Las Médulas y su red hidráulica

F. Javier Sánchez-Palencia
Almudena Orejas
(eds.)



anejos de AEspA

Las Médulas
y su red hidráulica

CII

2026

anejos de AEspA

Dirección

José Miguel Noguera Celdrán, Universidad de Murcia

Secretaría

Inés Sastre Prats, Instituto de Historia (IH), CSIC

Comité Editorial

Alicia Arévalo González, Universidad de Cádiz

Xosé Lois Armada Pita, Instituto de Ciencias del Patrimonio (INCIPIT), CSIC

Pedro Jorge Cardoso de Carvalho, Universidade de Coimbra

Rosario Cebrián Fernández, Universidad Complutense de Madrid

Brais Xosé Currás Refojos, Instituto de Historia (IH), CSIC

Enrique García Vargas, Universidad de Sevilla

Susana González Reyero, Instituto de Historia (IH), CSIC

María Cruz González Rodríguez, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibersitatea

Oriol Olesti i Villa, Universitat Autònoma de Barcelona

Lourdes Prados Torreira, Universidad Autónoma de Madrid

Julia Sarabia Bautista, Universidad de Alicante

Elisa de Sousa Muccioli, Universidade de Lisboa

Mar Zarzalejos Prieto, Universidad Nacional de Educación a Distancia

Las Médulas y su red hidráulica

F. Javier Sánchez-Palencia
Almudena Orejas
(eds.)

CSIC

anejos de AEspA

La versión electrónica de este libro está disponible en acceso abierto en editorial.csic.es y se distribuye bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-Non Comercial-No Derivadas 4.0. La información completa sobre dicha licencia puede ser consultada en https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/. Esta licencia afecta solo al material original del libro. El uso del material proveniente de otras fuentes (indicadas en las referencias), como diagramas, ilustraciones, fotografías o fragmentos de textos, requerirá permiso de los titulares del *copyright*.

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Cómo citar: Sánchez-Palencia, F. Javier y Almudena Orejas (eds.). 2026. *Las Médulas y su red hidráulica*. Madrid: CSIC.

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado: https://cpage.mpr.gob.es

Editorial CSIC: *http://editorial.csic.es* (correo: *editorialcsic@csic.es*)



© CSIC, 2026
© F. Javier Sánchez-Palencia y Almudena Orejas (eds.), y de cada texto, sus autores
© De las ilustraciones, las fuentes mencionadas a pie de figura
© Imagen de cubierta: fotografía aérea oblicua con dron, 2023.06.26. Proyecto ZAMRedH, GI Estructura Social y Territorio, IH del CSIC
© Imagen de contracubierta: fotografía del canal C18 de Las Médulas, Llamas de Cabrera, 2002.08.29. Proyecto ZAMRedH, GI Estructura Social y Territorio, IH del CSIC

ISBN: 978-84-00-11606-4
e-ISBN: 978-84-00-11607-1
NIPO: 155-26-087-7
e-NIPO: 155-26-088-2
Depósito legal: M-14121-2026

Corrección: Pedro Antonio Ortiz Moreno (Editorial CSIC)
Maquetación: Roberto Tomé (Editorial CSIC)
Impresión y encuadernación: Imprenta Taravilla, S.L.
Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.

ÍNDICE

PERFILES ACADÉMICOS ---------- 11

EQUIPO DE TRABAJO ---------- 13

CONTRIBUCIÓN A LA AUTORÍA ---------- 15

1. INTRODUCCIÓN: LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE LAS MÉDULAS Y SU RED HIDRÁULICA COMO BIEN DE INTERÉS CULTURAL Y PATRIMONIO MUNDIAL ---------- 17

   1.1. Antecedentes ---------- 17
   1.2. Bases del estudio y metodología ---------- 19
   1.3. La geología del yacimiento aurífero de Las Médulas ---------- 22
   1.4. El valor universal excepcional de Las Médulas ---------- 29

2. LA MINERÍA ROMANA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SIL Y LAS LABORES DE PROSPECCIÓN EN LAS MÉDULAS ---------- 31

   2.1. El desarrollo de la minería en el río Sil: la explotación del *aurum fluminum* y la obtención del *segullum* o *segutilum* ---------- 31
   2.2. La prospección en Las Médulas: el *aurum talutium* o *talutatium* ----- 33

3. EL DESARROLLO DE LA MINERÍA EN LAS MÉDULAS: LOS SECTORES DE EXPLOTACIÓN ---------- 41

   3.1. Las primeras labores: los sectores 1 y 2 ---------- 43
   3.2. La zona principal de la mina: el sector 3 ---------- 52

4. LOS CANALES DE LA RED HIDRÁULICA DE LAS MÉDULAS --------- 77

   4.1. La red hidráulica meridional ---------- 86
   4.2. La red hidráulica septentrional ---------- 93
   4.3. Los valgones ---------- 97
   4.4. Los canales de explotación ---------- 99

5. LOS DEPÓSITOS DE LA RED HIDRÁULICA DE LAS MÉDULAS ------ 101

   5.1. Los depósitos y los sectores de explotación ---------- 101
   5.2. Prospecciones geofísicas en los depósitos de Las Médulas ---------- 106
   5.3. Capacidad de embalse y tiempo de llenado de los depósitos ---------- 119

6. SONDEOS EN LA RED HIDRÁULICA DE LAS MÉDULAS ---------- 123

   6.1. Objetivos específicos y metodología ---------- 124
   6.2. Intervenciones en canales ---------- 126
   6.3. Intervenciones en depósitos ---------- 152
   6.4. Canales y depósitos: aspectos estratigráficos, funcionales y cronológicos ---------- 171

7. ANÁLISIS MICROESTRATIGRÁFICO DE DEPÓSITOS DE LA RED HIDRÁULICA DE LAS MÉDULAS ---------- 185

   7.1. Microestratigrafía en los depósitos de la ZAM: del paisaje al microscopio ---------- 185
   7.2. Muestreo y estrategia analítica ---------- 186
   7.3. El depósito de Chaos da Cruz (D19) ---------- 188
   7.4. El depósito de La Horta (D39) ---------- 194
   7.5. Los depósitos de agua y el uso diferencial de la fuerza hidráulica ----- 197

8. LA EVACUACIÓN Y ACUMULACIÓN DE LOS ESTÉRILES ---------- 201

8.1. Los canales de evacuación de estériles ---------- 201
8.2. Las murias o acumulaciones de estériles gruesos ---------- 208
8.3. Las colas de lavado o acumulaciones de estériles finos ---------- 211
8.4. Secuencia relativa y evaluación del volumen de estériles ---------- 214

9. LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS MÉDULAS ----- 217

9.1. Antecedentes ---------- 217
9.2. Técnicas de explotación selectivas y extensivas ---------- 219
9.3. Propuesta para interpretar la *ruina montium* desde la perspectiva de la mecánica de fluidos y de la mecánica de rocas ---------- 223

10. TRANSFORMACIONES DEL TERRITORIO Y EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA ZAM ---------- 265

10.1. El lago de Carucedo y los depósitos de material post-romanos -------- 265
10.2. Estudio arqueobotánico de la red hidraúlica de Las Médulas: un ejemplo de paisaje gestionado ---------- 268

11. EL PAISAJE CULTURAL DE LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE LAS MÉDULAS COMO PROCESO HISTÓRICO ---------- 293

11.1. Un paisaje cambiante: el desarrollo de las labores mineras en Las Médulas ---------- 294
11.2. El poblamiento antiguo en Las Médulas (siglos III a. C. - II d. C.) ------ 305
11.3. Las Médulas y la minería del oro: la construcción de un paisaje provincial ---------- 328
11.4. Las Médulas y su red hidráulica, un paisaje gestionado, explotado y poblado ---------- 346

BIBLIOGRAFÍA ---------- 353

ANEXO I. PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE LAS MÉDULAS COMO BIC. CRITERIOS, DELIMITACIÓN Y RECOMENDACIONES ---------- 379

ANEXO II. CARTOGRAFÍA DE LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE LAS MÉDULAS Y SU RED HIDRÁULICA ---------- 387

ANEXO III. EPIGRAFÍA DE LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE LAS MÉDULAS ---------- 413

A nuestros añorados María Dolores Fernández-Posse,
Luis Carlos Pérez y Julio Fernández Manzano,
sin cuya dedicación a Las Médulas
este trabajo no habría sido posible.

A las gentes de Las Médulas y su entorno,
que nos han acompañado durante cuatro décadas
en nuestras investigaciones,
que generosamente comparten con nosotros
su conocimiento del territorio y que cuidan,
día a día, de este patrimonio de valor universal.

F. Javier Sánchez-Palencia Ramos (Toledo, 1953. PhD UCM 1983) es profesor vinculado *ad honorem* en el Instituto de Historia del CSIC en Madrid. Se formó en temas sobre los Paisajes Culturales y la Minería Antigua (Proyecto Arqueometalúrgico de Huelva, Rio Tinto, Proyecto Wadi Arabah, Valle de Timna, Israel). Ha centrado sus estudios en la minería antigua del oro tanto del noroeste peninsular (Las Cavenes, Salamanca, Pino del Oro, Zamora, proyecto IVGA, Asturias, León y Galicia o Tresminas y Foz-Túa, norte de Portugal), como de otras zonas del imperio Romano (La Bessa, Biella, Italia) y, en especial, los de la zona arqueológica de Las Médulas (1988-1996), donde han estudiado el impacto de dicha minería en la transformación de la ocupación y explotación del territorio de época prerromana a romana, realizando a la par diversas actuaciones de carácter patrimonial que condujeron a su inclusión en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO (1997).

Es miembro del grupo de investigación Estructura Social y Territorio – Arqueología del Paisaje del que fue responsable (2006-2014). Desde 2013 participa activamente en otra línea de investigación del Instituto de Historia del CSIC en la cuenta alta del río Segura, que investiga la organización del territorio, el poblamiento y los espacios agrarios del mundo ibérico en zonas de montaña.

Ha dirigido, codirigido o participado en varios proyectos competitivos, convenios o contratos de I+D a escala regional, nacional y europea, ha dirigido seis tesis doctorales y ha publicado más de dos centenares de estudios en editoriales y revistas nacionales e internacionales. Ha sido miembro del comité español de la Tabula Imperii Romani (1986-2001) y del Council of Scientists de INTAS (Comisión Europea, 2000-2003). En 2018 recibió el European Archaeological Heritage Prize 2018, concedido por la European Association of Archaeologists.

https://orcid.org/0000-0001-5105-7427

Almudena Orejas Saco del Valle (Madrid, 1965) es profesora de Investigación del CSIC, en el Departamento de Arqueología y Procesos Sociales del Instituto de Historia. Es doctora en Historia Antigua (UCM) y DEA en Méthodologies et techniques nouvelles en Sciences de l'Homme en la Université de Franche-Comté. Especializada en Arqueología de los paisajes rurales y mineros antiguos. Su investigación se centra en los procesos de integración de territorios y comunidades en el dominio romano: funcionamiento del suelo provincial como base de la explotación del Imperio y de instrumentos de control como la agrimensura o la fiscalidad. Ha sido IP de proyectos europeos y nacionales y forma parte del equipo de investigación de Las Médulas (León) y de otras zonas mineras hispanas. Participa en proyectos arqueológicos en otras zonas del noroeste peninsular con intensa actividad minera antigua, entre ellos en la cuenca noroccidental del Duero, El Bierzo, Ancares o el Alto Navia, así como en la zona de Cartagena. Codirige igualmente proyectos en el concejo de Gijón, centrados en la estructuración territorial de la *civitas* y su poblamiento.

Ha sido IP de varios proyectos de investigación autonómicos, nacionales y europeos, es autora de una larga serie de publicaciones y presentaciones en congresos y ha formado parte de comités organizadores de congresos internacionales. Ha desarrollado actividad docente, comisariado varias exposiciones y participado en programas de difusión científica y transferencia del conocimiento.

https://digital.csic.es/cris/rp/rp11343
https://orcid.org/0000-0003-4675-2489

Este estudio ha sido elaborado en su última fase por el grupo de investigación Estructura Social y Territorio (GI EST-AP) del Instituto de Historia (IH) del CSIC bajo la dirección de F. Javier Sánchez-Palencia y Almudena Orejas, como investigadores principales del proyecto «para la realización de una investigación en la Zona Arqueológica de Las Médulas y su red hidráulica», según las condiciones establecidas en el Acuerdo de la Junta de Castilla y León de 23 de diciembre de 2021, aceptado por la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas con fecha 29 de diciembre de 2021 y prorrogado en su fecha de ejecución hasta el 30 de junio de 2023 por acuerdo de ambas partes el 22 de noviembre de 2022. Pero su contenido es fruto de más de cuatro décadas de investigación por parte de los autores, gracias a varios proyectos financiados por organismos nacionales e internacionales, sobre todo, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, además del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, la Junta de Castilla y León, el Ministerio de Cultura y la Comisión Europea.

DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN:

F. Javier Sánchez-Palencia Ramos, profesor de investigación, IH del CSIC.

Almudena Orejas Saco del Valle, profesora de investigación, IH del CSIC.

Investigadores del GI EST-AP, IH del CSIC:

Inés Sastre Prats, investigadora científica.

Brais X. Currás Refojos, científico titular.

Nekbet Corpas Cívico, técnica superior especializada de OPIS.

Alicia Hernández Tórtoles, investigadora contratada predoctoral.

Santiago Tuñas Corzón, investigador contratado predoctoral.

Técnicos de los laboratorios de I+D de Arqueología y grupos de investigación del IH del CSIC:

Juan Luis Pecharromán Fuente, técnico superior especializado de OPIS, Laboratorio arqueología del paisaje y teledetección.

Damián Romero Perona, escala de tecnólogos, Laboratorios de I+D de Arqueología.

Mónica Ruiz Alonso, personal técnico de apoyo, GI Paleoeconomía y Subsistencia de las Sociedades Preindustriales.

Empresas y organismos colaboradores del proyecto ZAMRedH:

BETA Analytic Inc. Testing Laboratory: Dataciones 14C mediante AMS.

Terra-Arqueos S.L., Yolanda Álvarez González y Luis F. López González: realización de sondeos y documentación de la red hidráulica de la zona arqueológica de Las Médulas (ZAM).

Universidad de Cantabria, Sebastián Pérez Díaz: análisis paleoambientales, palinología de la red hidráulica de la ZAM.

Universidad de Jaén, Instituto Universitario de Arqueología Ibérica, Mario Gutiérrez Rodríguez: micromorfología y análisis mineralógicos en depósitos de la red hidráulica de la ZAM.

Universidad Politécnica de Cartagena, Pedro Martínez Pagán y Marcos Antonio Martínez Segura: geofísica de la red hidráulica de la ZAM.

Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, Institut Català de Paleoecología Humana i Evolució Social (IPHES): tratamiento de extracción del residuo palinológico de muestras de la red hidráulica de la ZAM.

Universidad de Valencia, Yolanda Carrión Marco: análisis paleoambientales, antracología de la red hidráulica de la ZAM.

Universidad de Vigo, Escuela de Ingeniería de Minas y Energía, Leandro Alejano Monge, Elena Martín Ortega e Ignacio Pérez-Rey: mecánica de rocas y de fluidos aplicadas al estudio de los sistemas de explotación de Las Médulas.

Universidad de Vigo, Centro Universitario de la Defensa (CUD) en la Escuela Naval de Marín, Carlos Pérez Collazo: fotogrametría láser terrestre de la red hidráulica de la ZAM.

CONTRIBUCIÓN A LA AUTORÍA

Concepción:

F. Javier Sánchez-Palencia Ramos y Almudena Orejas Saco del Valle.

Diseño:

F. Javier Sánchez-Palencia Ramos y Brais X. Currás Refojos.

Recogida e interpretación de los datos:

Fotointerpretación y SIG de las estructuras mineras: F. Javier Sánchez-Palencia Ramos, Brais X. Currás Refojos y Juan Luis Pecharromán Fuente.

Sondeos arqueológicos en las estructuras mineras: F. Javier Sánchez-Palencia Ramos, Almudena Orejas Saco del Valle, Yolanda Álvarez González, Luis F. López González, Brais X. Currás Refojos, Juan Luis Pecharromán Fuente, Alicia Hernández Tórtoles y Santiago Tuñas Corzón.

Fotografía aérea con dron convencional y láser: Juan Luis Pecharromán Fuente, Brais X. Currás Refojos y Yolanda Álvarez González.

