca tanto la Fase 1 y como la Fase 2, tiene poca porosidad, principalmente localizada a lo largo del eje central, donde se localizan los puntos de goteo (**Anexo E2**). El tercer segmento, que corresponde totalmente a la Fase 2, presenta un bajo grado de porosidad, estando localizado en áreas que seguramente corresponden a zonas con presencia de texturas dendríticas relictas (**Anexo E3**).

## 4.- DISCUSIÓN

### 4.1. Procesos de formación del espeleotema y su contexto paleoambiental

El estudio petrológico de un espeleotema permite obtener informaciones sobre los procesos y el ambiente de su formación. En la estalagmita *Novella* se han podido reconocer dos fases de crecimiento caracterizadas por dos distintas texturas cristalinas dominantes: dendrítica en la Fase 1 y columnar en la Fase

2. Para poder explicar este cambio de textura cristalina, se debe considerar el espeleotema como un sistema abierto cuyo desarrollo está condicionado por muchos factores relacionados entre sí y que varían en el tiempo. En el caso de *Novella*, las dos fases de crecimiento parecen reflejar un cambio en las condiciones de formación del espeleotema, probablemente relacionado al paso (gradual o no) de un determinado umbral, habiéndose producido un cambio hacia nuevas condiciones de formación reflejadas por productos diferentes (texturas, tasas de crecimiento, geometrías del espeleotema, etc.) (FAIRCHILD & BAKER 2012) (Fig. 8). Además, a menor escala, cada una de las fases de crecimiento estuvo sujeta a fluctuaciones cíclicas, periódicas o no, que fueron la causa de la alternancia entre las distintas texturas observadas en cada Fase, dendrítica normal y engrosada en la Fase 1, y columnar y micrítica en la Fase 2 (Fig. 8).

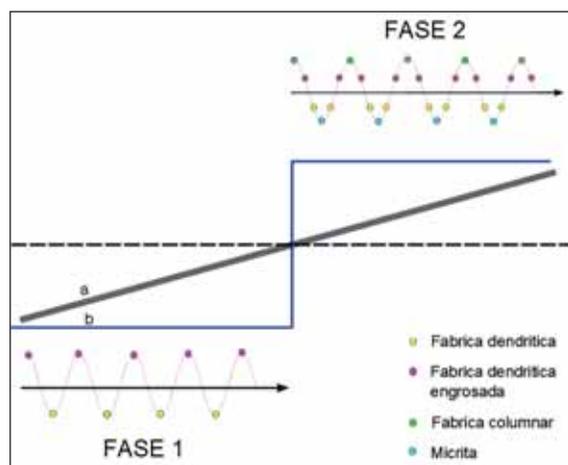


Figura 8. Evolución del crecimiento de la estalagmita Novella. El paso de la Fase 1 a la Fase 2 pudo haber sido provocado al sobrepasarse un umbral (línea discontinua) en las condiciones de formación del espeleotema. Eso pudo haberse dado de manera gradual (línea "a") o abrupta, en relación con un evento de cambio ambiental (línea "b"). A menor escala, dentro de cada fase, se constata la presencia de cambios ambientales cíclicos en la formación del espeleotema, que han producido variaciones en la textura de crecimiento. En la figura se representa el modelo ideal de crecimiento de Novella, con fluctuaciones ambientales regulares.

Figure 8. Growth development of the stalagmite Novella. The transition from Phase 1 to Phase 2 could have occurred when the formation conditions of the speleothem reached a threshold value (dash line). This may have happened gradually (line "a") or not, in relation with a climatic change (line "b"). At a smaller scale, environmental changes may occur during each phase. Cycles are observed during the growth of the stalagmite, which may induce some variations in the crystalline fabric. The ideal growth pattern of Novella with regular fluctuations is shown on the figure.

nes de formación, como por ejemplo un incremento en el régimen de goteo. De hecho, según FRISIA (2003), a favor de la abundante porosidad intercrystalina de la textura dendrítica, el agua de goteo puede infiltrarse y favorecer fenómenos de disolución y/o (re)precipitación por el que el diámetro de los cristales aciculares podría aumentar, fusionándose gradualmente los bordes cristalinos con los de los cristales adyacentes dando lugar a una fábrica más equidimensional (dendrítica engrosada) (Figura 9). Este fenómeno parece producirse sistemáticamente en toda la Fase 1. La textura dendrítica engrosada, podría finalmente evolucionar hacia una textura semejante a la columnar, tal y como parece apuntar la presencia en *Novella* de "fantasmas" de cristales aciculares típicos de la textura dendrítica, dentro de la textura columnar. La textura dendrítica engrosada, parece por lo tanto corresponder en su mayoría a una textura primaria (a veces secundaria) que para formarse necesita condiciones intermedias a las de la textura dendrítica y las de la textura columnar. La textura dendrítica engrosada se hace más abundante hacia el techo de la Fase 1. La laminación en los primeros tres tramos de la Fase 1 se debe a la alternancia entre textura dendrítica normal y textura dendrítica engrosada. La laminación de los restantes tramos de la Fase 1, es consecuencia de la alternancia de texturas dendríticas engrosadas con distintas características de tamaño de cristal, porosidad, etc.

### Fase 1

La *textura dendrítica* (Anexo B1; B2), se da fundamentalmente en espeleotemas formados en condiciones de desequilibrio: goteo variable y solución acuosa con un índice de supersaturación de  $\text{CaCO}_3$  (Sicc) variable (FRISIA 2003; FRISIA *et al.*, 2000; FAIRCHILD & BAKER 2012). En el interior de una cueva, este desequilibrio se puede dar cerca de corrientes de aire (p. ej. en áreas de entrada) o corrientes de agua que puedan acelerar fenómenos cinéticos del proceso de precipitación de calcita como la desgasificación del  $\text{CO}_2$  y la evaporación (FRISIA 2003; FRISIA & BORSATO 2010). También se puede dar en presencia de impurezas en el agua de goteo que pueden inhibir la nucleación (FRISIA & BORSATO 2010). Además la alta densidad de defectos cristalinos que la caracteriza junto la morfología del habito cristalino (acicular) y el alto grado de Sicc, son indicadores de un crecimiento cristalino relativamente rápido (FRISIA 2003). FRISIA (2003) y FRISIA *et al.* (2000) interpretan esta textura como indicadora de climas con una pronunciada estacionalidad o con presencia de frecuentes y prolongados periodos relativamente áridos/secos.

La *textura dendrítica engrosada* (Anexo B3) podría representar una forma de transición entre una textura dendrítica normal y una textura columnar. Indica cambios en el patrón de precipitación o cambios diagenéticos debidos a variaciones de pequeña escala en las condiciones

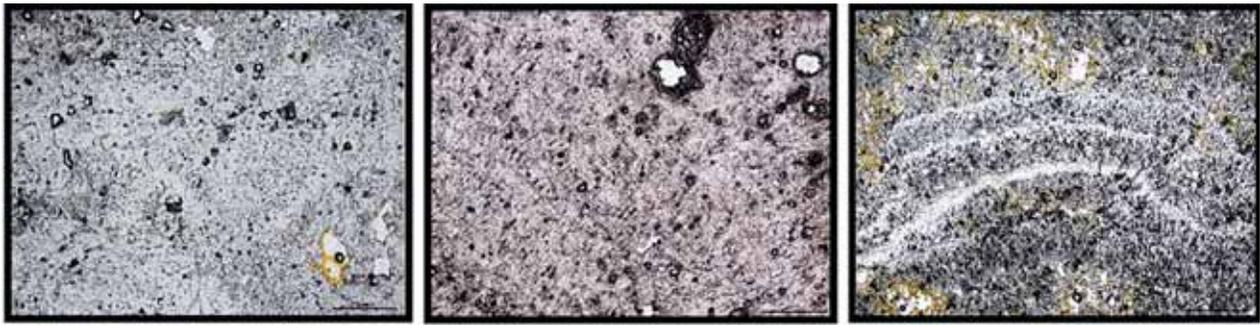


Figura 9. Fotografías al microscopio óptico con nicóles paralelos de láminas delgadas de la Fase 1. Izquierda y centro: textura dendrítica engrosada. Derecha: probable textura dendrítica engrosada primaria. La línea de escala corresponde a 1 mm.

Figure 9. Pictures of several thin sections from the Phase 1 taken by optical microscope in transmitted light. Left and middle: enlarged dendritic fabric. Right: probable original enlarged dendritic fabric. The thin line corresponds to 1 mm.

## Fase 2

Está formada casi íntegramente por la textura de tipo columnar (**Anexo B8; B9**). Esta textura se forma en condiciones de goteo y de química del soluto constantes (FRISIA *et al.* 2000) de manera que la superficie externa del espeleotema está constantemente humedecida por el agua de goteo (FRISIA 2003). La fábrica columnar se produce cuando los parámetros ambientales ( $T^a$ , presión, etc.) están en condiciones de quasi-equilibrio (constantes) y cuando el grado de supersaturación en  $\text{CaCO}_3$  es relativamente bajo y constante (FRISIA & BORSATO 2010). FRISIA (2003) interpreta esta fábrica como típica de climas sin fuertes contrastes estacionales en cuanto a la pluviosidad media anual y/o típica de cuevas donde no se producen corrientes de aire o de agua. En la Fase 2, se da también la presencia cíclica de numerosas láminas micríticas, visibles sobre todo en los flancos de la estalagmita. Están relacionadas a momentos de hiatos sedimentarios o parones en la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  y pueden estar formadas bien por pequeños gránulos de calcita originados por la erosión de la parte superficial del espeleotema, bien por micro-estratos de arcilla transportada por el flujo de percolación (en Novella no se ha detectado la presencia de arcillas).

Además de la textura cristalina de la calcita que forma las láminas de crecimiento, según MIORANDI *et al.* (2010), también la morfología de un espeleotema está controlada por el régimen hidrológico del sistema kárstico. Así, la tasa de goteo y la precipitación de la calcita está controlada por la velocidad de desgasificación del  $\text{CO}_2$ : cuanto más lento es el goteo, más tiempo tiene el agua de goteo para desgasificarse en  $\text{CO}_2$  (DREYBRODT *et al.* 1997) y aumenta la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ . Según este proceso, una estalagmita de forma cilíndrica (*candle-shaped*) (**Fig. 5**) y de diámetro constante (sin engrosamientos o estrangulamientos) se crearía bajo un régimen de goteo lento (GAMS, 1981; BALDINI, 2000) y la calcita precipitaría mayormente en la parte apical del espeleotema. Por el contrario, las estalagmitas con geometrías cónicas (*conical-shape*) (**Fig. 5**) se formarían bajo un régimen de goteo alto y la calcita se depositaría tanto en la zona apical como en los flancos del espeleotema. En la estalagmita Novella, la Fase 1 tiene un desarrollo semejante a una forma *conical-shape*, mientras que la morfología de la Fase 2 es más similar a la *candle-shaped*.

El estudio geoquímico ha revelado interesantes relaciones entre los elementos químicos presentes en la estalagmita y su estratigrafía (**Anexo C**). La más significativa está asociada al límite entre las Fases 1 y 2 que además coincide con el cambio mayor en la petrología y ha producido picos y cambios de tendencia en la mayor parte de los PC. El caso particular del PC1, componente principal que mayor cantidad de la varianza geoquímica explica (19,23 %) siendo por tanto el más significativo, refleja como los valores negativos que dominan en toda la Fase 1 cambian gradualmente pasando a valores positivos en la Fase 2 (**Anexo C**). En el PC1 solamente el Si tiene un peso (*loading*) negativo significativo (**Tabla I**), y según HU *et al.* (2005), es un indicador paleopluviométrico. Los autores indican que la lixiviación del Si del suelo es máxima en climas áridos y periodos en los que además se da un mayor aporte de polvo eólico. Este hecho coincide con una mayor estacionalidad y presencia de periodos más secos, ya señalada por la textura dendrítica. El Si se correlaciona negativamente con el Ca y con el Sr que es el elemento con mayor *loading* en la Fase 2. Ambos indican una mayor precipitación/presencia relativa de carbonato (o lo que es lo mismo, menor cantidad de Si). La incorporación del Sr está controlada mayormente por distintas variables que influyen en la cinética de crecimiento

del espeleotema ( $Si_{cc}$ , mecanismos de crecimiento, impurezas en el agua, etc.) (FAIRCHILD & BAKER, 2012) y según TANG *et al.* (2008), la incorporación de Sr aumenta a bajas temperaturas.

Los elementos químicos asociados al transporte de materia orgánica en el agua de infiltración/goteo detectados en los análisis son el Pb, Cl, Cu, Zn y Br (BORSATO *et al.* 2007; BIESTER *et al.* 2012). El Pb, que está significativamente representado por el PC7 (**Anexo C**), es uno de los elementos mejor estudiados en este sentido. En la Fase 2 no se observa ninguna tendencia significativa, aunque si algunos máximos de intensidad, pero en la Fase 1 los valores de este componente son mayormente positivos excepto en el Tramo 1.8 donde se convierten en negativos, indicando una menor presencia de Pb. El plomo es un metal pesado cuya presencia depende de su transporte durante periodos breves y de intensa infiltración que aportan sustancias húmicas y otros coloides al agua de goteo. Su transporte parece estar relacionado a los efectos combinados de la presencia y movilización de la materia orgánica (humus) y de flujos intensos que afecten a los suelos, típicos durante el otoño. Algo parecido ocurriría también con la mayor lixiviación otoñal de los fosfatos en los suelos (BORSATO *et al.* 2007) posiblemente indicados con máximos positivos del PC2 en la Fase 2 (Tramos 2.2 y 2.3) (**Anexo C**). También en estos tramos podría interpretarse un aumento del Cl en los de la Fase 2. Según FAIRCHILD *et al.* (2009), el cloro se asocia a inclusiones líquidas que en este caso podrían haberse formado denotando la presencia de porosidad intracristalina.