Selección, tramitación y tratamiento previo de las muestras: Almudena Orejas Saco del Valle, Damián Romero Perona, Yolanda Álvarez González, Luis F. López González, IPHES de la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona.

Análisis e interpretación de las muestras paleoambientales: Sebastián Pérez Díaz y Mónica Ruiz Alonso (palinología) y Yolanda Carrión Marco (antracología).

Sondeos geofísicos en las estructuras mineras: Pedro Martínez Pagán, Marcos Antonio Martínez Segura.

Análisis tecnológico de las estructuras mineras: Leandro Alejano Monge, Elena Martín Ortega, Ignacio Pérez-Rey y F. Javier Sánchez-Palencia Ramos.

Fotogrametría láser terrestre: Carlos Pérez Collazo, Iván Puente Luna y Brais X. Currás Refojos.

Análisis micromorfológicos y geoarqueológicos en depósitos de la red hidráulica: Mario Gutiérrez Rodríguez.

Aspectos patrimoniales: Almudena Orejas Saco del Valle, Nekbet Corpas Cívicos y F. Javier Sánchez-Palencia Ramos.

Redacción de los textos (según se indica en los correspondientes capítulos):

F. Javier Sánchez-Palencia Ramos, Almudena Orejas Saco del Valle, Inés Sastre Prats, Brais X. Currás Refojos, Juan Luis Pecharromán Fuente, Marcos Antonio Martínez Segura, Pedro Martínez Pagan, Yolanda Álvarez González, Damián Romero Perona, Leandro Alejano Monge, Elena Martín Ortega, Ignacio Pérez-Rey, Sebastián Pérez Díaz, Yolanda Carrión Marco, Nekbet Corpas Cívicos y Mario Gutiérrez Rodríguez.

Revisión crítica de los textos:

F. Javier Sánchez-Palencia Ramos y Almudena Orejas Saco del Valle.

Investigadores principales del proyecto:

F. Javier Sánchez-Palencia Ramos y Almudena Orejas Saco del Valle.

Organismos financiadores del proyecto:

CSIC (Instituto de Historia del CCHS) y Dirección de Patrimonio Cultural de la Junta de Castilla y León.

Parte de los resultados recogidos en esta publicación derivan de investigaciones desarrolladas en el marco de los proyectos: PID2023-151203NB-I00, financiado por MCIN/AEI /10.13039/501100011033 y FEDER, UE, «El impacto de la economía imperial romana en las economías locales hispanas: metales preciosos, recursos de la tierra y del mar, mercados (II a. C. - II d. C.). IMPAC»; PIE 202410E064 «Paisajes y territorios: arqueología y patrimonio en el noroeste peninsular (PATEAR)».

1 *Introducción: la zona arqueológica de Las Médulas y su red hidráulica como bien de interés cultural y Patrimonio Mundial*

1.1. ANTECEDENTES

F. Javier Sánchez-Palencia
Almudena Orejas

La mina de oro romana de Las Médulas es seguramente la estructura minera de su época más conocida en todo el mundo. En la página web de la Unesco se dice al definirla: «En el siglo I d. C., el poder imperial romano empezó a explotar el yacimiento aurífero de este sitio del noroeste de España recurriendo a una técnica basada en la fuerza hidráulica. Al cabo de dos siglos, la explotación se abandonó y el paisaje quedó devastado. Debido a la ausencia de actividades industriales posteriores, las espectaculares huellas del uso de la antigua tecnología romana son visibles por doquier» (fig. 1). También se resalta en ese mismo documento que «la zona de extracción de oro de Las Médulas es un ejemplo destacado de tecnología romana innovadora, en la que todos los elementos del paisaje antiguo, tanto industriales como domésticos, han perdurado en un grado excepcional».

Su importancia ha sido puesta de relieve por los principales investigadores que se han ocupado de la minería y la tecnología antigua. Todos ellos están de acuerdo en que los sistemas de explotación utilizados en Las Médulas son un ejemplo sin parangón del acervo tecnológico antiguo y en particular del empleo de la fuerza hidráulica en labores mineras.

La principal investigación sistemática y multidisciplinar llevada a cabo hasta ahora en Las Médulas se realizó bajo la coordinación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) entre los años 1988 y 1996, dentro de los planes anuales de investigación arqueológica de la Junta de Castilla y León (JCyL) (Sánchez-Palencia *et al.* 1996; Sánchez-Palencia *et al.* 1999; Sánchez-Palencia 2000).

En el marco de esa investigación, en 1992, se redactó *La Zona Arqueológica de Las Médulas. Estudio de viabilidad para su conversión en Parque Arqueológico* (ZAM-PA), por encargo del Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (ICRBC, actual IPCE) del Ministerio de Cultura con el acuerdo de la JCyL. En él se proponía una delimitación de la zona arqueológica de Las Médulas (ZAM) como bien de interés cultural (BIC), excluyendo la zona gallega que en dicho estudio se había considerado como parte integrante de ella (Sánchez-Palencia *et al.* 1992, 129 y mapas adjuntos). La delimitación se dividía en dos zonas. La zona 1 comprendía los tres municipios de Borrenes, Carucedo y Puente de Domingo Flórez, más pequeñas partes del municipio de Priaranza del Bierzo —la situada al oeste del arroyo de Ferradillo— y de los municipios de Toral de los Vados y Carracedelo —las situadas al sur del río Sil. La zona 2 se extendía, abarcando toda la red de canales de abastecimiento entonces conocidos, por los municipios de Priaranza del Bierzo y Ponferrada en su vertiente norte y de Benuza, Castrillo de la Cabrera, Encinedo y Truchas en su vertiente sur.

Desde un punto de vista patrimonial, Las Médulas habían sido incluidas ya como monumento



Figura 1. Vista de Las Médulas desde un vuelo regular Madrid – Santiago de Compostela (junio de 2004), a una altitud de entre diez y doce mil metros.

histórico-artístico en la famosa lista de la II República española de 3 de junio de 1931. Por ello, al entrar en vigor la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (disposición adicional primera), pasó a considerarse y denominarse BIC, aunque careciese aún de una delimitación precisa. Esta se produjo mediante la resolución de 22 de octubre de 1996 de la Dirección General de Patrimonio y Promoción Cultural de la JCyL por la que se incoó el correspondiente expediente de la zona afectada por la declaración. El decreto 101/1998, de 28 de mayo (BOCyL n.º 102 de 2 de junio de 1998; BOE n.º 153 de 27 de junio de 1998) dio por finalizada la vía administrativa de dicha declaración.

Se diferenciaban en ella dos zonas: I. Área principal de la mina de oro romana de Las Médulas, de 1879,2 ha; II. Otras áreas delimitadas: 1. Estériles de La Balouta (E3), de 203,6 ha; 2. Estériles de Valdebría (E4), de 48,3 ha; 3. Estériles de Yeres (E5), de 77,1 ha. Es decir, en total la zona declarada afectaba a 2208,2 ha, que incluían las zonas más importantes de la mina de oro romana, situadas en el sur de los municipios de Carucedo y Borrenes y en el norte del de Puente de Domingo Flórez. Esa misma delimitación del BIC fue la utilizada para incluir Las Médulas en la Lista del Patrimonio Mundial en la reunión de la Unesco de Nápoles el 4 de diciembre de 1997 (n.º de referencia: 803).

En 2007 se amplió la zona arqueológica afectada como BIC hasta alcanzar 3.041,3 ha (BOCyL n.º 149 de 1 de agosto de 2007; BOE n.º 217 de 10 de septiembre de 2007). Se incluían en ella El Castrelín de San Juan de Paluezas y el Castro de Borrenes con un entorno de protección de 100 m (fig. 2).

En 2002, mediante contratación por parte de la Dirección General del Patrimonio Cultural de la Junta de Castilla y León, se finalizó la redacción del Plan Director de Ordenación, Usos y Gestión de Las Médulas (PDLM) por parte conjuntamente del Taller de Estudios Medioambientales y Arqueológico de la Universidad de Valladolid y del Instituto de Historia del CSIC. En él se proponía una ampliación de la zona declarada, hasta alcanzar 3148,59 ha (Fernández Manzano *et al.* 2001). El mismo año 2002 (De-

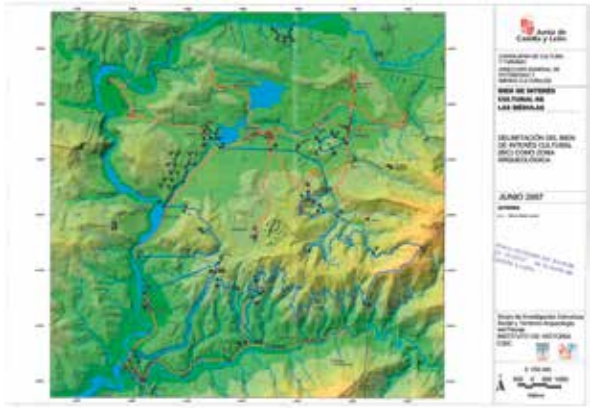


Figura 2. Delimitación del BIC de Las Médulas de 2007.

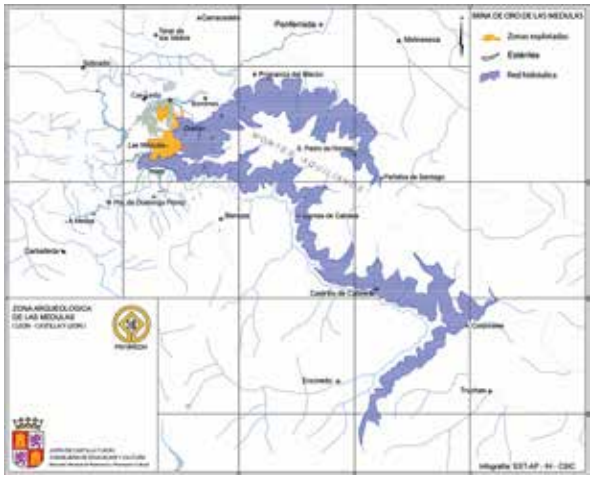


Figura 3. La red hidráulica en la figura 18 del informe para la declaración de Patrimonio Mundial (1996).

creto 103/2002, de 1 de agosto; BOCyL n.º 154 de 9 de agosto), Las Médulas fueron declaradas también, y sorprendentemente, «Monumento Natural», con la delimitación propuesta en el PDLM.

En 2010 (BOCyL n.º 250 de 29 de diciembre de 2010) la JCyL declaró el BIC como Espacio Cultural y se redactó un Plan de Adecuación y Usos (PAU) (Junta de Castilla y León 2011) en el que la delimitación seguía siendo la de la ampliación de 2007, pero se le añadían dos zonas de afección, la ZA 1 y la ZA 2, que venían a ser casi exactamente las zonas 1 y 2 del ZAM-PA de 1992, excluyendo en la ZA 1 la parte del municipio de Puente de Domingo Flórez situada al sur del río Cabrera.

Así pues, la red hidráulica de Las Médulas, sin formar parte explícita de la delimitación del BIC, y por lo tanto del Patrimonio Mundial, se ha tenido siempre en cuenta en un mayor o menor grado, como no podía ser de otra forma por la entidad de las estructuras que la constituyen y por la importancia que la fuerza hidráulica tuvo en todas las fases de la explotación de la mina de oro romana: extracción, lavado y evacuación del conglomerado aurífero (fig. 3).

1.2. BASES DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA

F. Javier Sánchez-Palencia
Almudena Orejas
Brais X. Currás

Casi todas las labores mineras auríferas llevadas a cabo por Roma en el cuadrante noroccidental de la Península Ibérica han generado morfologías muy evidentes. La inexistencia de una explotación importante posterior al siglo III d. C. permite en muchos casos documentarlas perfectamente sobre el terreno y con la inestimable ayuda de la teledetección y de las técnicas de información geográfica. Efectivamente, el registro mediante imágenes o fotografías aéreas, desde los vuelos sistemáticos de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF) para realizar las primeras cartografías por este sistema en las décadas de los 1940 y 1950, hasta el LiDAR o las imágenes tomadas gracias a drones, constituyen un documento imprescindible para poder analizar y estudiar detalladamente las labores mineras antiguas en todos sus aspectos morfológicos: sus dimensiones, los sectores desmontados o de extracción, los canales de evacuación, las acumulaciones de estériles o colas de lavado y las redes hidráulicas formadas por canales y depósitos para controlar el uso sistemático del agua.

Este trabajo tiene como punto de partida la tesis doctoral realizada por F. J. Sánchez-Palencia. En ella se revisó toda la bibliografía precedente y se llevó a cabo un estudio sobre el terreno de toda la zona arqueológica de Las Médulas (Sánchez-Palencia 1983, 243-261). A partir de él, poco tiempo después, se llevaron a cabo bajo la dirección del mismo autor

y M.ª D. Fernández-Posse las prospecciones sistemáticas recogidas en el segundo volumen sobre los yacimientos de Corporales (Truchas, León). En ese trabajo hay un apartado específico sobre todas las estructuras mineras de Las Médulas y su red hidráulica (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 161-176), así como una síntesis sobre la geología de L. C. Pérez García (1988). Los resultados entonces publicados sobre Las Médulas contaban ya con un pormenorizado análisis estereoscópico de las fotografías aéreas del vuelo americano B (1956-57), el entonces recientísimo vuelo infrarrojo B/N de ICONA de 1983 y un vuelo específico, sin fecha precisa, encargado por la empresa Sevelar (propietaria en su momento de la concesión minera de Las Médulas) a la compañía CETFA, del que solo se contaba con los positivos y con la restitución cartográfica a escala 1:5000 a partir de ellos (cedidos amablemente por el Sr. Marfany, de Sevelar, S. A.). Todo ello se contrastó con las correspondientes prospecciones sobre el terreno a mediados de la década de 1980. Como continuación de este trabajo, entre 1988 y 1996 se llevó a cabo el proyecto «Zona Arqueológica de Las Médulas» (ZAM), coordinado ya desde lo que es en la actualidad el departamento de Arqueología y Procesos Sociales del Instituto de Historia del CSIC y cuyos resultados han dado lugar a múltiples publicaciones.

En la década de 1980 (Domergue 1987, I, 297-310 y fig. 77, también Domergue 1990, fig. 26) y, de forma más detallada, a finales de 1990 (Domergue y Hérail 1999) se dio a conocer la cartografía llevada a cabo por C. Domergue y diversos colaboradores, que en realidad había sido realizada en 1973 y 1974. Se trata de un mapa que es el resultado de una prospección sistemática de Las Médulas y que todavía hoy resulta, sin duda, un referente importante para su estudio. A él hay que añadir las nuevas interpretaciones, a las que nos referiremos más adelante con mayor detalle, llevadas a cabo con el ingeniero Jean-Louis Bordes (Bordes y Domergue 2007), así como los comentarios sobre aspectos más concretos en su posterior publicación sobre la geología, labores y asentamientos de Las Médulas y el Teleno (Domergue 2012).

Desde finales del siglo pasado, el ingeniero técnico de minas R. Matías ha llevado a cabo numerosos trabajos en relación con Las Médulas, centrándose muy en particular en la red hidráulica. El número de canales por él identificados se ha ido incrementando a lo largo de sus trabajos y ha alcanzado el número de 12, incluidos diversos ramales o canales subsidiarios (Matías 2004, 2008, 2020 y 2021, como síntesis): tres discurren por la vertiente septentrional y nueve por la meridional. Hace una descripción de todos ellos, siendo de especial relevancia la identificación de varios túneles que forman parte de su trazado. Sin embargo, ignora prácticamente los depósitos de agua que se encuentran sobre los frentes de la mina y, por lo tanto, no llega a establecer ninguna relación con ellos ni especifica su conexión con las estructuras de explotación, evacuación y acumulación de estériles de las cuatro fases generales de explotación que identifica, que señala simplemente mediante grandes manchas, sin detallar los criterios que le han llevado a tal diferenciación de los desmontes mineros. Solo tangencialmente se refiere a los asentamientos relacionados con las labores mineras y a su cronología.

En el presente estudio sobre la zona arqueológica de Las Médulas y su red hidráulica, la metodología para identificar, analizar e interpretar todas las estructuras mineras y asentamientos de Las Médulas se ha desarrollado del siguiente modo:

1. Revisión de toda la información sobre la ZAM y su red hidráulica, que ha incluido tanto la revisión bibliográfica (ver el correspondiente apartado), como la de toda la información inventariada remitida desde la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Junta de Castilla y León.