Además de no ser destructiva, la tomografía axial computarizada se ha revelado como una técnica con un potencial muy alto de aplicación en el campo de la petrofísica de los espeleotemas, donde apenas ha sido utilizada hasta el momento (**Anexo D**). El estudio de *Novella* ha puesto de manifiesto la correspondencia, con un alto grado de resolución, entre las distintas fábricas cristalinas identificadas mediante el estudio petrológico y los valores de densidades detectados mediante el TAC. Además, se ha podido caracterizar la significativa presencia de porosidad intercristalina en zonas limítrofes entre tramos estratigráficos (p. ej. Tramos 1.2, 1.6, 2.1, 2.2 y 2.3), en las zonas de goteo (Tramos 1.8, 2.2 y 2.3) y en zonas donde se localizan "fantasmas" de cristales dendríticos (en los Tramos 2.1 y 2.2) (**Anexo D**; **Anexo E**). Entre las tres texturas cristalinas reconocidas en *Novella*, la textura dendrítica resulta ser la más porosa y por lo tanto la Fase 1 tiene un grado de porosidad mayor que la Fase 2. Es importante estudiar la distribución de la porosidad porque está relacionada con el comportamiento hídrico de las diferentes textura cristalinas y consecuentemente también con la distribución espacial de los procesos diagenéticos (MUÑOZ-GARCÍA *et al.* 2012). De la misma manera, se puede obtener información sobre la mayor probabilidad o no para un espeleotema de haber permanecido como un sistema geoquímicamente cerrado cuando ocurren cambios sustanciales en el régimen de goteo (MUÑOZ-GARCÍA *et al.* 2012).

Además, el TAC ofrece también la posibilidad de determinar la posición del eje de crecimiento de una estalagmita antes de ser cortada para su estudio, dado que permite detectar los cambios de densidad de la calcita, y esta suele ser mayor en la zona de goteo. Esto permite detectar, antes de seccionar la estalagmita, la zona central donde se da la mayor correspondencia entre la composición geoquímica de la muestra y del agua de goteo (MICKLER *et al.* 2004).

#### 4.2. Marco cronológico

A pesar de que la datación de la estalagmita *Novella* no pudo llevarse a cabo, es posible delimitar su rango temporal en relación a la estratigrafía endokárstica de la cueva de Praileaitz. El espeleotema se encontraba por encima de una colada espeleotémica (Fase 4) cuya base coincide con la parte superior del nivel arqueológico datado en 9.000 años B.P. Por lo tanto, *Novella* debió de iniciarse durante la Fase 4 (< 9000 años) y desarrollarse hasta la actualidad dado que el goteo estaba todavía activo al ser muestreada.

### 5.- CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La aplicación de distintas técnicas analíticas y el estudio de distintos indicadores ambientales en la estalagmita *Novella*, ha puesto de relevancia la aplicabilidad de técnicas novedosas como el XFR core-scanner y el TAC, y obtener resultados claves para desarrollar una interpretación paleoambiental. Mediante el estudio petrológico se ha podido caracterizar la estratigrafía, reconocer distintas texturas cristalinas e inferir las condiciones ambientales que tuvieron lugar durante su formación. La Fase 1 dominada por la tex-

tura dendrítica (normal y engrosada), se formó probablemente bajo un clima relativamente húmedo pero caracterizado por la presencia de una marcada estacionalidad (**Anexo F**). La Fase 2 mayormente constituida por la textura columnar, se formó posiblemente en un clima menos variable, sin fuertes contrastes estacionales y más húmedo, en definitiva, más atlántico (**Anexo F**).

El estudio de los datos geoquímicos obtenidos mediante fluorescencia de rayos X de alta resolución ha sido abordado utilizando técnicas estadísticas multivariantes, con el propósito de caracterizar potenciales tendencias y/o ciclicidades en la formación del espeleotema. El estudio geoquímico ha permitido identificar distintos elementos presentes en la estructura cristalina de la estalagmita, hecho que permite obtener información sobre la composición química del agua de goteo y las condiciones ambientales en el exterior de la cueva. Además se ha podido correlacionar la estratigrafía del espeleotema con cambios en la evolución temporal de los factores (procesos ambientales: sedimentarios, edáficos, químicos, climáticos, etc.) asociados a los componentes principales y detectando también un cambio a nivel geoquímico entre la Fase 1 y la Fase 2 de la estalagmita (**Anexo C**). Esta técnica ha sido principalmente desarrollada para su aplicación en otros materiales y apenas utilizada en espeleotemas, por lo cual han de tomarse con prudencia y ser calibrados y corroborados mediante otras técnicas (p. ej. ICP-MS) antes de cualquier interpretación ulterior.

Finalmente, la tomografía computarizada, ha permitido establecer la correspondencia entre la densidad y las texturas cristalinas (**Anexo D**) de la estalagmita y además, conocer la distribución de la porosidad intercristalina con un alto grado de resolución (**Anexo E**). El reconocimiento de estas variables aporta valiosa información sobre distintos procesos de formación de la estalagmita. El mero hecho de aplicar esta técnica al estudio de espeleotemas es en sí un gran avance, dado que son casi inexistentes las investigaciones realizadas mediante esta técnica. En este sentido, los datos obtenidos apuntan a un gran potencial en su aplicación al estudio de este tipo de material.

Como perspectivas a futuro, habrían de completarse y estudiarse de manera más exhaustiva los datos obtenidos mediante las distintas técnicas y complementar la información con otras analíticas. Entre ellas la datación radiométrica mediante la serie U-Th es esencial para obtener un contexto temporal detallado y preciso. Por eso, parece necesario realizar estas dataciones mediante ICP-MS, que tiene un mejor nivel de detección que la espectrometría alfa y por lo tanto requiere una cantidad mínima de material. En este sentido, varios puntos de muestreos repartidos a lo largo de la estalagmita permitirán delimitar la cronología de las dos fases y de los tramos incluidos. Faltaría además desarrollar el estudio de la geoquímica isotópica del O y el C que permitiría extraer información detallada y cuantitativa sobre paleotemperaturas y paleoprecipitación. De la misma manera, se seguirán desarrollando las técnicas ya utilizadas para conseguir datos más detallados y fiables de la estalagmita. Así, se abordará un estudio más detallado de la estratigrafía del espeleotema para reconocer eventuales subtramos y ciclos (análisis espectrales), se seguirá analizando la información geoquímica aportada por la fluorescencia de rayos X y también se planteará un análisis mediante ICP-MS para la calibración de los datos de la fluorescencia y la cuantificación de los elementos químicos contenidos. Finalmente se desarrollará la potencialidad del TAC y de distintas herramientas informáticas (p. ej. MIMICS) para crear y analizar los datos obtenidos mediante esta técnica. El propósito final es desarrollar un protocolo de investigación lo más completo y productivo posible que pueda aplicarse al estudio de cualquier otro espeleotema.

## 6.- AGRADECIMIENTOS

Querría expresar mis más sinceros agradecimientos, en primer lugar, a los directores del trabajo: Eneko Iriarte, Arantxa Aranburu y Ana Moreno por haberme ofrecido la oportunidad de realizar este trabajo y por su ayuda y apoyo durante la realización del mismo. Agradezco también al Prof. J.M. Carretero (Universidad de Burgos) por haberme acogido en su departamento y darme la posibilidad de utilizar los microscopios del Laboratorio de Evolución Humana.