2. Elaboración de una base documental estructurada de toda la información de carácter espacial en un sistema de información geográfica (ArcGIS 10.8), georreferenciada en el sistema geodésico de referencia ETRS89 (Real Decreto 1071/2007 de 27 de julio). Dicha base documental incluye:

- Modelo del terreno con una resolución de 0,5 m elaborado a partir de los datos LiDAR

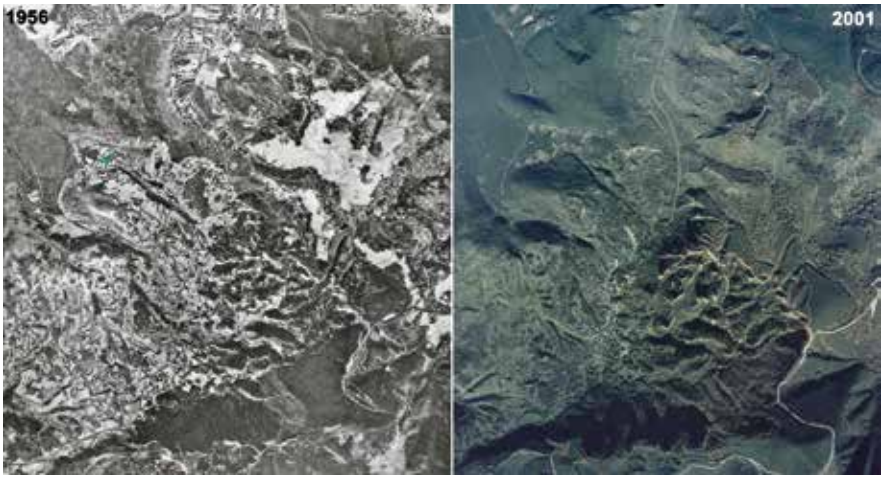


Figura 4. Fotografías aéreas de parte de los sectores 1, 2.2 y 3 de la mina de oro de Las Médulas en los fotogramas de la serie B del vuelo americano (27.07.1956) y del vuelo de INTERCAYT para el CSIC (03.11.2001).

(.laz) del PNOA, correspondientes a la primera (2010) y la segunda (2021) cobertura.
- Representación del terreno mediante algoritmos de visualización para la identificación de las alteraciones del terreno mediante *sky-view factor* (SVF) y *local relief model* (LRM), implementados con la herramienta Relief Visualization Toolbox.
- Curvas de nivel cada 2 m generadas a partir del modelo del terreno.
- Base Topográfica Nacional (BTN) del IGN con datos topográficos y temáticos que permiten su explotación mediante sistemas de información geográfica y la generación de productos cartográficos y servicios interoperables.
- Fotografía aérea ortorrectificada correspondiente al Vuelo Americano de 1956, al Vuelo Interministerial (1973-1986), a los vuelos del PNOA (años 2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2014 y 2017) y al vuelo INTERCAYT (vuelo realizado por encargo del CSIC en el año 2001 a una escala 1:10 000) (fig. 4).
- Capas temáticas en formato .shp generadas como resultado del estudio.

3. En dicha base documental se han vertido todos los datos procedentes tanto del registro documental del grupo de investigación EST-AP, como del inventario de la JCyL. Este registro incluye todos los asentamientos antiguos, protohistóricos o romanos conocidos, ya se trate de yacimientos bien documentados y estudiados, de yacimientos solo identificados o de simples indicios, diferenciados de esta forma.

4. A partir de esa base documental se ha identificado, en primer lugar, el trazado visible de los canales que forman la red hidráulica de Las Médulas y, a continuación, se ha interpretado el trazado completo de dichos canales. De igual forma, se han identificado todos los depósitos de agua reconocibles en esa red hidráulica, independientemente de su peor o mejor estado de conservación.

5. Sobre esa misma base se han identificado las labores donde se documenta la extracción de material aurífero, agrupándolas por sectores y subsectores, los canales de evacuación que condujeron fuera de la mina los estériles menos gruesos y las acumulaciones, conos de deyección o colas de lavado, donde se acumularon dichos estériles.

6. En último término, se han identificado aquellas zonas donde, una vez finalizada la explotación romana y a causa de los vertidos y rellenos que produjo, se constata que se han depositado nuevos sedimentos. Un caso singular en este sentido lo forma el lago de Carucedo, causado por la retención de agua que produjo la gran acumulación de estériles de época romana en Chaos de Maseiros (E2).

7. De forma paralela, se han producido dos tipos de intervenciones sobre el terreno para profundizar tanto en el conocimiento de la red hidráulica, como en el estudio de lo que significó, en su más amplio sentido, la minería de oro romana en toda la ZAM:

- Se han realizado sondeos en diversos canales de la red hidráulica, procurando que su selección diese lugar a una muestra representativa para toda la ZAM (fig. 5).
- Así mismo, se han sondeado varios depósitos de agua procurando que documentasen distintas fases de la explotación.
- Tanto en los sondeos de los canales, como en los de los depósitos se ha realizado una documentación exhaustiva de las estructuras hidráulicas, fotografiándolas y dibujándolas. También se han recogido en ellas muestras para obtener dataciones radiocarbónicas, para conseguir a través de diversas analíticas del registro arqueológico (fig. 6) una visión completa de la evolución paleoambiental de la ZAM y para realizar análisis complementarios de carácter mineralógico.



Figura 5. Labores de limpieza y documentación en el trazado del canal C32 en las inmediaciones del Pontón de Corporales.



Figura 6. Preparación de la recogida de muestras para análisis micromorfológicos en el sondeo realizado en el depósito de La Horta, D39.

1.3. LA GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO AURÍFERO DE LAS MÉDULAS

F. Javier Sánchez-Palencia (a partir de Pérez García y Sánchez-Palencia 1992 y 2000a)

Para la geología de Las Médulas, se consideran vigentes en esencia los trabajos realizados por L. C. Pérez y G. Hérail en las décadas de los años 1970 y 1980, con motivo de sus tesis doctorales (en la Universidad de Oviedo el primero y en la de Toulouse el segundo). Ambos se basan en detallados trabajos de campo, llevados a cabo con fines propios o para distintas compañías mineras. Sus resultados han quedado expuestos en diversas obras (Pérez 1977 y 1988, Hérail 1984), llegando a realizar un trabajo conjunto de síntesis (Hérail y Pérez 1989) en el que resumen y valoran la importancia que pudieron llegar a tener las condiciones geomorfológicas y geológicas de los yacimientos auríferos en el desarrollo de la minería romana. Subrayan en este sentido la adaptación pragmática de los sistemas de explotación romanos a las características geológicas y geomorfológicas de los yacimientos, que en muchas ocasiones beneficiaron yacimientos con leyes de oro muy bajas —circunstancia que pudo llegar a causar el abandono de las labores solo a escala muy local—, pero que el cese de la explotación a escala regional de todo el noroeste peninsular no puede atribuirse al agotamiento de los yacimientos auríferos. Y especifican: «Así los romanos trataban materiales de diversas leyes pero sólo excepcionalmente lavaban aluviones de menos de una veintena de mg/m^3 salvo en explotaciones muy grandes (en Las Médulas por ejemplo). Por otra parte, en muchísimos casos, aban-

donaron aluviones tan ricos o más ricos que los que explotaban en otros lugares. El caso de las terrazas bajas del río Duerna es, entre otros, muy demostrativo» (Hérail y Pérez 1989, 31).[1]

En relación con esas conclusiones de Hérail y Pérez, es evidente que la tecnología minera romana se aplicó siempre con un elevado grado de pragmatismo y que los conocimientos geológicos de la época no permitían obtener unos conocimientos precisos de las leyes de oro hasta que la explotación estaba suficientemente avanzada. En este sentido, es conveniente hacer un breve inciso acerca del concepto de tecnología en el mundo antiguo. En este trabajo vamos a seguir las recomendaciones de K. D. White (1984, 9) sobre «la necesidad de relacionar muy de cerca los procesos técnicos con su entorno histórico, [...] ya que la tecnología está tejida dentro de la construcción de una sociedad, y que no resulta provechosa si se estudia aisladamente».

Por otro lado, y esto se olvida con mucha frecuencia, el concepto de rentabilidad actual no es aplicable al mundo antiguo. Roma precisaba de un abastecimiento de oro seguro para sus acuñaciones de *aurei* y la ley del yacimiento beneficiado, aunque se tuviese en cuenta, era algo secundario, sobre todo a escala comparativa. Es decir, no existían las bases científicas necesarias para considerar si este o aquel yacimiento, situados muchas veces a bastante distancia, merecían o no ser explotados antes que cualquier otro.

En resumen, la interpretación geológica que se propone ahora, con algunas precisiones y matizaciones, es la que aparece en dos trabajos conjuntos de Pérez García y Sánchez-Palencia (1992 y 2000a) y se resume, en aquello que se refiere a los conglomerados auríferos explotados en época romana que ahora nos interesa, en los siguientes puntos (figs. 7 y 8):

1. Los depósitos rojos de la tercera, la más meridional, de las fosas definidas por Hérail (1984) en el occidente de El Bierzo, la de Las Médulas, han sido atribuidos al Mioceno medio-superior (Pérez García 1977; Hérail 1984). El medio sedimentario bajo el que se depositaron fue el de abanicos aluviales en clima cálido-húmedo estacional en un principio, incrementándose la aridez con el tiempo. Durante y después de la sedimentación siguieron jugando los bloques del zócalo por medio de fracturas que afectaron a los depósitos rojos miocenos y complican su interpretación paleogeográfica.

2. Su estratigrafía, basándonos en la división establecida por Hérail (1984), se compone de tres formaciones (de techo a muro):

- Formación Médulas: con una potencia de más de 100 m, se interpreta como unos aluviones depositados por fenómenos torrenciales violentos, seguidos de períodos de calma cuando se sedimenta todo el material en suspensión. Por ello se produce una alternancia de bancos conglomeráticos (sin organización interna, imbricación de los cantos no generalizada, niveles de gravas de estratificación horizontal y a veces oblicua, y en general con abundante matriz) de granulometría muy desigual. En algunos casos se trata de auténticos *debris flow* con bancos de limos-arenas (estructura masiva) muy extensos.
- Formación Santalla: en su zona proximal son conglomerados de calibre elevado (el centil puede alcanzar 0,8 m), similar al de la Formación Médulas, pero sí poseen organización sedimentaria y se pueden reconocer depósitos de bancos longitudinales y de canal. Esta facies predomina en los 20-30 m inferiores. Según se asciende en la serie, disminuye la imbricación entre cantos, aumenta la matriz y los bancos tienden a extenderse lateralmente. Se interpreta

1 «Ainsi les Romains ont traité des matériaux de teneur diverse mais ils n'ont qu'exceptionnellement lavé des alluvions de moins d'une vingtaine de mg/m^3 sauf dans de tres grosses exploitations (à Las Médulas par exemple). Par contre, dans de très nombreux cas, ils ont délaissé des alluvions aussi riches ou plus riches que celles qu'ils exploitèrent par ailleurs. Le cas des basses terrasses du rio Duerna est, parmi d'autres, très démonstratif».

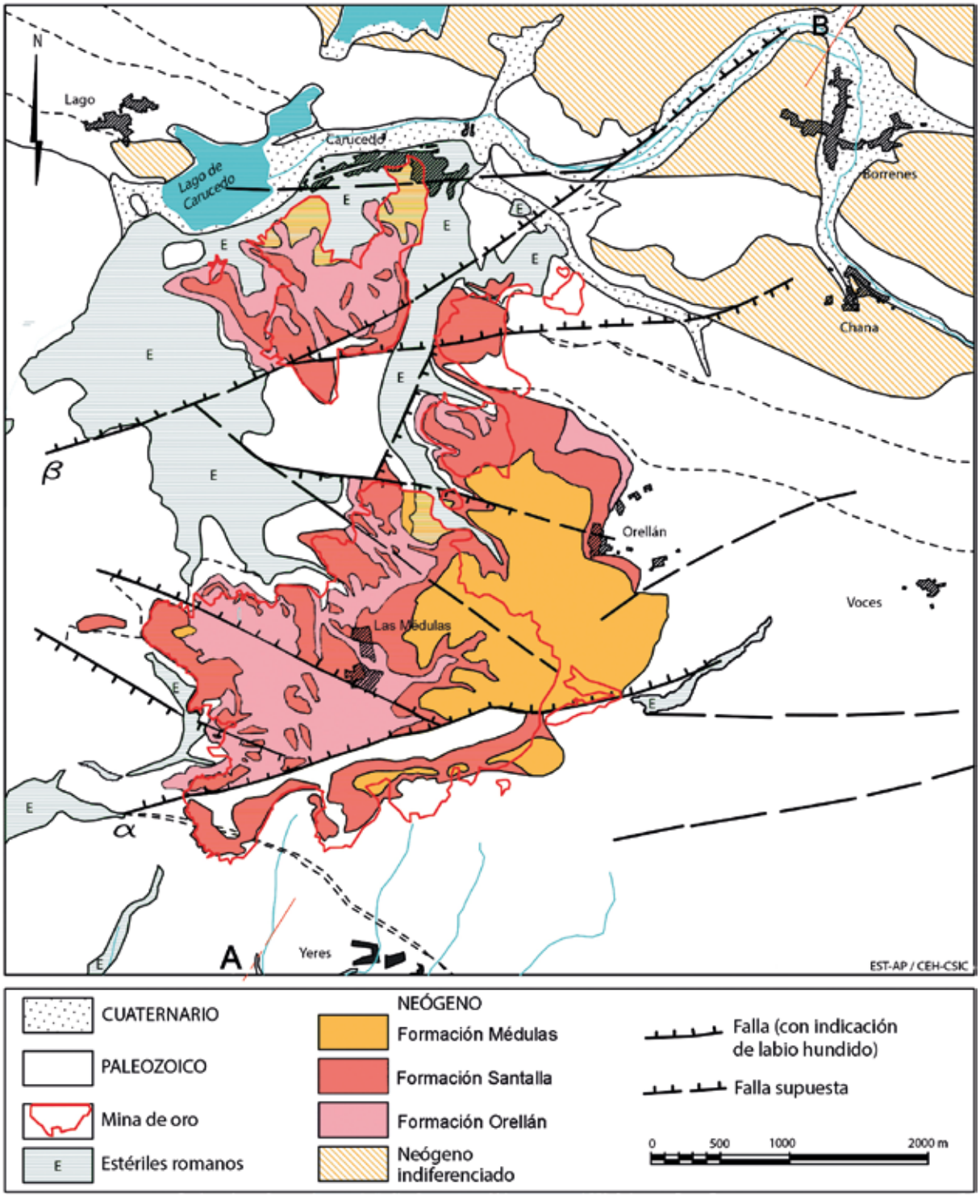


Figura 7. Geología del yacimiento aurífero de Las Médulas (elaboración propia a partir de Pérez García y Sánchez-Palencia 2000, fig. 156).

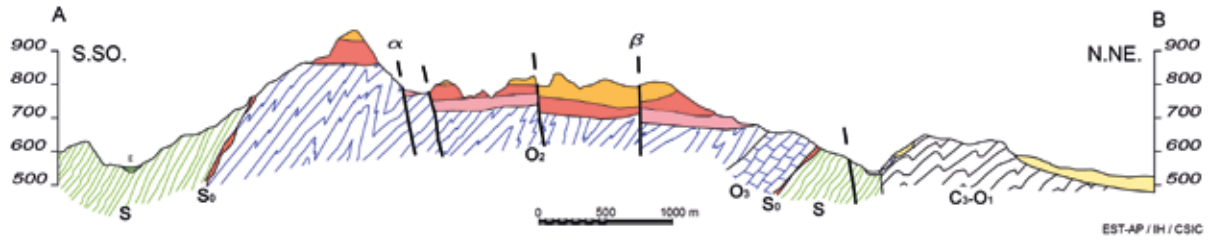


Figura 8. Geología del yacimiento aurífero de Las Médulas. Perfil A-B: ver figura 7 (elaboración propia a partir de Pérez García y Sánchez-Palencia 2000, fig. 156).

Figura 9. Foto aérea de Las Médulas desde el oeste. A-B) trazado de la falla sur (*α* en las figs. 7 y 8).



como abanicos aluviales donde el agente sedimentario principal fue el agua.

– Formación Orellán: depósitos coluvionares y aluvionares formados por cantos, de diámetro inferior a 10 cm, de pizarra y de cuarzo exclusivamente. En algunas zonas puede faltar, siendo su potencia máxima observada de 20 m. Se trata de facies de arrastre de ladera y fluviales de origen local y con poco transporte. Allí donde se encuentra, forma el *bedrock* de la formación aurífera.