Además, querría agradecer al Dr. Santiago Giralte (ICTJA-CSIC) por su tiempo dedicado a la datación radiométrica del espeleotema, al Dr. Aitor Larrañaga (UPV/EHU) por su ayuda con los análisis DRX, a Roberto Porres (UBU) por su ayuda con el TAC, Laura Rodríguez (UBU) por enseñarme a utilizar MIMICS, Rebeca García (UBU) por ayudarme con el MEB y al Prof. J. Arostegui (UPV/EHU) por facilitarme el uso de ultrasonidos. Finalmente, agradezco la ayuda y compañía de todos los amigos del Departamento de Mineralogía y Petrología de la UPV/EHU y sobre todo Mathieu y mis padres.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

- AL-ESHAIKH, M. A., KADACHI, A.  
2006 Toxic heavy metal analysis in residential paint using X-rays fluorescence (RXF) technique. *Proceeding of the 12<sup>th</sup> International Conference on Machine Design and Protection*, September 5-8 Kusadast Turkey (CD-ROM).
- AGUIRREZEBALA, L.M.  
1996 El Aptiense-Albiense del Anticlinorio Nor-Vizcaino entre Gernika y Azpeitia. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco.
- ARANBURU, A., VADILLO, I., DAMAS, L., GARCIA-GARMILLA, P., IRIDOY, P., ARRIOLABENGOA, M., BERRETEAGA, A., OLAETXEA, C.  
2010 Degradación de los espeleotemas de la cueva Praileaitz I. *Cuevatur*: 435-450.
- ARRIOLABENGOA, M., ARANBURU, A., IRIARTE, E., OLAETXEA, C., IRIDOY, P., DAMAS, L., VADILLO, I.  
2012 *Registro endokárstico de la Cueva de Praileaitz I: estratigrafía y evolución*. VIII Congreso Geológico de España, Oviedo (España). *Geo-Temas* 13: 64.
- BALDINI, J.U.L.  
2000 Morphologic and dimensional linkage between recently deposited speleothems and drip water from Brown's Folly Mine, Wiltshire, England. *J. Caves Karst Stud.* 63 (3): 83-90.
- BARALDI, P., BONAZZI, A., GIORDANI, N., PACCAGNELLA, F., ZANNINI, P.  
2006 Analytical characterization of roman plasters of the "Domus Farini" in Modena. *Archaeometry* 48 (3): 481-491.
- BIESTER, A., HERMANN, Y. M., MARTINEZ CORTIZAS, D.  
2012 The influence of organic matter decay on the distribution of major and trace elements in ombrotrophic mires – a case study of the Harz Mountains. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 84: 126-136.
- BORSATO, A., FRISIA, S., FAIRCHILD, I. J., SOMOGYI, A., SUSINI, J.  
2007 Trace element distribution in annual stalagmite laminae mapped by micrometer-resolution X-ray fluorescence :Implications for incorporation of environmentally significant species. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71:1494-1512.
- CASTRO, J.  
2007 La cueva de Praileaitz I. La historia de como se descubre el importante yacimiento. *Udaberria*: 12-26.
- CORNILLON, P. A., GUYADER, A., HUSSON, F., JÉGOU, N., JOSSE, J., KLOAREG, M., MATZNER-LØBER, E., ROUVIÈRE, L.  
2008 *Pratique de la statistique. Statistiques avec R*. Presses Universitaires de Rennes editions.
- DREYBRODT, W., EISENLOHR, L., MADRY, B., RINGER, S.  
1997 Precipitation kinetics of calcite in the system CaCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>: the conversion to CO<sub>2</sub> by the slow process H<sup>+</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O as a rate limiting step. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 3897-3904.
- FAIRCHILD, I. J., TREBLE, P. C.  
2009 Trace elements in speleothems as recorders of environmental change. *Quaternary Science Reviews* 28: 449-468.
- FAIRCHILD, I. J., BAKER, A.  
2012 *Speleothems Science: from process to past environments*. Wiley – Blackwell Quaternary Geosciences Series.
- FLISCH, A., BECKER, A.  
2003 Industrial X-ray computed tomography studies of lake sediment drill cores. In: *Application of X-rays Computed Tomography in the Geosciences*. Geological Society, London, Special Publications 215. Mess F., Swennen R., Van Geet M. & Jacobs P. (Ed): 1-6. The Geological Society of London.
- FORD, D., WILLIAM, P.  
2007 *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley & Sons, Ltd.

FRISIA, S., BORSATO, A., FAIRCHILD, I. J., MCDERMOTT, F.

2000 Calcite fabrics, growth mechanisms and environments of formation in speleothems from the Italian Alps and southwestern Ireland. *Journal of Sedimentary Research* 70 (5): 1183-1196.

FRISIA, S.

2003 Le tessiture degli speleotemi. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.* 80: 85-94.

FRISIA, S., BORSATO, A.

2010 Karst. In: *Developments in Sedimentology* 61 Elsevier B.V. (Ed.): 269-313.

GAMS, I.

1981 Contributions to morphometric of stalagmites. *Proc. Int. Cong. Speleol.* 8: 276-278.

HU, C., HUANG, J., FANG, N., XIE, S., HENDERSON, G. M., CAI, Y.

2005 Adsorbed silica in stalagmite carbonate and its relationship to past rainfall. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69: 2285-2292.

HYUN-CHUL, K., DAIJIN, K., SUNG-YANG, B.

2003 An efficient model order selection for PCA mixture model. *Pattern Recognition Letters* 24: 1385-1393.

IDA, H., SEGAWA, T., TOHYAMA, S., KAWAI, J.

2005 Analysis of painted steel by Hand-held X-ray Fluorescence Spectrometer. Kyoto University, Skyo-ku: 606-8501. Japan.

IRIARTE, E., SANCHEZ, M.A., FOYO, A., TOMILLO, C.

2010 Geological risk assessment for cultural heritage conservation in karstic caves. *Journal of Cultural Heritage* 11: 250-258.

MESS, F., SWENNEN, R., VAN GEET, M., JACOBS, P.

2003 Application of X-rays Computed Tomography in the Geosciences. In: *Application of X-rays Computed Tomography in the Geosciences*. Geological Society, London, Special Publications 215. Mess F., Swennen R., Van Geet M. & Jacobs P. (Ed): 1-6. The Geological Society of London.

MICKLER, P. J., KETCHAM, R. A., COLBERT, M. W., BANNER, J. L.

2004 Application of high-resolution X-ray computed tomography in determining the suitability of speleothems for use in paleoclimatic, paleohydrologic reconstructions. *Journal of Cave and Karst Studies* 66: 4-8.

MIORANDI, R., BORSATO, A., FRISIA, S., FAIRCHILD, I. J., RICHTER, D. K.

2010 Epikarst hydrology and implications for stalagmite capture of climate changes at Grotta di Ernesto (NE Italy): results from long-term monitoring. *Hydrological processes* 24: 3101-3114.

MUÑOZ-GARCÍA, M. B., LÓPEZ-ARCE, P., FERNÁNDEZ-VALLE, M. E., MARTÍN-CHIVELET, J., FORT, R.

2012 Porosity and hydric behaviour of typical calcite microfabrics in stalagmites. *Sedimentary Geology* 265-266: 72-86.

PEÑALVER, W., SAN JOSE, S.

2007 Praileiatz I. Congreso de Aranzadi Zientzia Elkartea.

RAILSBACK, L. B., LIANG, F., VIDAL ROMANÍ, J. R., GRANDAL-D'ANGLADE, A., VAQUEIRO RODRÍGUEZ, M., SANTOS FIDALGO, L., FERNÁNDEZ MOSQUERA, D., CHENG, H., LAWRENCE EDWARDS, R.

2011 Petrographic and isotopic evidence for Holocene long-term climate change and shorter-term environmental shifts from a stalagmite from the Serra do Courel of northwestern Spain, and implications for climatic history across Europe and the Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 305: 172-184.

SAEY TUAN, H., HUTMACHER, D. W.

2005 Application of micro CT and computation modeling in bone tissue engineering. *Computer-Aided Design* 37: 1151-1161.

SUNAGAWA, I.

1987 Morphology of minerals. In *Morphology of Crystals*. Tokyo, Terra Scientific Publishing Company (Ed.): 509-587.

TANG, J., DIETZEL, M., BÖHM, F.

2008  $Sr^{2+}/Ca^{2+}$  and  $^{44}Ca/^{40}Ca$  fractionation during inorganic calcite formation: II. Ca isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 3733-3745.

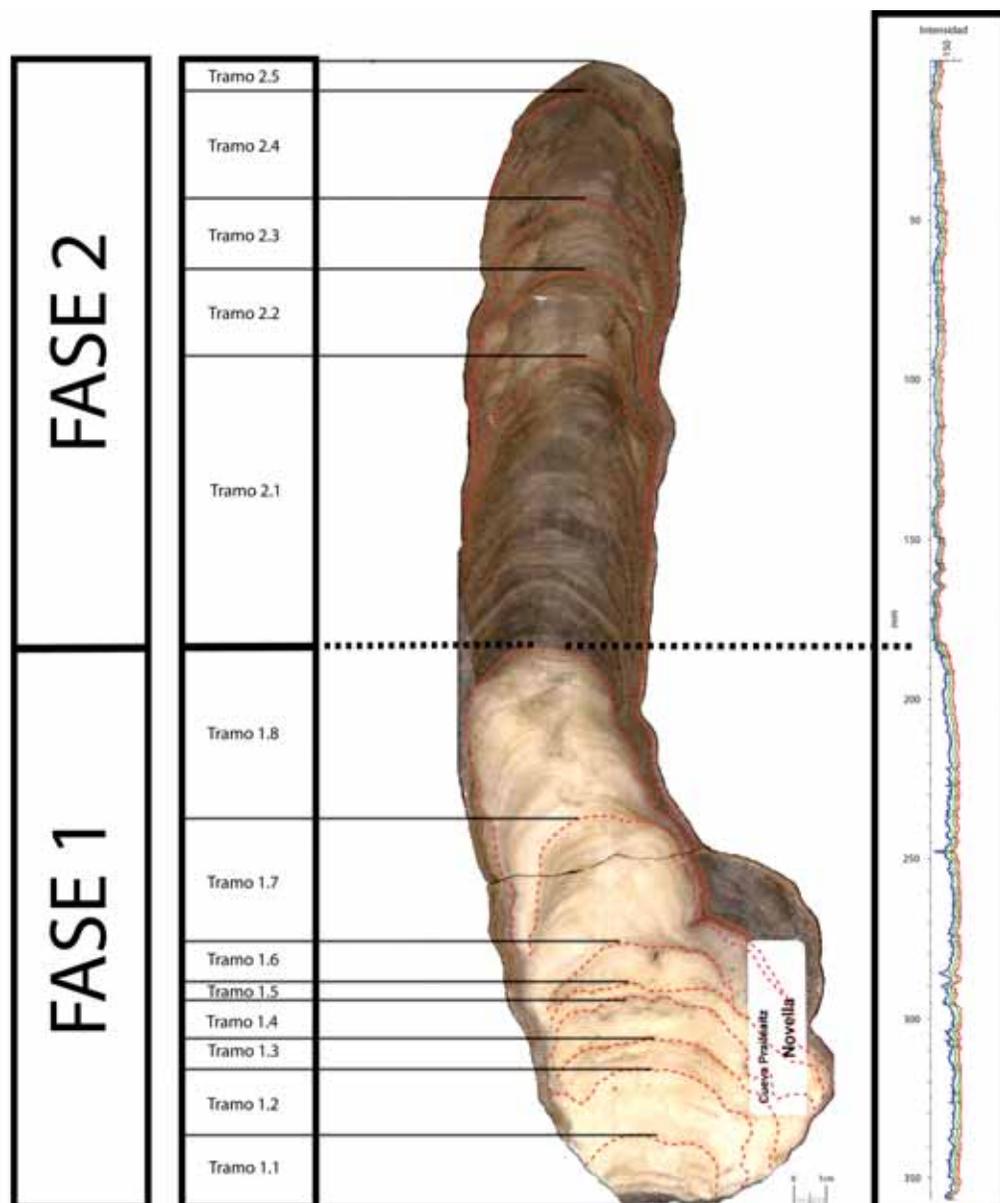
VADILLO, I., ARANBURU, A., URRESTI, B., IRIARTE, E., OLATXEA, C., IRIDOY, P., ARRIOLABENGOA, M., MERCHÁN, D.

In press Ensayo de trazador en la zona no saturada de la Cueva de Praileaitz (Deba, Guipuzcoa). Aplicación a protección de cavidades kársticas. Tracer test in the vadose zone of Praileaitz Cave (Deba, Guipuzcoa). Application for protection of karstic cavities. *Geoceta* 52.

WELTJE, G. J., TJALLINGII, R.

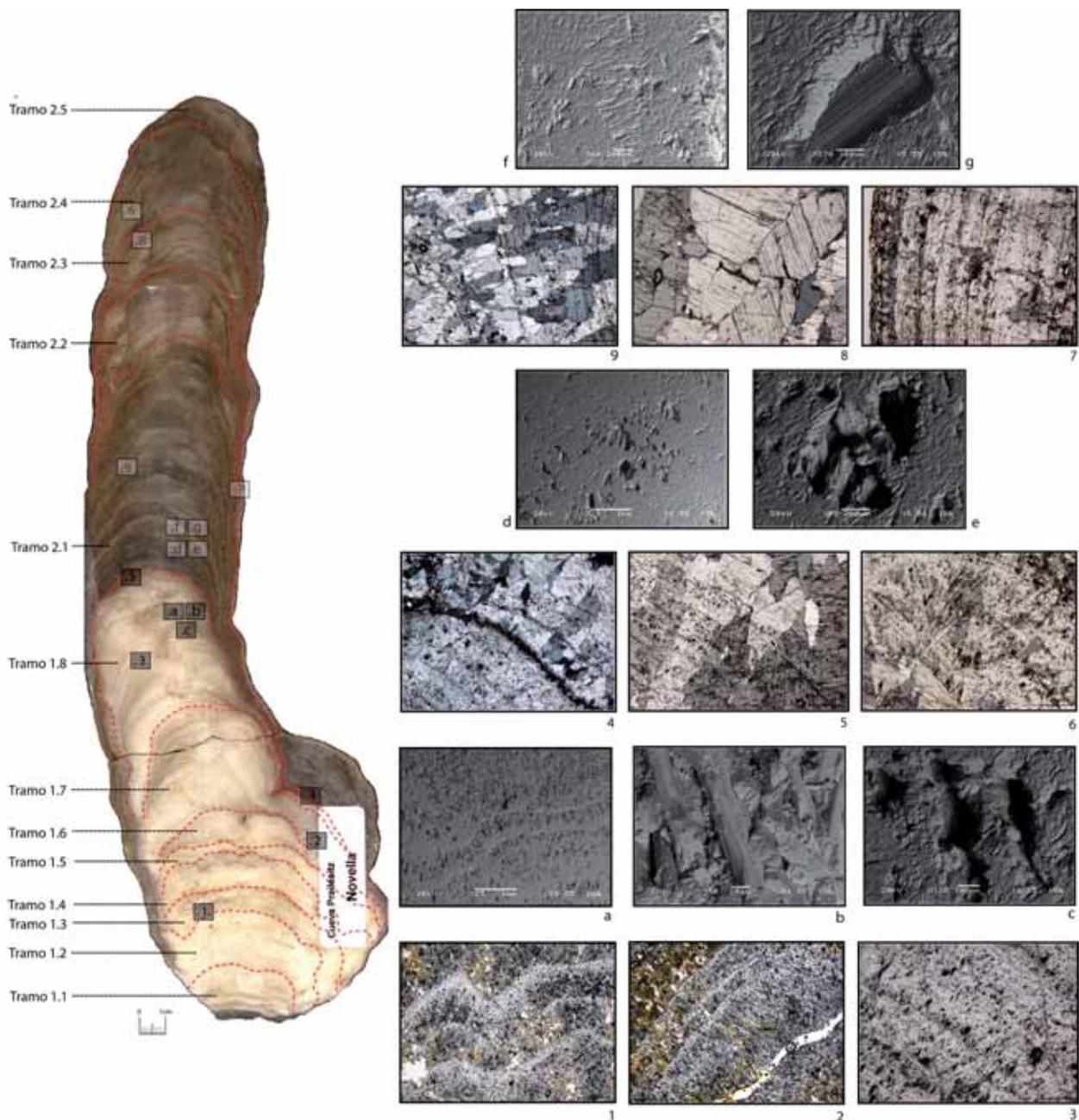
2008 Calibration of XRF core scanners for quantitative geochemical logging of sediment cores: Theory and application. *Earth and Planetary Science Letters* 274: 423-438.