3. Tectónicamente, durante la sedimentación de los depósitos rojos, los bordes de la cuenca de El Bierzo continuaron elevándose. Un basculamiento hacia el oeste cambió el sentido del drenaje (Hérail 1984), que antes se hacía hacia la cuenca del Duero. Posteriormente a la sedimentación de estos abanicos aluviales, continuó el movimiento de aquellas fracturas que los condicionaron. En la zona de Las Médulas existen dos de mayor importancia:

– Una de ellas (α en las figs. 7 y 8), al sur con trazado noreste-suroeste, hace incluso aparecer al Paleozoico en la ladera que divide al sur las explotaciones que vierten en dirección norte, hacia el lago de Carucedo, y las que vierten hacia el sur, hacia la cuenca del río Cabrera. Su salto máximo (con labio hundido hacia el norte) es de 50 m, aproxi-

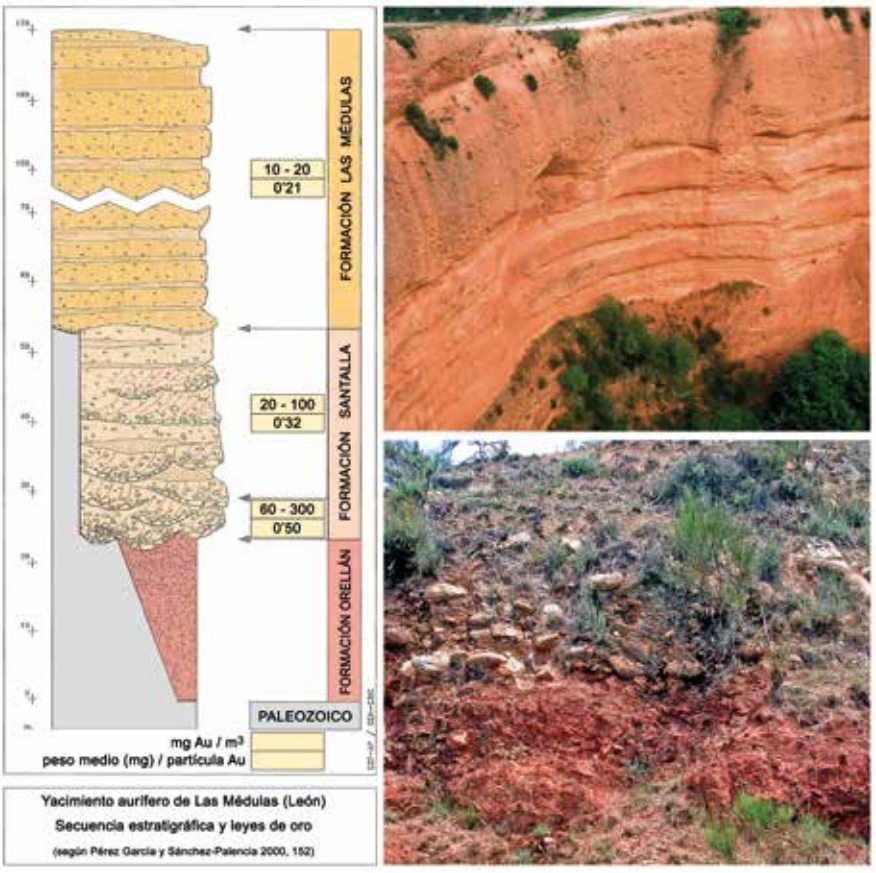


Figura 10. Columna estratigráfica y fotografías de las formaciones geológicas de Las Médulas: Formación Las Médulas, arriba (bajo el mirador de Orellán) y contacto entre las Formaciones Santalla y Orellán, abajo (en Pinzais).

madamente en la zona central, disminuyendo hacia los extremos (fig. 9).

– La segunda estructura de falla (β en las figs. 7 y 8), que se encuentra al norte, cerca de Carucedo, tiene un juego parecido a la anterior y hace descender en graderío los sedimentos miocenos hacia la depresión de El Bierzo. A pesar de que no tiene excesivo salto, complica la interpretación geomorfológica de estos flujos de sedimentos y puede conducir a errores.

4. Las leyes de oro de los depósitos rojos se basan en los muestreos realizados en las décadas de los años 1970 y 1980 por diversas compañías mineras (ver también: Hérail y Pérez García 1989). La riqueza que poseen junto al contacto o *bed-rock*, ya se trate del Paleozoico, ya sea la Formación Orellán, es evidente y multiplica por más de 6 la del recubrimiento. Las leyes según los mencionados muestreos pueden resumirse en la fig. 10 y en el siguiente cuadro:

Alturas aprox. sobre el *bed-rock*	Ley Au mg/m³
0 m - 5 m	60 - 300
5 m - 25 m	20 - 100
> 25 m (hasta 200 m)	10 - 20

El peso medio de las partículas es de cerca de 0,5 mg en los tres primeros metros, mientras que en el resto del recubrimiento la media oscila entre 0,2 y 0,35 mg. Según Hérail (1984) el tamaño medio en la Formación Santalla es de 0,32 mm, y en la Formación Las Médulas de 0,21 mm, que se corresponden con las variaciones de peso mencionadas.

Si se comparan las leyes de los depósitos rojos de Las Médulas con otros del noroeste de la cuenca del Duero, se pone claramente de manifiesto el carácter no

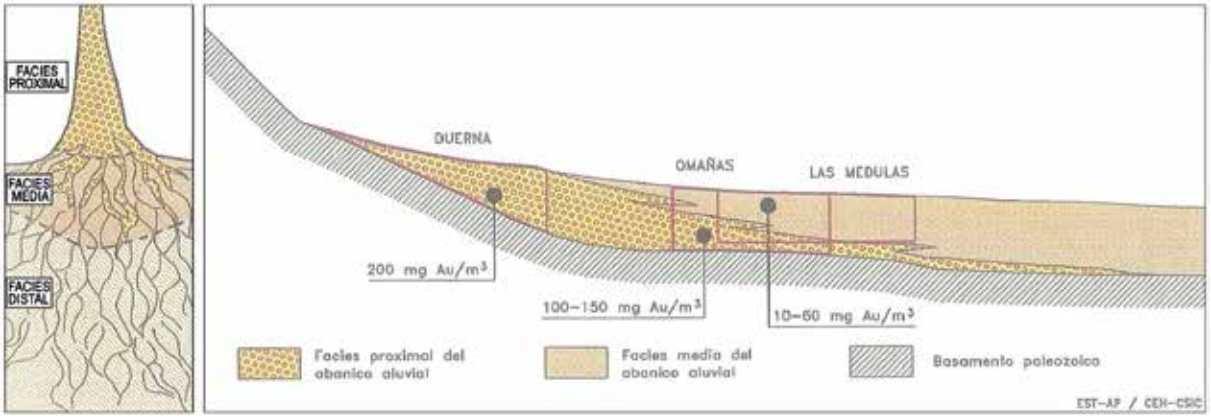


Figura 11. Esquema de un abanico aluvial y posición relativa dentro de ese esquema de los yacimientos auríferos explotados en época romana en el río Duerna, en Las Omañas y en Las Médulas (Pérez García y Sánchez-Palencia 2000, 147).

demasiado proximal de los primeros (fig. 11). Así, la ley de oro del recubrimiento (sin incluir los tres primeros metros junto al *bed-rock*), en la cuenca aurífera del río Duerna (zona proximal) es de un valor medio de 4 a 5 veces mayor que en Las Médulas, lo que indica nuevamente que el área madre de esta última estaba mucho más distante. Si se comparan las leyes de oro de Las Médulas con las obtenidas en los depósitos rojos de la zona explotada por los romanos en Las Omañas (40-50 mg/m^3 de oro recuperable en los 60-75 m prospectados, sin llegar al Paleozoico, según Pérez García 1977), estos últimos son cinco veces más ricos, lo que vuelve a evidenciar el carácter menos proximal de Las Médulas. Todo lo anterior se refiere a oro recuperable, es decir, con partículas mayores de 60-70 micras. No se han hecho estudios respecto a las fracciones finas de Las Médulas. En Las Omañas, por ejemplo, el oro menor de 20 micras representa el 40 % en peso del oro total. Esta segunda población tiene que estar presente en Las Médulas, ya que es típica de los sedimentos miocenos y va tendiendo a desaparecer según nos encontramos con depósitos más modernos, hasta ser nula en los aluviones actuales (Pérez García 1977).

5. Una cuestión muy interesante en relación con las leyes de oro y la explotación de época romana, que se subraya ya en los trabajos de Pérez García y Sánchez-Palencia (1992 y 2000), es la existencia de grandes bloques o cantos rodados mezclados entre arenas y limos en las grandes acumulaciones de estériles romanos (en Chaos de Maseiros, E2, por ejemplo: figs. 12 y 13). Se trata, por otro lado, de un fenómeno que no es observable en otras acumulaciones de estériles similares del noroeste peninsular. Tal circunstancia sugiere que la mayoría del material abatido de uno u otro modo con el uso de la fuerza hidráulica (Formación Médulas y la parte superior de la Formación Santalla) fue un simple desmonte para descubrir los 20-30 m inferiores, donde sí existía una ley de Au interesante para los antiguos mineros y equiparable con la de otros depósitos beneficiados en otras zonas del noroeste peninsular. En este sentido, no se puede argumentar que, una vez extraído o abatido, no les suponía un esfuerzo extra lavar el material, ya que para concentrar se requiere más dilución en la pulpa y, por lo tanto, al ser el suministro de agua el mismo, más lentitud y más coste.

A una conclusión semejante llegaron con posterioridad Domergue y Hérail (1999), que se refieren a la inexistencia de acumulaciones de cantos rodados en la zona principal de la mina (sector 3.11, entre el pueblo de Las Médulas y el mirador de Orellán), la explotada mediante cortas de minado o *ruinae montium*, frente a la gran abundancia de estériles gruesos o murias en el resto de los sectores explotados. Ahora bien, tampoco hay que olvidar que todo ese sector 3.11, es decir, la parte más profunda y espectacular de la mina de oro romana, es la que posee un mayor recubrimiento de materiales procedentes de la ero-





Figuras 12 y 13. Pequeños y grandes cantos rodados acumulados en la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros (el jalón mide 1 m).

sión de los frentes de explotación romanos, que han podido enmascarar las murias dejadas antiguamente.

Con posterioridad se han llevado a cabo otras propuestas sobre la geología de Las Médulas. Así, los depósitos explotados por los romanos corresponderían a terrazas de un gran sistema fluvial (Hacar *et al.* 1999, Matías *et al.* 2008). Esta opinión ha sido rebatida por Domergue (2012), que considera que los aterrazamientos marcados por los autores no son tales, sino que corresponden a fallas, algo que ya había marcado claramente Pérez García en sus interpretaciones (Pérez García y Sánchez-Palencia 1992 y 2000). Pero, además, es difícil considerar la existencia de terrazas si no se demuestra antes la existencia en aquellos momentos del Cenozoico de una red hidrográfica jerarquizada clara, cosa que hasta ahora no ha ocurrido.

En último término, en 2021 se ha publicado una síntesis geológica de toda la zona (Rodríguez Fernández *et al.* 2021). En ella se vuelven a utilizar las denominaciones y caracterizaciones de la Formación Las Médulas y la Formación Santalla según fueron definidas por Hérail, si bien se apunta la posibilidad de que Santalla no sea más que una facies dentro de la Formación Las Médulas. Dentro de esta misma síntesis de 2021 se sigue admitiendo la secuencia de Pérez: Formación Orellán, Formación Santalla y Formación Las Médulas, en la que la primera sería equivalente a la Formación Toral en todo El Bierzo.

De cualquier forma, si bien este tipo de matizaciones o precisiones son inherentes al avance de los conocimientos geológicos, ya se ha indicado al principio de este apartado que hay que considerar su relativa incidencia en la interpretación de los sistemas de explotación antiguos, ya que estos no se realizaron a partir de ese conocimiento sistemático, sino desde el empirismo que proporcionaba la explotación continuada del yacimiento. Solo considerándolo así, puede entenderse la famosa frase de Plinio el Viejo (*HN*, XXXIII 73): «Nec tamen adhuc aurum est nec sciere esse, cum foderent, tantaque ad pericula et inpendia satis causae fuit sperare quod cuperent» («Sin embargo, ni todavía hay oro ni es posible saber si lo habrá cuando excaven, pero el hecho de esperar lo que deseaban había sido motivo suficiente para tan grandes peligros y gastos»).[2]

2 En las citas del pasaje de Plinio sobre la explotación en Hispania de los yacimientos auríferos seguimos, salvo indicación expresa, la traducción realizada por D. Plácido y J. Sánchez-Palencia (2014).

1.4. EL VALOR UNIVERSAL EXCEPCIONAL DE LAS MÉDULAS

Almudena Orejas
F. Javier Sánchez-Palencia

Como indicamos en el apartado 1.1, la declaración del paisaje minero de Las Médulas como Patrimonio Mundial en 1997 supuso el reconocimiento internacional de sus excepcionales valores, de su integridad y autenticidad. En 2022 se ha actualizado el expediente de la Unesco, incluyendo la justificación, que ya poseía, del Valor Universal Excepcional (VUE) de Las Médulas.

Su valor como Patrimonio Mundial quedó sustentado por cuatro criterios. En primer lugar, porque «Las Médulas es una obra capital del ingenio creativo humano en el campo de la minería y particularmente de la tecnología de la *ruina montium*, de la aplicación de la fuerza hidráulica y de los sistemas de minería del oro a una escala, eficacia e importancia que tuvieron una relevancia económica decisiva para el Imperio romano en los dos primeros siglos de nuestra Era». Este primer criterio reconoce la singularidad de Las Médulas y el excepcional alcance de la aplicación de técnicas mineras y el recurso a la energía hidráulica, que han modelado la topografía del paisaje y han condicionado su aspecto y los usos del suelo en los últimos dos mil años. Al mismo tiempo, Las Médulas adquiere un valor representativo del conjunto de la minería del oro bajo el dominio de la Roma imperial y, en general, de los paisajes mineros que la actividad extractiva de Roma ha legado.

El segundo criterio reconoce que «Las Médulas es un testigo destacado y único como creación de un paisaje cultural, conformado por una drástica intervención humana y por procesos naturales, incluyendo además la introducción de especies vegetales no nativas, que ha sobrevivido desde época romana sin cambios». A través de Las Médulas se aprecia no solo el impresionante impacto que la minería de los siglos I y II provocó en la zona, sino también la huella permanente que ha dejado. Esa diacronía se lee al aproximarse a Las Médulas desde la perspectiva de la arqueología del paisaje, que destaca los cambios en el tiempo y en las relaciones territoriales.

El tercer criterio hace referencia a que «Las Médulas proporciona una evidencia única o al menos excepcional de una tradición de trabajo y de una explotación tecnológica y científica de la naturaleza, dentro de una civilización desaparecida, que es el resultado de un uso destacado de la técnica hidráulica». Es crucial entender las cuestiones técnicas de manera contextual, en el marco del conocimiento de la época y de su trama social, teniendo en cuenta aspectos tan relevantes como las formas de explotación del trabajo de las comunidades indígenas.

Por último, el cuarto criterio se refiere a que «Las Médulas es un ejemplo sin paralelos de la unión de Arqueología y Paisaje, que ilustra un período importante para la Humanidad y para el Imperio romano en los siglos I y II de nuestra era, al que aportó una fuerza económica decisiva». Este paisaje solo se puede entender en un juego de escalas, teniendo en cuenta la relevancia del oro para la estabilidad del sistema monetario del Imperio.

Estos cuatro criterios complementarios tienen sentido por la integridad y la autenticidad de Las Médulas, aspectos ambos que, como se justifica y argumenta en este estudio, requieren para alcanzar sentido pleno incorporar la red hidráulica, ya que en la declaración de la Unesco se insiste en el empleo de la energía hidráulica como uno de los pilares de los valores de Las Médulas. La integridad, en el estado actual, se fundamente en la inclusión de los sectores de explotación minera, las acumulaciones de estériles, la parte de la red hidráulica próxima a los frentes de explotación y el poblamiento antiguo relacionado con la minería. Por otro lado, la ausencia de actividad extractiva industrial y el carácter rural de la zona ha limitado los impactos negativos. Precisamente, la interrupción de la minería entre el final del siglo II y el inicio del III ha garantizado la autenticidad y la preservación de Las Médulas.