## 8.- ANEXOS



Anexo A: Fotografía de la estalagmita Novella con las distintas fases y los distintos tramos estratigráficos definidos en el presente trabajo. El gráfico de derecha representa la intensidad del color de la imagen en alta resolución de la estalagmita obtenida mediante el software NIS-Elements 3.2.

Appendix A: Photo of the stalagmite Novella with the various stratigraphic phases and sections identified in the present work. The graph on the right shows the intensity of the colours of the high resolution picture of the stalagmite obtained by using the NIS-Elements 3.2 software.

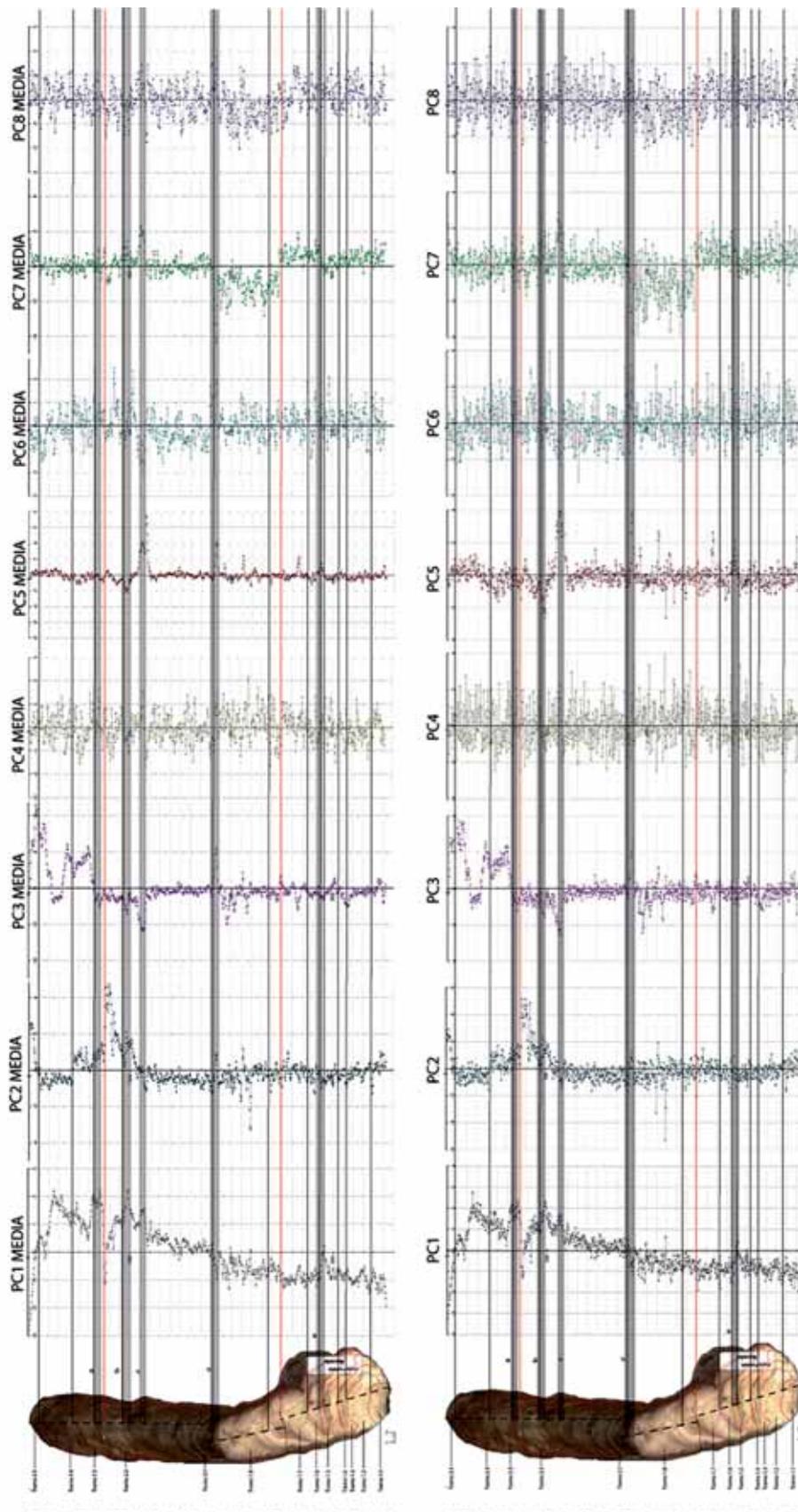


Anexo B: Fotografía de la estalagmita Novella y de las texturas cristalinas diferenciadas al microscopio óptico (1-9) y al SEM (a-g). 1. y 2. Alternancia entre láminas dendríticas y láminas dendríticas engrosadas; 3. Textura dendrítica engrosada; 4. Lámina micrítica que separa la textura dendrítica engrosada de la textura columnar; 5. Transición entre la Fase 1 y la Fase 2 donde se observa mayor porosidad; 6. 'Fantasmas' de cristales dendríticos; 7. Láminas micríticas del flanco de la estalagmita; 8. Textura columnar; 9. Textura columnar de tamaño menor; a. Alternancia entre láminas dendríticas y dendríticas engrosadas; b. Detalle de la textura dendrítica; c. Detalle de la textura dendrítica engrosada; d. Zona de cristales columnar con fantasmas de cristales dendríticos; e. Detalle de fantasmas de cristales dendríticos en textura columnar; f. Textura columnar; g. Detalle textura columnar.

Las líneas negras de escala para las fotos de 1 a 7 corresponden a 1 mm.