2 *La minería romana en la cuenca media del río Sil y las labores de prospección en Las Médulas*

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

2.1. EL DESARROLLO DE LA MINERÍA EN EL RÍO SIL: LA EXPLOTACIÓN DEL *AURUM FLUMINUM* Y LA OBTENCIÓN DEL *SEGULLUM* O *SEGUTILUM*

El núcleo más visible y espectacular de la mina romana de oro de Las Médulas está formado por las estructuras mineras realizadas para extraer el conglomerado aurífero, es decir, las que corresponden a la fase más directa de explotación del mineral y que se pueden agrupar en tres grandes sectores, como se verá en el apartado 3.

Pero antes de iniciar su análisis y estudio, es conveniente referirse brevemente al contexto minero más amplio del que forma parte destacada Las Médulas.

A lo largo de la cuenca media del río Sil, entre su cabecera y su confluencia con el río Miño, existen un gran número de labores mineras (fig. 14), que orlan toda la zona montañosa de El Bierzo y se prolongan por los ríos Selmo y Cabrera y son continuas en la comarca orensana de Valdeorras, donde apenas quedan un par de kilómetros libres de alguna labor aurífera romana (Sánchez-Palencia 1983, 370-396; Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 152-156, figs. 73 y 77; Perea y Sánchez-Palencia 1995, 106-109; Sánchez-Palencia *et al*. 1996, 27-28). Lógicamente, no pueden incluirse todas las labores dentro de la delimitación propuesta para el BIC de Las Médulas, pero sí es muy conveniente que aquellas que se encuentran más próximas, tanto en la margen izquierda del río Sil, como en la margen derecha del Cabrera, sean incluidas como especial testimonio de ese proceso tecnológico e histórico, teniendo en cuenta siempre que las existentes en las márgenes opuestas no dejan de formar parte del mismo conjunto a pesar de su exclusión instrumental y deberían recibir una especial atención patrimonial.



Figura. 14. Explotación romana de oro de La Tiñosa (n.º 3), al norte del embalse de Peñarrubia. Un espeso monte bajo hace que hoy solo sean visibles las acumulaciones de cantos rodados o murias resultantes del lavado romano.

Este contexto minero es también una evidencia muy importante para explicar cómo pudo llegar a descubrirse el oro de Las Médulas en época antigua, puesto que las cuencas fluviales y sus placeres auríferos fueron el camino seguido por los prospectores

N.º	Código de referencia	Denominación	Localidad	Municipio
01	94 250	El Covacho - La Rozada	S. Juan de Paluezas	Borrenes
02	–	La Sufereira	El Carril	Carucedo
03	96 356	La Tiñosa	Carucedo	Carucedo
04	105 153	Arroyo de la Balouta	Salas de la Ribera	Puente de Dgo. Flórez
05	105 163	Valdefuentes	Salas de la Ribera	Puente de Dgo. Flórez
06	105 102	Las Ferreiruscas	Puente de Dgo. Frez	Puente de Dgo. Flórez
07	–	Vega – San Roque	Puente de Dgo. Frez	Puente de Dgo. Flórez
08	105 208	Arroyo de Rebordelo	Vega de Yeres	Puente de Dgo. Flórez
09	93 748	Arroyo de Fontela	Vega de Yeres	Puente de Dgo. Flórez
10	105 027	Castroquilame	Castroquilame	Puente de Dgo. Flórez
11	105 059	Ermita de San Ildefonso	Castroquilame	Puente de Dgo. Flórez
12	105 039	Las Bodegas	Castroquilame	Puente de Dgo. Flórez
13	105 050	El Barrero	Castroquilame	Puente de Dgo. Flórez
14	93 748	Las Suertes	Pombriego	Benuza
15	93 748	Pombriego	Pombriego	Benuza
16	93 748	A Olla	Pombriego	Benuza
17	93 748	Valdecucrillos	Pombriego	Benuza
18	93 748	Los Bellidos	Santalavilla	Benuza
19	2 116 302	Santalavilla 1	Santalavilla	Benuza
20	2 116 302	Santalavilla 2	Santalavilla	Benuza
21	2116 302	Santalavilla 3	Santalavilla	Benuza
22	93 748	Valcomesa 1	Santalavilla	Benuza
23	93 748	Valcomesa 2	Santalavilla	Benuza
24	93 748	Valcomesa 3	Santalavilla	Benuza
25	93 748	Valcomesa 4	Santalavilla	Benuza
26	93 748	Arroyo de Valdeparadilla	Santalavilla	Benuza
27	2116 303	El Miédalo 1	Santalavilla	Benuza
28	2116 303	El Miédalo 2	Santalavilla	Benuza
29	2116 301	El Covallón del Miédalo	Santalavilla	Benuza
30	93 748	Llamas	Llamas de Cabrera	Benuza
31	731 030	La Casarina	Llamas de Cabrera	Benuza
32	110 888	La Debesa	Corporales	Truchas

Tabla 1. Labores mineras romanas de la cuenca del río Sil dentro de la ZAM (ordenadas de N a S y de W a E).

romanos para alcanzar los aluviones consolidados y, a partir de ellos, llegar hasta los yacimientos primarios de donde procedían todos.

Efectivamente, además de la propia mina de Las Médulas con sus tres sectores de explotación y todas las estructuras asociadas, a lo largo de la zona arqueológica de Las Médulas (dentro de los límites que se definen en el apartado 9) existen numerosas labores mineras (tabla 1). Estas labores tuvieron una importancia relevante en el desarrollo de la minería

de oro de la zona y su relación con la mina de oro de Las Médulas varía en función de la posición que ocupan (para su situación concreta, ver al final las figuras del anexo gráfico). Por ello, deben formar parte del BIC y contribuir con ello a una mejor comprensión de su proceso histórico.

Algunas de estas labores forman parte del avance de los trabajos mineros romanos a lo largo de la cuenca media del Sil, tal es el caso de las n.os 1 a 7 (fig. 14), llevadas a cabo sobre diversos tipos de materiales: terrazas cuaternarias, rañas pliocenas y retazos terciarios. Aunque en las obras generales antes citadas se hace referencia a esa prospección a lo largo del río Sil, que se explica de forma más detallada en la síntesis sobre Las Médulas (Pérez García y Sánchez-Palencia 2000b, 158-168), el inventario más completo y actualizado de las numerosas labores de la cuenca media del río Sil es el llevado a cabo bajo la coordinación de Brais X. Currás en un trabajo inédito (esperamos que de próxima aparición) sobre la *Via XVIII* o *Via Nova* (Currás 2011, 1703-1738) al que remitimos para una comprensión cabal de la complejidad que adquirieron en época romana.

Lo que resulta evidente de estas labores remontantes a lo largo de la cuenca media del Sil y de sus tributarios, los ríos Lor, Selmo y Cabrera, es que sirvieron de indicios en el proceso de explotación de toda la zona. No solo conducirían a los prospectores romanos hasta Las Médulas, sino que también servirían para llegar hasta los yacimientos primarios igualmente explotados en O Courel (al sur de la provincia de Lugo) o en Os Biocos (al sur de Quiroga).

Esa primera «prospección a la batea» de los placeres fluviales, el *aurum fluminum,* es lo primero que describe Plinio como requisito imprescindible que han de seguir los que buscan el oro (Plin., *HN,* XXXIII 67). El concentrado que se obtiene de esa forma en el fondo de la batea es el *segullum* o *segitilum,* que sirve de indicio para saber cuánto oro hay en el placer.

El resto de labores, de la 8 a la 32, corresponden a la explotación sistemática emprendida por los romanos a lo largo de la cuenca del río Cabrera, en ambas márgenes, aunque aquí solo figuren las de la margen derecha, ya que las de la izquierda quedan



Figura 15. Explotación romana de oro de El Barrero (n.º 13), que explotó un retazo de conglomerado terciario colgado sobre el valle del río Cabrera.

fuera de la delimitación propuesta. La gran mayoría de los trabajos explotaron las terrazas cuaternarias, esquilmándolas prácticamente por su riqueza en oro. Pero también se explotaron algunos retazos terciarios colgados a lo largo de la cuenca fluvial, como en El Barrero (labor 13, fig 15), en el actual pueblo de Santalavilla (labores 19 y 20) o en El Covallón del Miédalo (labor 29). En La Casarina (labor 31) hay tanto explotaciones sobre arrastres de ladera, como cortas a cielo abierto y trabajos subterráneos (Matias 2011).

Todas esas labores alineadas a lo largo del río Cabrera, de la 08 a la 32, al igual que las situadas sobre su margen izquierda, guardan una estrecha relación con el trazado de la red hidráulica meridional de Las Médulas, cuya progresiva construcción y mantenimiento ayudaría sin duda a su descubrimiento. De hecho, algunas de ellas se explotaron con esa misma red hidráulica, como resulta especialmente evidente en todas las que están colgadas a una cierta altura sobre el valle o explotan yacimientos primarios entre Santalavilla y Llamas de Cabrera.

2.2. LA PROSPECCIÓN EN LAS MÉDULAS: EL AURUM *TALUTIUM* O *TALUTATIUM* (tabla 2, figs. 16-21)

Las evidencias de labores de prospección que existen en el entorno próximo de los diversos sectores de explotación de Las Médulas han pasado hasta ahora

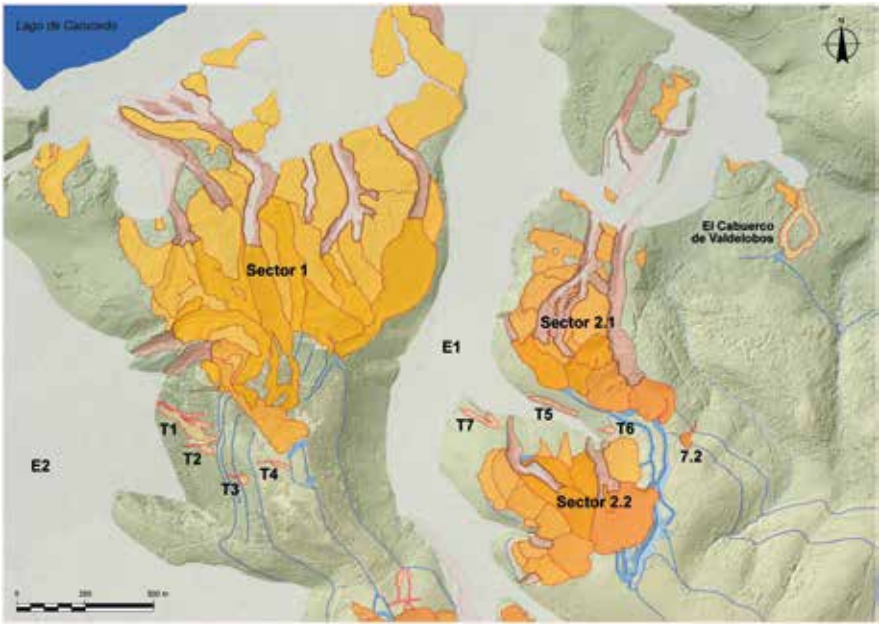
prácticamente desapercibidos, ni siquiera Domergue y sus colaboradores (Domergue y Hérail 1999; Bordes y Domergue 2007) hacen referencia a ellas en sus dos trabajos más detallados sobre Las Médulas.

Por un lado, esto significa que no se había tenido en cuenta la investigación sobre la metodología de prospección, pero también se debe, en buena medida, a que ni él ni otros autores han interpretado el pasaje del *aurum talutium* o *talutatium* de Plinio el Viejo (*HN,* XXXIII 67) en los términos en los que lo hemos hecho nosotros, es decir, como referencia a una segunda fase de prospección, después de la obtención del *aurum segullum* (Sánchez-Palencia *et al.* 2006, 271-274; Plácido y Sánchez-Palencia 2014, 23-27). De cualquier forma, resulta evidente que tanto aquí, como en otras zonas del noroeste peninsular estas labores se llevaron a cabo y dejaron sus huellas.

Vamos a resumir brevemente la mencionada interpretación del *aurum talutium* pliniano a la que nos acabamos de referir. El párrafo 67 del libro XXXIII de la *Naturalis Historia* es un inciso pertinente dentro del texto para explicar los métodos de prospección. Una vez aclarado que el oro que se puede recuperar de los placeres fluviales es el más puro ya en su estado natural, Plinio pasa a describir cómo se puede encontrar en aquellos sitios donde su presencia no resulta tan evidente. Es decir, después de haber explicado en el párrafo 66 que una de las formas en que se puede encontrar el oro es formando parte de los placeres fluviales, en las arenas y gravas que arrastran en sus cauces los ríos, que es propiamente el *aurum fluminum,* hace una clara diferenciación en el siguiente párrafo (67) para explicar lo que significa la obtención del *segullum* como indicio mediante un muestreo a la batea en los mismos cauces fluviales. La traducción que hacemos del término *indicium* como 'muestra' —en su acepción de señal, demostración o prueba de algo— pretende destacar ese significado de algo probatorio y que no es visible inmediatamente, que va más allá del simple *indicio* (la otra posible acepción) y que necesita ser examinado antes de establecer un dictamen aproximado al respecto. Refleja, por lo tanto, el carácter de búsqueda que posee en el texto. Plinio explica muy sucintamente en qué consiste: a) recoger y cargar una batea o artesa con el material aurífero adecuadamente seleccionado, puesto que dice que es solo arena, lo que implica la eliminación del material más grueso; b) obtener a partir de él un concentrado mediante su lavado, imprimiendo movimientos rotatorios y removiendo continuamente el contenido, de forma que el material más liviano sea expulsado de la batea y en su fondo solo quede el material más pesado, que incluye las partículas de oro; c) a partir de ese contenido en oro, obtener una idea aproximada de la riqueza aurífera de la muestra seleccionada.

De cualquier forma, el alcance del muestreo a la batea ha de interpretarse conjuntamente con el significado del oro «talutio», que le sigue en el texto pliniano, puesto que, como hemos indicado ya, la inclusión del párrafo 67 para explicar la prospección no es gratuita, sino que responde a una estructura ordenada y precisa en el discurso. Sin embargo, la traducción que se había hecho hasta ahora del oro «talutio» rompía en gran medida su adecuada comprensión. Tanto Forbes (1966, 111 y 229) como Healy (1978, 87) incluyen dentro del proceso de prospección romano el pasaje dedicado al oro «talutio», aunque no se extienden en explicar más en detalle su significado, limitándose a resaltar el aspecto casual referido por el propio Plinio o vinculándolo con la habilidad de los prospectores.

El *aurum talutium* es un segundo paso del proceso prospectivo, que implica ya la remoción de terrenos consolidados, no de placeres móviles, como ocurría en el muestreo a la batea o *segullum* antes mencionado. Los trabajos que documentan la búsqueda del *aurum talutium* en todo el cuadrante noroccidental son muy numerosos. Aparecen por doquier desde las labores en aluvión de la zona lusitana de Penamacor-Meimoa (Castelo Branco, Portugal), hasta las cortas sobre yacimientos primarios alterados del Puerto del Palo y del río del Oro (Allande, Asturias), pasando por los espectaculares desmontes sobre secundario de Las Miédolas de Las Omañas, por poner solo unos ejemplos. En todas ellos se aprecian trincheras y lavados superficiales, que han quedado aislados y desvinculados de la red hidráulica que hizo posible la ulterior explotación a gran escala



Figuras 16. Trincheras de prospección en los sectores 1 y 2 de Las Médulas.

del yacimiento aurífero. Obviamente, solo permanecen aquellos trabajos de prospección que no dieron resultados positivos (Domergue 1990, 396), como es especialmente evidente en varias zonas de la Valduerna (Domergue y Herail 1978, 253). Por ello, lo más coherente es interpretarlos como trabajos superficiales, que documentan el intenso trabajo de prospección romana antes del inicio de la explotación sistemática. Este tipo de sondeo realizado en la búsqueda del *aurum talutium,* confirmado o no en la *aurosa tellus* subyacente, permitiría, como un segundo paso tras el muestreo a la batea, ir delimitando las áreas donde la ley de oro era más interesante.