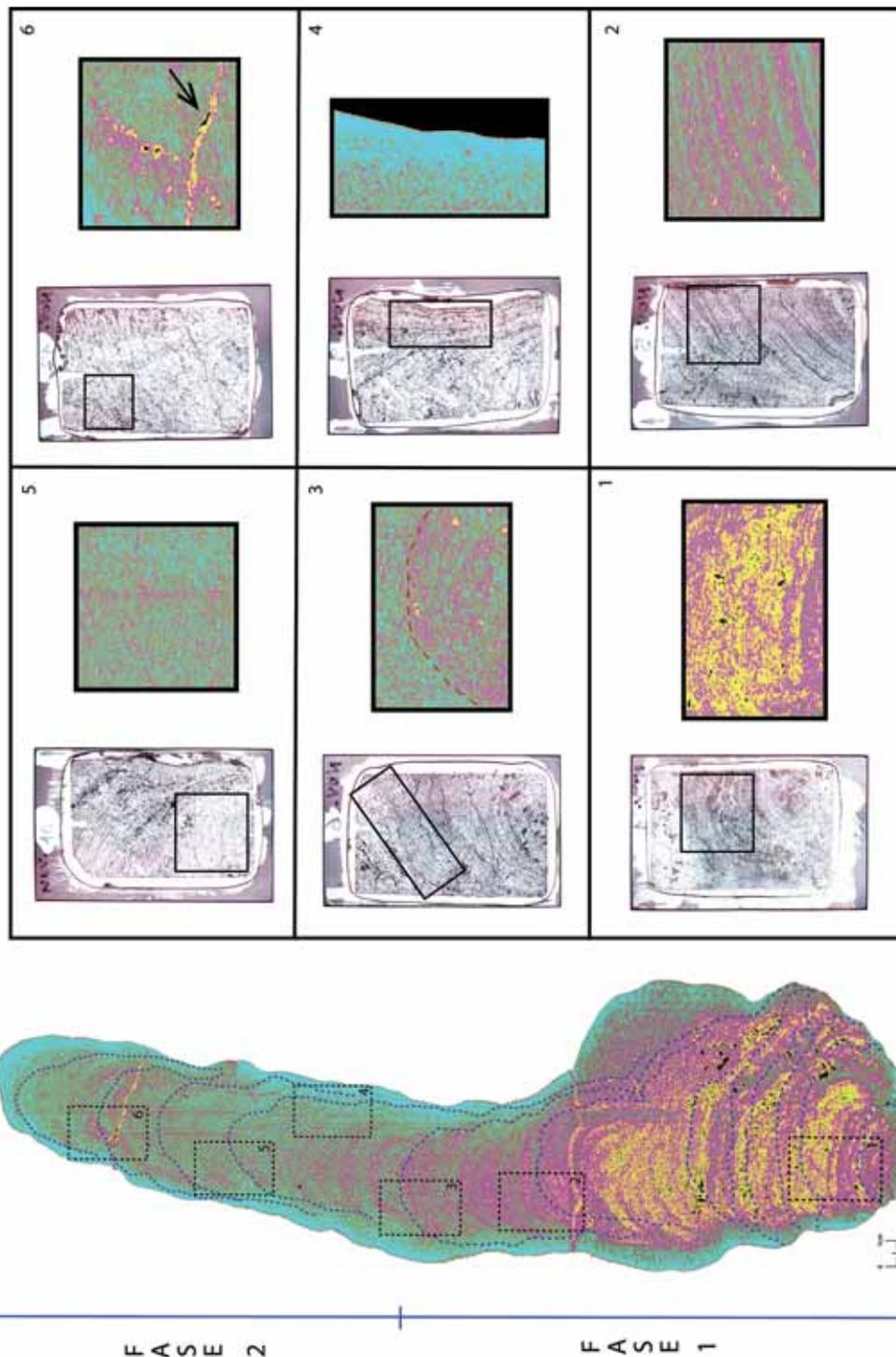
Appendix B: Pictures of the stalagmite Novella and of the various crystalline fabrics identified with the optical microscope (1-9) and the SEM (a-g). 1. and 2. Dendritic laminae alternating with enlarged dendritic laminae; 3. Enlarged dendritic fabric; 4. Micritic lamina that separates the enlarged dendritic fabric from the columnar fabric; 5. Transition from Phase 1 to Phase 2 in where a greater porosity is observed; 6. Dendritic crystals "ghosts"; 7. Micritic lamina on the flank of the stalagmite; 8. Columnar fabric; 9. Columnar fabric of mayor size; a. Dendritic laminae alternating with enlarged dendritic laminae; b. Detail of the dendritic fabric; c. (SEM). Detail of the enlarged dendritic fabric; d. Columnar fabric area with dendritic crystal ghosts; e. Detail on the columnar fabric with dendritic crystals ghosts; f. Columnar fabric; g. Columnar fabric detail.

The thin black lines correspond to 1 mm for pictures 1 to 7.



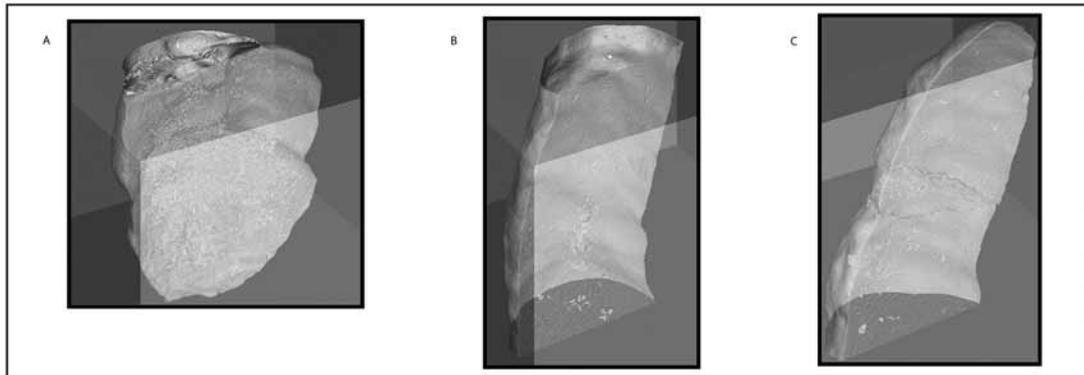
Anexo C: Gráficos de los componentes principales (PC) de los datos geoquímicos obtenidos mediante fluorescencia de rayos X. Los gráficos superiores representan la media móvil de los valores de cada PC y permiten una mejor visualización de la tendencia. El intervalo "a" indica la correspondencia entre el límite superior del Tramo 2.2 con un grupo de picos positivos del PC1. El intervalo "b" resalta la correspondencia entre el límite superior del Tramo 2.1 y picos de los PC2, 3, 5, 6, 7 y 8. El intervalo "c" resalta la correlación existente entre los PC1, 2, 3, 5, 6 y 7 en el cm 24 en presentando máximos y/o cambios de tendencia. El intervalo "d" (cm 17) coincide con el cambio de fase y los picos de los PC1, 2, 3, 5, 6, 7 y 8 y el cambio de valores negativos a positivos para el PC1. El intervalo "e" indica la correspondencia entre el límite superior del Tramo 1.5 con los picos de los PC1, 5, 7 y 8. Las líneas finas rojas marcan las roturas de la estalagmita mientras que las líneas finas negras corresponden a los límites superiores de los tramos.

Appendix C: Principal components (PC) derived from geochemical data obtained by XRF analyses. On the top, the graphic shows the moving average for the values of each PC, making the identification of the trends easier. The "a" interval shows the relation between the upper limit of the 2.2 Section with the positives peaks group of PC1. The "b" interval shows the correlation between the upper limit of the 2.1 Section and the peaks from PC2, 3, 5, 6, 7 and 8. The "c" interval highlight the presence of large peaks or trend changes at the cm 24 for the PC1, 2, 3, 5, 6 and 7. The "d" interval (cm 17) is the phase transition (Phase 1/Phase 2), with peaks associated to PC2, 3, 5, 6, 7 and 8 and the shift from negative values to positive values for the PC1. The "e" interval shows the relation between the upper limit of 1.5 Section and the peaks from PC1, 5, 7 and 8. The red lines indicate the breaks in the stalagmite and the black lines are the upper limits of each section.