De acuerdo con lo dicho, el *aurum talutium,* con ese sentido de prospección, tendría especial relevancia en los yacimientos secundarios, como Las Médulas, donde se documenta ese tipo de lavado superficial casi siempre, salvo que el yacimiento sea de muy pequeñas dimensiones. Pero también debió de practicarse en los yacimientos primarios, en particular cuando se trataba de rocas alteradas, caso muy frecuente, y que por ello podían tener auténticas concentraciones en su superficie o en sus inmediaciones. Un ejemplo muy claro son las labores realizadas sobre los coluviones periglaciares, depósitos fluvio-glaciares, eluviones o arrastres de ladera de la Sierra del Teleno (León) (Pérez García 1977, 176-178; Pérez García y Sánchez-Palencia 1985, fig. 7) o los menos extensos y de características parecidas existentes en las cabeceras de los arroyos de la margen izquierda del río Cabrera (León) (ITGME, MME, Ponferrada 1993, indicios 161, 172-3, 189, 191, 200 y 207). En algunos casos, puede resultar difícil discernir si se trata de labores de prospección o son pequeñas labores justificables por sus leyes relativamente elevadas.

En la tabla 2 se detallan las diversas trincheras de prospección que se llevaron a cabo en Las Médulas, identificando los sectores de explotación donde se hallan, así como su posible vinculación con una determinada red hidráulica. Obviamente, en muchos casos no se puede precisar cuáles han sido los depósitos o los canales de abastecimiento, bien porque, al tratarse de trabajos previos a la explotación, cuando esta se produjo hizo que desapareciesen, bien porque, aunque se puede suponer de qué red hidráulica concreta dependen, no es posible establecer una conexión directa con ella.

Las trincheras más antiguas se localizan en la zona inmediatamente al sur del sector 1 (fig. 16), en

Sector	Trinchera	Área (m2)	Abastecimiento*		Observaciones
			Depósito	Canal	
1	T1	10 478	–	C3a	Prospección de reconocimiento en la zona de El Soutín entre el sector 1 y el 3.1
	T2	1675			
	T3	1183		C4	
	T4	1052		C7d	
2	T5	2942	–	C5	Prospección para delimitar el yacimiento en los sectores 2.1 y 2.2
	T6	876		C5	
	T7	3187	D10	C5	
3	T8	3386	D6	C7	Primeras labores en 3.1
	T9	266	–	–	Prospección en las laderas al este del sector 3.5 y en los primeros trabajos en el sector 3.11
	T10a,b,c	294	D20	C20a,c	
	T11	917	–	C20i	
	T12	176			
	T13	102			
	T14	1199			
	T15	1472			
	T16a,b	2215			
	T17a	4640	–	–	Prospecciones en las laderas al norte del sector 3.11, en fases avanzadas de su explotación
	T17b	1107			
	T17c	17 632			
	T18	920			
	T19	4344		C31a	
	T20a	13 698		–	
	T20b	10 229			
	T21a	476	–	C22 C24	Prospección entre los sectores 3.8 y 3.9
	T21b	5016			
	T21c	639		C24	
	T22	3194	–	C22,C24	Prospección en el sector 3.9
	T23	7938	–	C19	Prospecciones hacia el final de explotación de los sectores 3.10 y 3.11
	T24	753			
	T25	718			
	T26	4238	–	C31a	
	T27	3008	–	C31c	Prospección en el sector 3.10

* En muchos casos no es posible determinar la red hidráulica de abastecimiento de la trinchera de prospección por tratarse de un trabajo muy aislado en el terreno a causa de las labores posteriores.

Tabla 2. Trincheras de prospección en la mina de oro de Las Médulas.





Figuras 17 y 18. Trincheras de prospección T1, en el sector 1, y T7, en el sector 2.2.

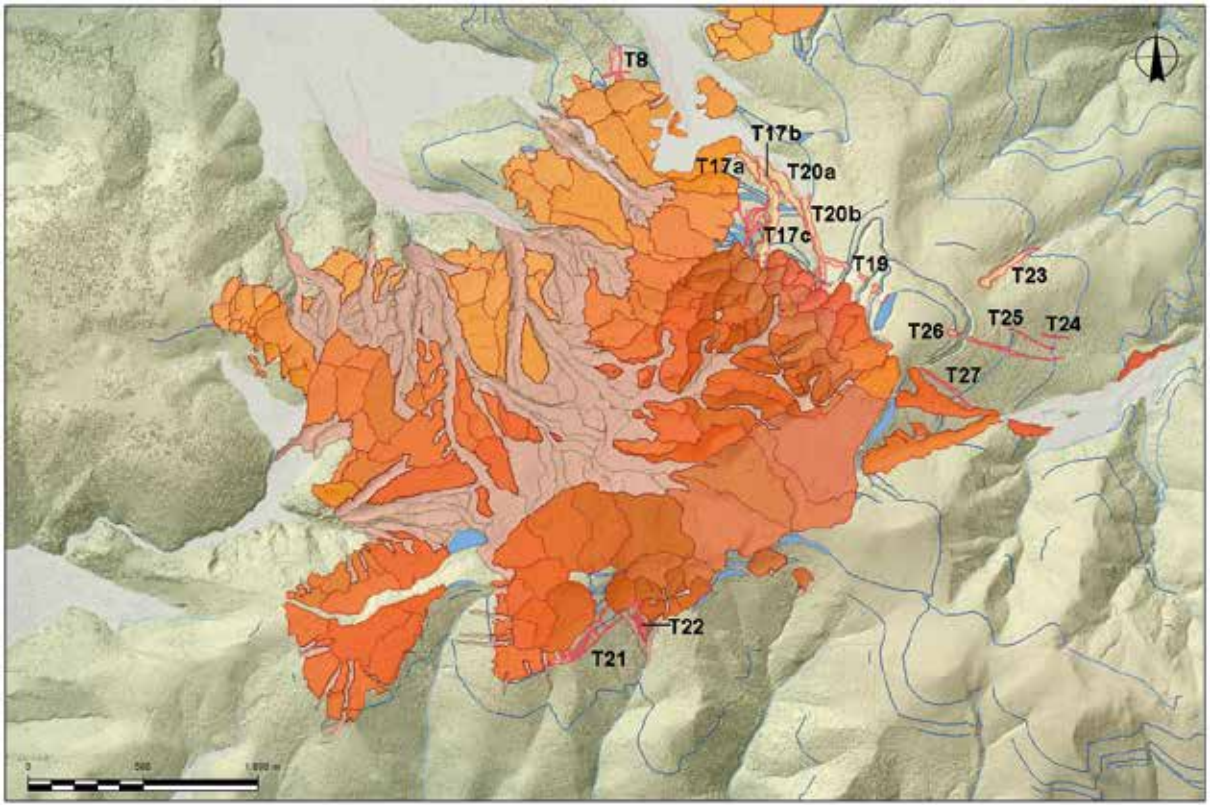


Figura 19. Trincheras de prospección en el sector 3 de Las Médulas.

la ladera occidental de El Soutín, la que da a Chaos de Maseiros. Estas cuatro primeras trincheras, T1 (fig. 17) a T4, se realizaron con casi total seguridad para determinar la existencia o no de oro por ese lado del conglomerado aurífero, de modo que al poner al descubierto el recubrimiento de ladera y alcanzar la roca, sirvieron para ver que por allí no seguía el yacimiento. Más hacia el sur, en el borde ya del sector 3.1 y en la vertiente opuesta de El Soutín, la oriental, aparecen las trincheras T8, que hay que asociar con el *redescubrimiento* del yacimiento y las primeras labores llevadas a cabo en ese gran sector 3 (fig. 19).

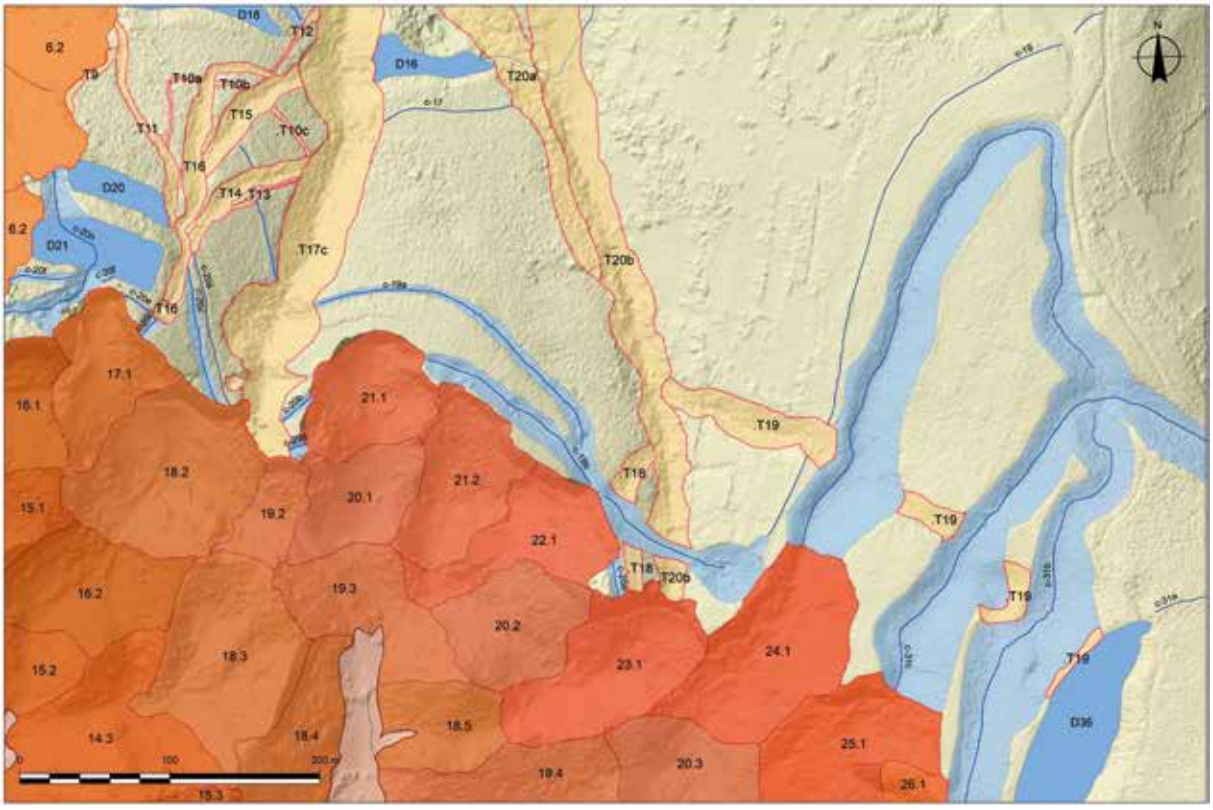


Figura 20. Trincheras de prospección entre los sectores 3.5 y 3.11 de Las Médulas, al este de Pico Gallegos.

En el sector 2 (fig. 16), solo se conservan las trincheras de prospección realizadas para definir la extensión del yacimiento aurífero hacia el pequeño valle que divide ambas zonas, las trincheras T5 y T6 en el sector 2.1 y la T7 (fig. 18) en el sector 2.2. Cabría plantearse hasta qué punto la labor 7.2 del sector 2.1 es realmente un trabajo de explotación o una simple labor de prospección.

En el sector 3 (fig. 19), si exceptuamos las trincheras de T8, realizadas para volver a definir la extensión del conglomerado aurífero en la zona de El Soutín, las labores de prospección tienen unos objetivos claros. Por un lado, diferenciar las zonas donde aparecen los conglomerados auríferos de las formaciones auríferas, en especial los más ricos de la Formación Santalla, de los terrenos donde o bien aparece el zócalo paleozoico o bien la Formación Orellán, ambos estériles. Por otra parte, permitieron poner de relieve también cuál podía ser la potencia de los recubrimientos más estériles de la Formación Las Médulas.

En las inmediaciones, por el este del Pico Gallegos (figs. 19, 20 y 21), las numerosas trincheras de prospección, T9 a T16, indican una labor de investigación para determinar el creciente espesor de los conglomerados auríferos y sus correspondientes leyes. Las grandes trincheras de prospección realizadas al norte del sector 3.11, de la T17, con sus tres trazados, a, b y c, hasta la T20, que también posee dos trazados, a y b, debieron de jugar un papel importante para definir la extensión de las labores por ese lado y descartar el avance en ese sentido. Solo en un caso, el de la trinchera de prospección T19, se puede establecer una conexión clara con la red hidráulica de abastecimiento, ya que por la posición que ocupa, solo puede estar relacionada con el abastecimiento de agua a través del canal C31a. No obstante, no guarda relación con el depósito abastecido por dicho canal, el D36, que corta

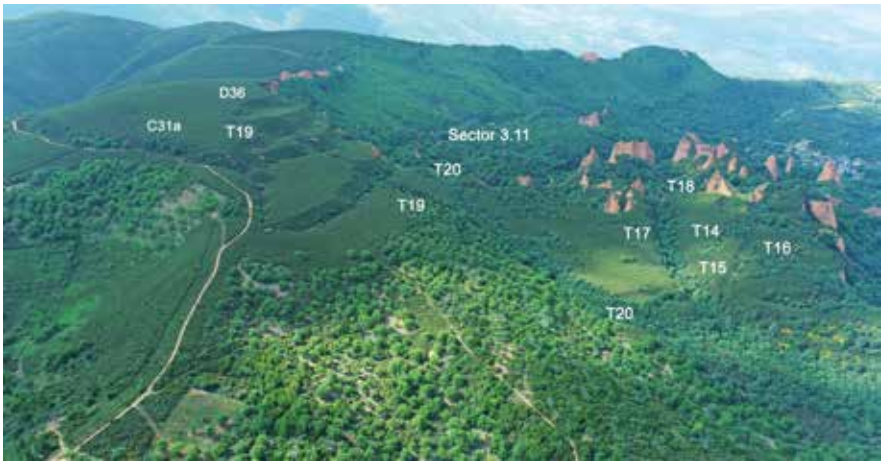


Figura 21. Principales trincheras de prospección entre los sectores 3.5 y 3.11 de Las Médulas, entre Pico Gallegos y los Jardines del R.

de forma muy clara su cabecera. Eso quiere decir que, en una fase anterior, el canal C31a finalizaría en otro depósito que permitiese hacer la trinchera T19.

Las trincheras T21a, b y c forman una intrincada red entre los sectores 3.8 y 3.9, en la vertiente que da ya al río Cabrera. Su superficialidad indica que esos someros lavados del terreno fueron suficientes para descartar la explotación en esa zona concreta. Algo parecido podría decirse de similares trabajos de prospección practicados ya en el sector 3.9, en el conjunto de pequeñas trincheras de T22.

Los trabajos de prospección desde T23 hasta T26 fueron hechos seguramente para definir por ese lado la potencia que podía tener la formación Las Médulas y hasta qué punto podría alcanzarse la Formación Santalla antes de llegar a la Formación Orellán. El hecho de que hayan llegado hasta nosotros reconocibles es prueba de que, o bien se consideraron prospecciones negativas, o bien se hicieron ya en un momento muy próximo al fin de los trabajos mineros en Las Médulas.

En fin, la trinchera T27 hay que relacionarla también con los trabajos llevados a cabo, en los últimos momentos de la mina, en el sector 3.10, y su intención sería muy parecida a las de las trincheras vecinas que acabamos de mencionar.

3 *El desarrollo de la minería en Las Médulas: los sectores de explotación*

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

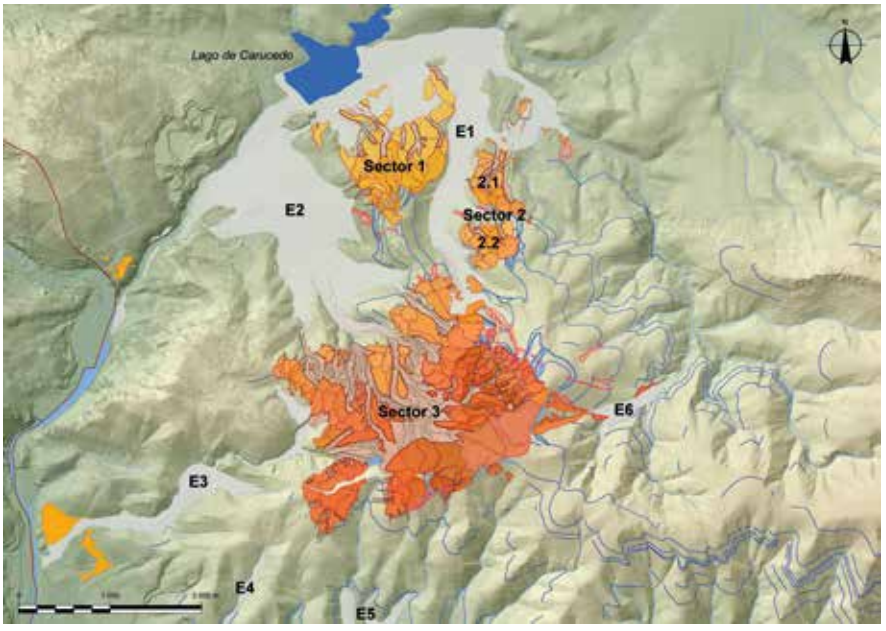


Figura 22. Los sectores de explotación de Las Médulas, con indicación de las seis grandes acumulaciones de estériles: E1 a E6.

Los desmontes o cortas de la mina donde se extrajo el conglomerado aurífero se dividen en tres grandes sectores que, en el orden de su puesta en explotación, son los siguientes (figs. 22 y 23):

- Sector 1: Agrupa las labores situadas más al norte de todas las existentes. Incluye un amplio terreno de forma triangular situado inmediatamente al sur del pueblo de Carucedo y comprende varios parajes: Las Valiñas hacia el centro-norte, La Barranca por el este, la Zapateira por el oeste y Las Barreiras y La Rebolar por el sur. Salvo el de Zapateira y La Rebolar (de rebollo, es decir, encina o chaparro), el resto de los topónimos hacen clara referencia a la topografía dejada por las labores antiguas.
- Sector 2: Se encuentra inmediatamente al sureste del sector 1, entre las carreteras que desde Carucedo se dirigen al pueblo de Las Médulas por el oeste y al de Orellán por el este. Se divide en dos zonas: el sector 2.1,

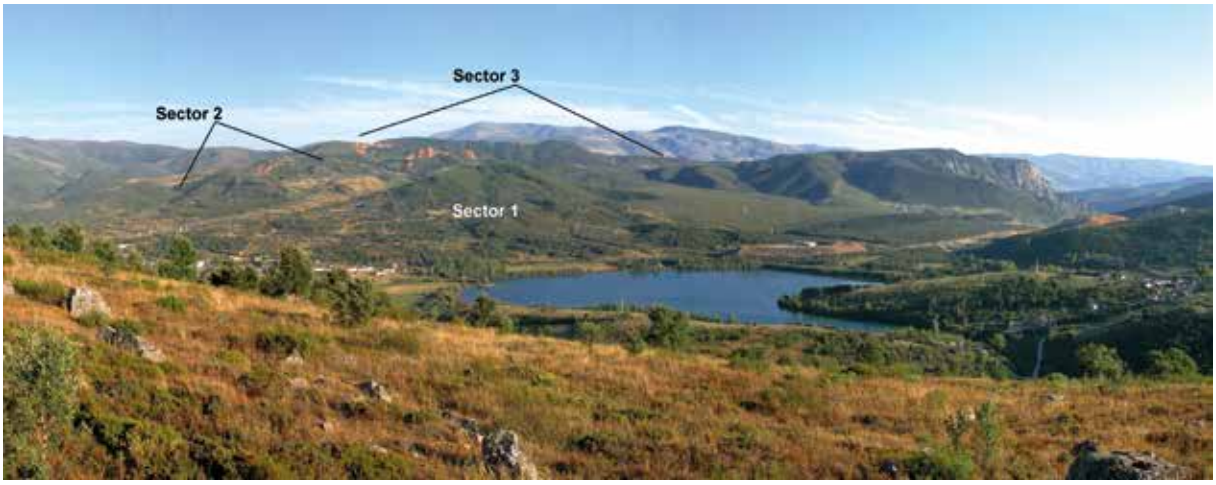


Figura 23. Los sectores de explotación de Las Médulas, panorámica desde el norte, desde el Monte das Penas (comienzos de la década de 1990).

cuyo desmonte principal es conocido con el nombre de Valialonga y es el ubicado más al norte, y el sector 2.2, llamado La Frisga, que se sitúa inmediatamente más al sur. Ambos topónimos se ajustan a la topografía del terreno: el primero hace referencia al aspecto de pequeño valle alargado que ha dejado la explotación; el segundo es muy peculiar, puesto que como *frisga* se conoce un instrumento alargado y terminado en varios pinchos que se utilizaba para pescar (García Rey 1976, *s. v.*), es decir, que los surcos dejados por la explotación selectiva en este sector se han identificado como hechos por ese instrumento tradicional o bien como parecidos a él en su forma.

– Sector 3: Es la zona principal y más extensa de la explotación. Se puede dividir en varios subsectores: los sectores 3.1 a 3.6, 3.10 y 3.11 evacuaban los estériles en dirección al río Sil, el sector 3.9 lo hacía hacia el río Cabrera, mientras que los sectores 3.7 y 3.8 evacuaban el estéril hacia ambos (se detallan todos estos aspectos en el apartado 3.2). La zona más espectacular de las labores es la del sector 3.11, donde se superaron los 100 m de profundidad en los trabajos a cielo abierto y fue explotada esencialmente por el procedimiento de la *ruina montium* descrito por Plinio el Viejo. La toponimia de este sector es muy numerosa y variada, haciendo referencia a la topografía artificial causada por la mina, de modo que en su conjunto la zona más profunda se conoce por algunos habitantes de la zona, no todos, como Las Valiñas, pero también existen topónimos que se refieren al uso dado con posterioridad a sus suelos, como Prado Barroso, o a las plantas que lo cubren, caso de El Souto.

La explotación en época romana de estos tres sectores no fue independiente, sino que se solapó a lo largo del tiempo. No obstante, es evidente que la dirección general fue remontante, o de valle a monte, desde las zonas más bajas hasta las más altas, de modo que ninguna zona quedase aislada del abastecimiento de agua.

Una vez aclarada esta cuestión nominal, a continuación, se hará una descripción detallada de los diversos sectores de explotación de las Médulas, divididos cuando es necesario en subsectores —caso del sector 3, por su enorme extensión— y especificando las características generales que poseen en todos los aspectos de su explotación y el desarrollo de la misma:

– La numeración por fases y subfases de explotación es correlativa y sigue, en general,



Figura 24. Panorámica del sector 1, cubierto por una espesa vegetación, desde el noreste.

el avance de las labores mineras, aunque pueden producirse solapamientos puntuales.

- Se ha cuantificado una por una la extensión de todas las labores en metros cuadrados, convertidos también en hectáreas en la suma total por cada fase.
- Se han identificado, siempre que ha sido posible, las redes hidráulicas concretas vinculadas a cada fase o subfase de explotación, aunque hay que advertir que en algunos casos esto no ha sido posible a causa de su destrucción por el avance de la propia explotación romana, extremo este que se indica en las observaciones.
- En último término se señala el canal de evacuación mediante el cual fueron sacados los estériles de la mina. La numeración de los canales de evacuación también es correlativa, según el avance de las labores, con la salvedad también de solapamientos normales, teniendo en cuanta que podría trabajarse en varios sectores de explotación a la vez.

3.1. LAS PRIMERAS LABORES: LOS SECTORES 1 Y 2

3.1.1. Sector 1 (tabla 3, figs. 24-26)

El sector 1 fue sin duda el primero que se empezó a explotar. Por eso mismo, es el que más alteraciones sufrió a causa de las labores posteriores en toda la zona minera de Las Médulas.

Los primeros trabajos deben de estar totalmente ocultos bajo los estériles del mismo sector 1 y de los sectores 2 y 3, que a su vez quedaron cubiertos en gran medida, tanto por las aguas del lago como por el caserío de Carucedo.

Hérail y Domergue (Hérail 1984, 172-177 y fig. 48; Domergue y Hérail 1999, 98 y fig. 2) consideran que en estos primeros momentos se pudieron explotar algunos retazos de terrazas cuaternarias existentes en las zonas más bajas, pero la gran mayoría del conglomerado correspondería ya a los depósitos del Mioceno, fundamentalmente a la Formación Santalla. La Formación Orellán aflora con mucha claridad en el sector más occidental, aunque también se puede apreciar a lo largo de todo el sector, en zonas que fueron trabajadas en época romana y dejaron aflorando esa formación (Hérail 1984, 172-177 y fig. 48; Pérez y Sánchez-Palencia 1992, 868-869 y fig. 3.); solo fue excavada en época romana para hacer canales de evacuación, como es el caso de Ev6 y Ev10.

Pueden diferenciarse un total de seis fases de explotación en este sector 1. La primera fase de explotación de la que se conserva algo, la fase 1.ª, apenas puede reconocerse en la corta existente en el extremo noroeste del sector y en algunos retazos de explotación aislados en las inmediaciones del pueblo de Carucedo, cubiertos en su mayoría por vegetación. El único resto de la red hidráulica de este momento

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
1	1	1a	5260	Solo se conserva D1	C1 (C2)	No se conservan. Tapados por estériles posteriores	Cubiertas parcialmente por estériles posteriores
		1b	22 741				
		2	5322				
		3	10 813				
		4	19 931				
		5	41 187				
		6	24 236				
		7a	7754				
		7b	11 164				
Subtotal			148 408				14’84 ha
1	2	1a	25 171	No se conserva ningún depósito de esta fase	(C2) (C3a) (C3b) (C3c)	Tapados por estériles	Todas las labores de esta fase fueron muy alteradas por labores mineras posteriores
		1b	1242				
		2	39 921			Ev3	
		3	12 822				
		4	2540			Eliminados por labores postr.	
		5	958				
		6	17 212			Tapados por estériles	
		7	30 307				
		8	43 336				
		9	38 742				
		10	34 789			Ev2	
		11	4814				
		12	3879			Eliminados por labores posteriores	
		13a	8379				
		13b	10 223				
		13c	2603				
Subtotal			276 938				27’69 ha
1	3	1	23 276	No se conservan		Ev5	Parcialmente alteradas por labores mineras posteriores
		2	16 938	(D3)	(C4) (C5)	Ev9	
		3	26 927			Ev4 (Ev9)	
		4	21 473			Ev2	
		5	11 679			Ev8	
Subtotal			100 293				10’03 ha
1	4	1	3738	No se conserva	No se conserva	(Ev6)	
		2	3840			Ev10	
		3	30 252			Ev5 Ev9	
		4	32 715	(D3)	(C4) (C5)	Ev9	
		5	17 693			Ev2	
		6	35 429	No se conservan		Ev6	
Subtotal			123 667				12’37 ha

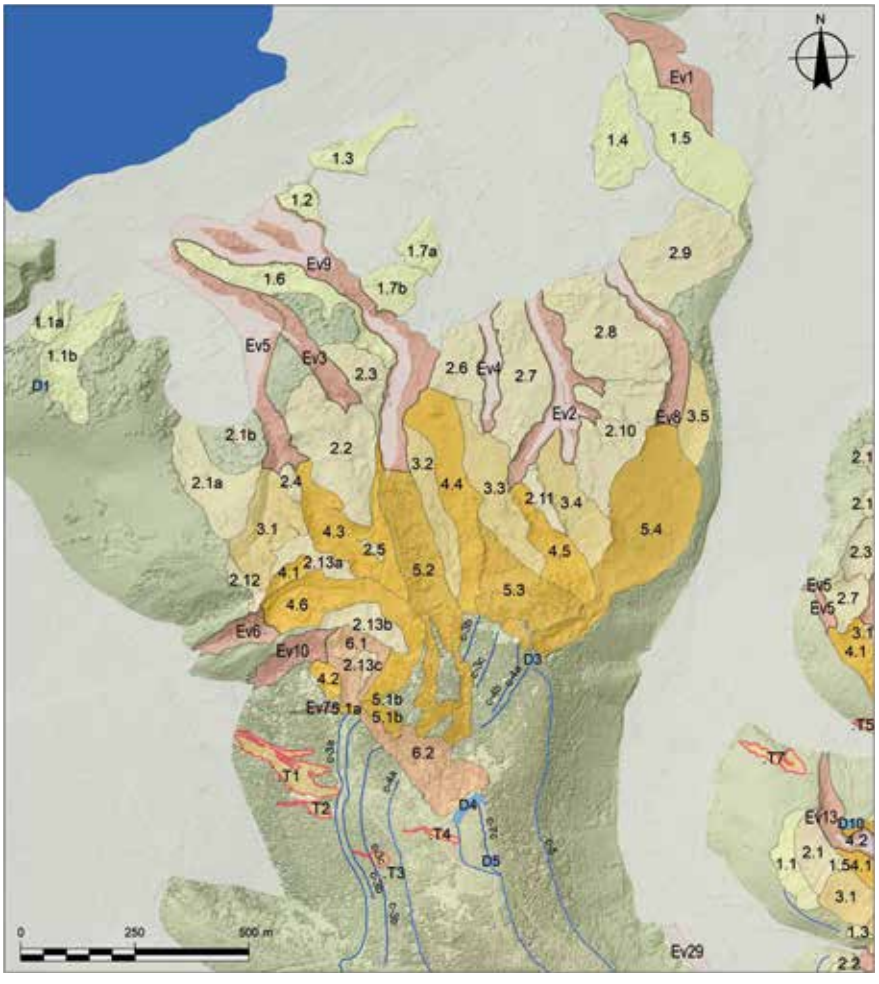
Cont.

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
1	5	1a	688	(D4)	(C7a-d)	Ev7	
		1b	4026			(Ev7)	
		2	49 749	(D4)	(C7a-d)	Ev9	
		3	29 690	D3	C4 C5	(Ev9)	
		4	65 030			Ev8	
Subtotal			149 183				14'92 ha
1	6	1	8299	D4	C7a-d	Ev10	
		2	29 602				
Subtotal			37 801				3'78 ha
Total	1-6	37	836 290				83'63 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 3. Labores mineras dentro del sector 1 de Las Médulas.

Figura 25. Detalle de las labores en el Sector 1 de Las Médulas.



es el formado por el canal C1 y el depósito D1, en el extremo más al noreste de las labores, en el lugar de La Zapateira. Por supuesto, no quedan indicios de los canales de evacuación; solo podemos decir que esta se produjo hacia el norte, vertiendo hacia el valle ocupado en la actualidad por el lago.

La segunda fase de explotación aún presenta unas labores muy afectadas por los trabajos posteriores, de forma que no podemos relacionar ningún depósito de agua con ella y solo podemos suponer que fue abastecida por los canales C2, procedente del este, y C3a, C3b y C3c, procedentes del oeste.

Al igual que en la primera, el sistema de explotación aplicado en esta segunda fase fue el de surcos convergentes que explotaron selectivamente los retazos de terrazas del Cuaternario que pudieran existir y los niveles de la Formación Santalla. Todavía se pueden distinguir algunos surcos en los sectores 2.2, 2.6, 2.7, 2.8 y, sobre todo en 2.10, aunque el avance del monte bajo en estas zonas antiguamente cultivadas hace cada vez más imposible su reconocimiento.

La fase 3.ª significó un cierto cambio cuantitativo, al llevarse a cabo sobre unos conglomerados de mayor espesor, hasta de 10 m o poco más (figs. 24 y 26). El trabajo se hizo entonces por el sistema de zanjas-canales, es decir mediante grandes y profundos surcos en el terreno. Tampoco en esta fase se da una conexión directa, física, entre las estructuras de explotación y la red hidráulica, aunque hemos de suponer que, al menos los sectores 3.2 a 3.5 se hicieron ya desde el depósito D3 y con el abastecimiento de los canales C4, desde el oeste, y C5, desde el este. Sí existe ya una relación directa de todas las labores con sus correspondientes canales de evacuación, Ev5, Ev9, Ev4, Ev2 y Ev6, de oeste a este.

Las fases 4.ª a 6.ª presentan un tipo de labor minera muy semejante al de la fase 3.ª, realizándose zanjas-canales individuales, que van remontando en la explotación del conglomerado. Sigue utilizándose el depósito D3 y los canales C4 y C5 durante las fases 4.ª y 5.ª. Desde la fase 5.ª entraría en funcionamiento ya el depósito D4, abastecido por la serie de canales C7a a C7d que surcan la parte cimera de El Soutin, y que sería el único en funcionamiento para la fase 6.ª. El depósito D5, que actúa de simple regulador en los últimos momentos, podría haber entrado en funcionamiento antes que el D4, pero es algo que no podemos contrastar. En el trazado inmediato al sector 3.1 del canal C7 y de sus ramales C7a y C7b se documentan los primeros valgones de Las Médulas. Se trata de canalizaciones ensanchadas y profundizadas destinadas a salvar fuertes desniveles (ver al respecto el apartado 4.3.3).