Anexo D: Imagen obtenida por tomografía axial computerizada (TAC) del espeleotema reconstruida mediante Materialise's Interactive Medical Image Control System software (MIMICS). En los cuadros, se muestran unas fotos de las láminas delgadas con algunos detalles significativos de la imagen TAC de la estalagmita. 1) Laminaciones irregulares de la Fase 1, posiblemente de "tipo E", entre las láminas de color amarillo (textura dendrítica) y fucsia (dendrítica engrosada). 2) Láminaciones debidas a la alternancia entre la textura dendrítica engrosada y la dendrítica engrosada muy modificada/columnar. 3) Limite entre Fase 1 y Fase 2 dibujado con una línea discontinua roja. 4) Flanco de la estalagmita donde resalta la presencia de láminas micríticas. 5) Textura columnar de la Fase 2. 6) "Fantasmas" de cristales dendríticos y porosidad asociada dentro de la textura columnar de la Fase 2. La flecha indica la línea de rotura del espeleotema.

Appendix D: Reconstruction of the speleothem TAC image by MIMICS. In the box, photos of the thin sections with further details of the TAC images. 1) Probable "Type E" irregular laminations within the Phase 1, between yellow laminae (dendritic fabric) and fuchsia laminae (enlarged dendritic fabric). 2) Laminations due to the alternation between enlarged dendritic fabric and enlarged dendritic fabric with a higher degree of modification/ columnar fabric. 3) The dash red line indicates the transition between Phase 1 and Phase 2. 4) Stalagmite flank showing micritic laminae. 5) Columnar fabric in the Phase 2. 6) Dendritic crystal "ghost" and associated porosity along the columnar fabric of the Phase 2. The arrow shows the break in the stalagmite.



Anexo E: Imagen 3D del TAC de la estalagmita Novella. Las áreas de color más blanco representan la porosidad. A) Fragmento basal del espeleotema correspondiente a la Fase 1, en el cual se observa un grado de porosidad muy alto. B) Fragmento medio incluyendo Fase 1 y Fase 2 del espeleotema. La porosidad está concentrada principalmente en los puntos de goteo de la Fase 1. C) Fragmento superior correspondiente a la Fase 2 de la estalagmita. Se observa la baja presencia de porosidad.

Appendix E: 3D TAC image of Novella stalagmite. The porosity areas are represented by white colour. A) Basal fragment of the speleothem sampled in Phase 1 showing a high level of porosity. B) Fragment from the middle part of the speleothem, including part of the Phases 1 and 2. The porosity is basically higher in the areas corresponding to the drip impact points of the Phase 1. C) Upper fragment corresponding to the Phase 2 of the stalagmite with a low degree of porosity.

Fase	Fase 1	Fase 2
Morfología	<p>Conical-shape</p>	<p>Candle-shape</p>
Tasa de goteo	Variable (o alta según Miorandi et al. 2010)	Constante (o baja según Miorandi et al. 2010)
Saturación en CaCO <sub>3</sub>	Variable	Baja
Diferencia de pCO <sub>2</sub> entre interior y exterior de la cueva	Baja	Alta
Tiempo de desgasificación	Corto	Largo
Precipitación de CaCO <sub>3</sub>	Menor	Mayor
Velocidad de crecimiento de los cristales	Rápida	Lenta
Textura	Dendrítica	Columnar
Densidad	Baja	Alta
Condiciones ambientales		

Anexo F: Recopilación de los controles y condiciones ambientales inferidas en la formación de Novella. La Fase 1 se formó bajo condiciones ambientales húmedas y con una estacionalidad pluviométrica, marcada, mientras que la Fase 2 se formó en condiciones ambientales típicas de un clima húmedo y sin fuertes contrastes estacionales.

Appendix F: Synthesis of the factors and environmental conditions controlling the formation of Novella. Basically, the Phase 1 was formed under humid conditions with strong seasonality, whereas the Phase 2 was formed under humid conditions without strong seasonal contrasts.





**Geo-Q** zentroa Aranzadi Zientzia Elkarteak eta UPV/EHUK bultzatutako ikerketa-unitatea da. Ingurumen-aldaketa eta giza inpaktuaren ikerketara zuzendua da, ingurugiro naturalaren eboluzioa eta giza arrastoa Kuaternario garaian. Leioako Udalak azpiegitura zientifikoa daukan **Kortesenabbarri** baserriaren erabilera laga digu eta honekin batera kultura zientifikoa gizarteratu nahi da.

El centro **Geo-Q** de Leioa está destinado a una unidad de investigación impulsada por la Sociedad de Ciencias Aranzadi y la UPV/EHU para el estudio de los cambios medioambientales, la evolución del medio natural y el impacto humano durante el Cuaternario. Todo ello en colaboración con el Ayuntamiento de Leioa que ha cedido para dichos fines el caserío **Kortesenabbarri**. A través del mismo también se quiere socializar la cultura científica.



Estudios de Cuaternario  
Kuaternario Ikasketak  
Quaternary Studies  
**N.º 03 - 2013**

---

ISSN: 2340-745X  
D.L./L.G.: S.S. 1297-2013

**PEDRO BESNÉ TORRE**

Aplicación de técnicas LiDAR para localización de áreas propicias para asentamientos humanos ancestrales en rasas mareales emergidas de la costa occidental de Gipuzkoa

**MIREN DEL VAL BLANCO**

Utilización de los Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LiDAR como instrumento de análisis geomorfológico en el valle del río Oiartzun (Gipuzkoa)

**CRISTINA FRAILE MÁRQUEZ**

Análisis de la asociación microespacial del agregado lítico del nivel IV de BK (Garganta de Olduvai, Tanzania)

**SERGIO HERNÁNDEZ MARTÍN**

Evolución ambiental de los estuarios vascos (Urdaibai y Deba) durante el Holoceno como consecuencia del ascenso en el nivel marino

**ELISA JIMÉNEZ GÓMEZ**

La transición del Paleolítico Medio al Superior desde una perspectiva tecnológica: la serie lítica del nivel IV de Lezetxiki (Arrasate, Gipuzkoa)

**IÑIGO ORÚE BELTRÁN DE HEREDIA**

Fotointerpretación y teledetección como herramienta para la localización de estructuras mineras prehistóricas en la Sierra de Araico (Burgos-Araba)

**JOSEFA ROSTRO CARMONA**

Estudio comparado de las piezas dentales de *Homo neanderthalensis* del yacimiento Musteriense de Axlor (Dima, Vizcaya)

**PALOMA SUÁREZ FERRUELO**

Definición tecno-tipológica y funcional de las laminillas Dufour: el caso de los niveles IX y VIII del Sector Central del Abrigo de La Viña (La Manzaneda, Oviedo, Asturias)

**NAIARA URIA BLANCO**

Registros sedimentarios como indicadores paleoambientales y de la actividad antrópica durante la Neolitización: La Cueva de Els Trocs y su entorno (Abella, Huesca)

**VALENTINA VANGHI**

Estudio multianalítico de una estalagmita, *Novella* (Cueva de Praileaitz, Gipuzkoa): detección y caracterización de indicadores de cambios ambientales



**ARANZADI**

zientzia elkartea . society of sciences  
sociedad de ciencias . société de sciences