Los últimos trabajos de las fases 5.ª y 6.ª pudieron ser contemporáneos, ya que la zanja-canal del sector 6.2 solo habría cortado el canal C4 y, por lo tanto, C5 podría seguir abasteciendo el trabajo en 5.3 y 5.4 a través del depósito D3. En estas tres últimas fases, 4.ª, 5.ª y 6.ª, se conservan todos los canales de evacuación del material estéril, que sigue vertiéndose esencialmente en dirección al actual lago de Carucedo (E1) y, en menor medida, en dirección a la gran cola de lavado o cono de deyección de estériles de Chaos de Maseiros (E2).

3.1.2. Sector 2 (tablas 4 y 5)

Al contrario que el 1, las labores del sector 2 se halla en una zona que apenas ha experimentado grandes transformaciones desde época antigua y que incluso salió prácticamente intacta de los trabajos llevados a cabo en época romana con posterioridad a los realizados en ella. Solo parte de sus estériles fueron recubiertos parcialmente, en la cola de lavado de la Brea (E1), por los que vinieron luego desde el sector 3.

El sector 2 afectó a materiales de la Formación Santalla (Pérez y Sánchez-Palencia 1992, 868-869 y fig. 3). Como en el sector 1, Domergue y Hérail (1999, 98 y fig. 2) consideran que, en las zonas más bajas, sobre la margen izquierda del arroyo de Isorga entre El Cabuerco de Valdelobos y Villaspartidas, también se explotaron retazos de terrazas cuaternarias. La Formación Orellán solo aparece en los bordes del sector 2.2, La Frisga, y solo se excavó para evacuar el estéril.

El primer sector explotado fue el sector 2.1 (figs. 27 y 28 y tabla 4), que afecta sobre todo al lugar conocido como Valialonga, que fue donde los trabajos alcanzaron mayor desarrollo. Las primeras labores,



Figura 26. Panorámica desde el noreste de la parte oriental del sector 1. En primer término, las labores 3.5 y 5.4.



Figura 27. Panorámica desde el norte de la parte más importante del sector 2.1, entre las carreteras a Orellán, izquierda, y a Las Médulas, derecha, y el Camino Real, abajo. Se señalan las salidas de los canales de evacuación Ev8 y Ev9.

la fase 1.ª, está compuesta por pequeños retazos de explotaciones que en su mayoría han sido cubiertas por los estériles posteriores o incluso eliminadas parcialmente por los canales de evacuación. Es muy posible que el canal C2 fuese el principal abastecedor de agua de esta fase. No obstante, es posible que los más de 100 m que separan a estas primeras labores del canal C5 pudiesen salvarse mediante valgones, como reiteradamente se hizo en varias zonas de Las Médulas.

Las labores de la fase 2.ª se llevaron a cabo explotando de forma selectiva, mediante series de surcos convergentes, los niveles más ricos de la Formación Santalla en una zona donde el recubrimiento de materiales que podían ser más estériles era escaso. La potencia máxima removida pudo ser de 8 a 10 m, pero en la mayor parte apenas alcanzó los 5 o 6 m. En los bordes de las zonas explotadas quedaron las características murias o amontonamientos ordenados de cantos rodados más gruesos que no podían pasar por el canal de lavado o «agoga» (Plin., *HN,* XXXIII 76), que estaría situada inmediatamente a continuación. Las labores y canales de evacuación posteriores han desmantelado buena parte de esta fase y, por supuesto, han borrado cualquier huella de la red hidráulica de abastecimiento, alimentada con seguridad por valgones, ya que, entre el punto más alto de esta fase, en 2.6, de 650 m, y el depósito más bajo, D7, que pudo estar alimentado por C5, hay más de 30 m de desnivel en una corta distancia.

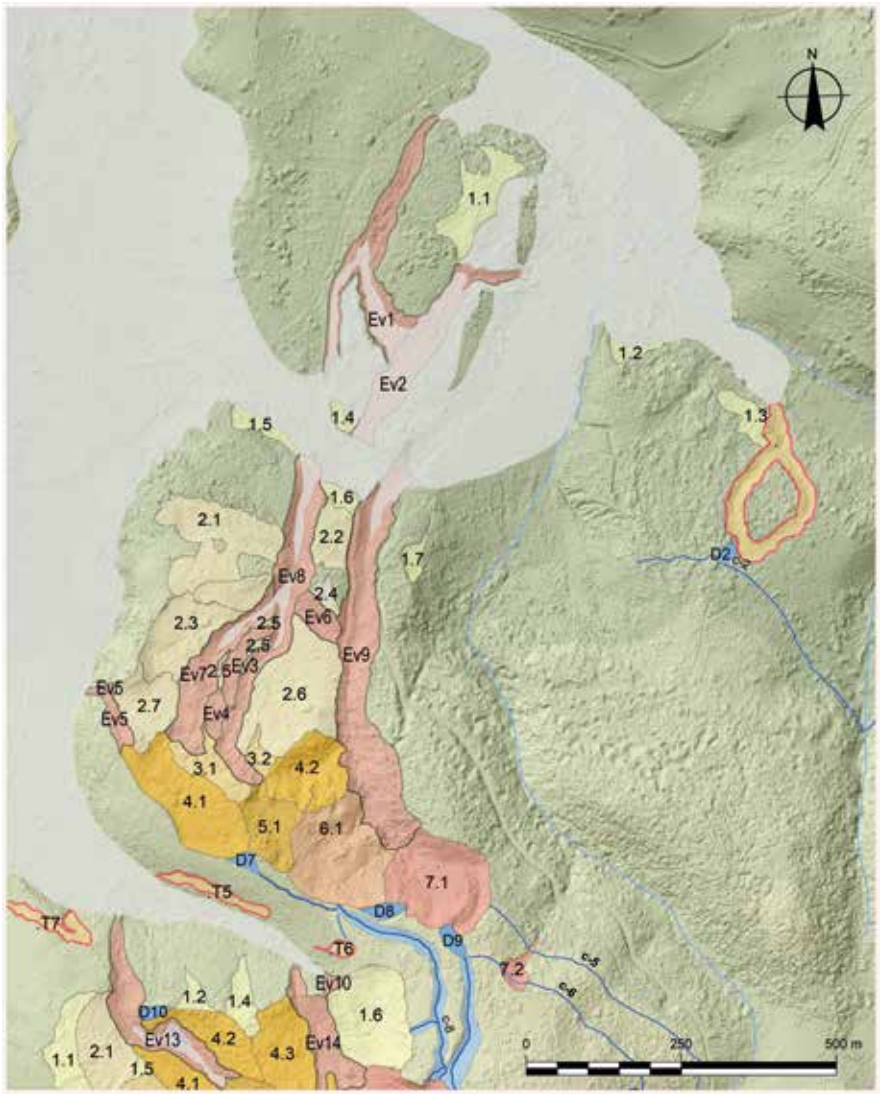


Figura 28. Labores en el Sector 2.1, Valialonga, de Las Médulas.

A partir de la fase 3.ª, el sistema de explotación cambia, ya que la potencia del conglomerado aumenta considerablemente hasta alcanzar aproximadamente 30 m. Se utilizan entonces los sistemas de explotación extensivos, mediante zanjas-canales individuales, que se van entrecortando entre sí según avanzan las fases de explotación, 3.ª por 4.ª, 4.ª por 5.ª, 5.ª por 6.ª y, finalmente, la fase 6.ª es cortada por la fase 7.ª. Todo ello es explotado desde el abastecimiento que aportan sucesivamente los canales C5, C6 y C8 (con sus diversas ramificaciones) y desde los depósitos D7, D8 y D9. También se van sucediendo


Figura 29. Panorámica desde el noroeste del Sector 2.2 de Las Médulas.

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
2.1	1	1	10 162	Abastecidos parcialmente por C2, actuando D2 como depósito de distribución. Luego por C5 y C6		(Ev1, Ev2, tapados por estériles Posteriores)	Se conserva muy poco de esta fase, destruida por labores posteriores y tapada por estériles
		2	1784				
		3	3640				
		4	1472				
		5	2647				
		6	1866				
		7	1808				
Subtotal			23 379				2,34 ha
2.1	2	1	11 075	No se conserva la red hidráulica, que tuvo que ser abastecida por los canales C5 y C6		–	Todas las labores de esta fase fueron alteradas por trabajos posteriores
		2	5577				
		3	17 355			(Ev5, Ev8)	
		4	1418				
		5	1429			Ev7, Ev8	
		6	23 169			(Ev3) Ev8	
		7	9108			Ev5	
Subtotal			69 131				6,91 ha
2.1	3	1	5601	(D7)	(C5, C6, C8a)	Ev7	Aisladas, muy alteradas
		2	1897				
Subtotal			7498				0,75 ha
2.1	4	1	19 268	D7	(C5, C6) C8a (C8b)	Ev5, Ev7	
		2	12 282	(D7)			
Subtotal			31 550				3,15 ha
2.1	5	1	8779	(D8)	(C5, C6, C8e)	(Ev4) Ev8	
Subtotal			8779				0,88 ha
2.1	6	1	22 083	D8	(C6)	(Ev6) Ev9	Corte de C5
Subtotal			22 083				2,21 ha
2.1	7	1	20 699	D9	C6, C8e	(Ev6) Ev9	Corte de C6
		2	2056		C6	–	
Subtotal			22 755				2,28 ha
Total	1-7	23	185 175				18,52 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 4. Labores mineras dentro del sector 2.1 de Las Médulas.

los canales de evacuación, que muchas veces se entrecortan también entre sí, desde Ev4 hasta Ev9. Los estériles procedentes de este sector se fueron acumulando siempre en dirección norte (E1), bien hacia el arroyo de Isorga, bien, más hacia el nornoroeste, en la cola de lavado de La Brea.

El sector 2.2, conocido como La Frisga (figs. 29 y 30 y tabla 5), tiene un interés especial por ser una de las mejores zonas, no solo de Las Médulas, sino de todo el noroeste peninsular, para estudiar el sistema de explotación selectivo mediante series de surcos convergentes. Aunque la vegetación está

Sector	Fase	Sub fase	Área (m²)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
2.2	1	1	10 341	(D10, D11)	(C5, C6, C8)	–	Muy alterados, salvo 1.6, por labores posteriores
		2	1929				
		3	1260				
		4	4016				
		5	628				
		6	17 765			Ev10	
		7	2609			–	
Subtotal			38 548				3,85 ha
2.2	2	1	11 075	(D11)	(C8)	Ev13	Alterados por labores posteriores
		2	4506			Ev12	
Subtotal			15 581				1,56 ha
2.2	3	1	11 507	(D11)	(C8)	Sin canal de evacuación	
		2	11 637			Ev12	Canal emisario
		3	11 281			Ev11	
Subtotal			34 425				3,44 ha
2.2	4	1	7857	(D11)	(C8)	Ev13	Un poco alteradas por labores postr.
		2	8732				
		3	12 832			Ev14	
		4	1808				
Subtotal			31 229				3,12 ha
2.2	5	1	17 723	(D11)	(C8)	Ev13	Cortada por 7.1
Subtotal			17 723				1,77 ha
2.2	6	1	19 099	(D11)	(C8)	Ev12	Cortada por 6.1 y 7.1
Subtotal			19 099				1,91 ha
2.2	7	1	47 045	D11	C8f-C8l	Ev14	
Subtotal			47 045				4,70 ha
Total	1-7	19	203 650				20,36 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa.

Tabla 5. Labores mineras dentro del sector 2.2 de Las Médulas.

cubriendo la zona a pasos agigantados, aún se diferencian con claridad sobre el terreno las huellas características de ese sistema de explotación, que son especialmente evidentes entre las fases 1.ª y 5.ª, a excepción de 1.6.

En toda la zona, el material tratado corresponde a los niveles más ricos en oro de la Formación Santalla. La potencia del conglomerado removido en las fases 1.ª a 5.ª es de 5 a 8 m, lo que hizo posible una explotación realmente selectiva, que prácticamente removió todo el material, dejando *in situ* solamente los cantos rodados gruesos que no podían pasar por el canal de lavado so pena de destruirlo u obstruirlo.

Especialmente interesantes para estudiar este sistema de explotación son las labores 3.1 y 3.2

Figura 30. Labores del Sector 2.2, La Frisga, de Las Médulas.

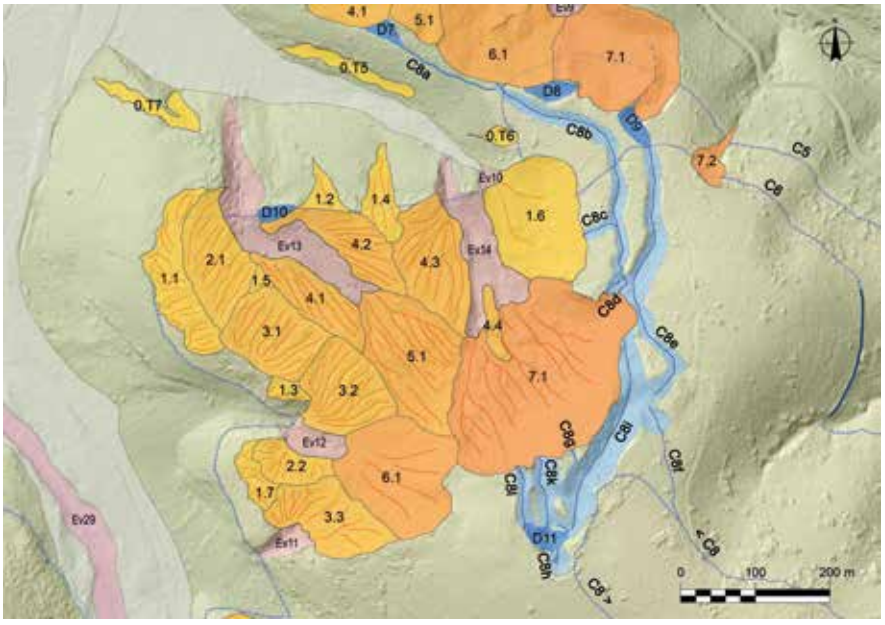




Figura 31. Panorámica de detalle desde el oeste de las labores 3.1, a la izquierda, y 3.2, a la derecha, del Sector 2.2 de Las Médulas.



Figura 32. Panorámica de detalle desde el norte de las últimas labores explotadas, 6.1 y 7.1, dentro del Sector 2.2 de Las Médulas.

(figs. 30 y 31). La primera de ellas porque, aparentemente, los surcos convergentes finalizan en una pequeña depresión sin salida hacia un canal de lavado y, por lo tanto, sin que se pudiese evacuar el material estéril fuera de la labor, aunque lo evidente es que dentro de ella solo han quedado los estériles gruesos ordenados en las típicas murias. Esto llevó a pensar a Luis Carlos Pérez (Pérez García 2001, 55) que en algunos casos el concentrado aurífero se habría realizado en los propios surcos convergentes, produciéndose un concentrado en sus fondos que habría sido extraído y transportado de forma manual o a lomos de animales hasta las zonas de lavado. De cualquier forma, es la única serie de surcos convergentes que nosotros conozcamos donde tal cosa sucede, es decir, que se trataría, si la interpretación es correcta, de una excepción.

La segunda serie de surcos convergentes señalada, la 3.2, es interesante por dos motivos: en primer lugar, porque se trata de una de las series de surcos convergentes mejor conservada, con todos sus elementos perfectamente diferenciados, en segundo lugar, porque en su cabecera noreste y noroeste se conserva un canal de explotación o emisario en buen estado, que fue objeto de una intervención durante las campañas del proyecto ZAM en los primeros años

de la década de 1990 y que ha vuelto a ser objeto de una intervención en 2022 (ver apartado 6.2.10). Aunque existe otro ejemplo bastante peor conservado en el Tiseiro Largo, en el sector 3.7 (ver también apartado 6.2.11), es algo muy poco frecuente, dado que se trata de una estructura que queda totalmente fuera de uso una vez explotado el correspondiente sector. Para su explicación en detalle, ver el apartado 4.4.

Dentro de este mismo sector 2.2 de La Frisga, las labores explotadas en 1.6 (una excepción dentro de estos primeros trabajos) y, sobre todo, en 6.1 y 7.1 (figs. 30 y 32) difieren de las del resto del sector. La notable potencia del material removido en ellas, que llega a sobrepasar los 50 m, hizo que se explotasen mediante un procedimiento intermedio entre las zanjas-canales y los surcos convergentes, aunque más cercano al de las primeras.

Si exceptuamos la posible intervención del depósito D10, abastecido desde el canal C5, en las labores del sector más occidental de la fase 1.ª, toda la explotación de este sector 2.2 se hizo desde la compleja red de abastecimiento del canal C8, que cuenta en esta zona con varias ramificaciones, casi todas ellas hechas como canales ensanchados o valgones. Aunque, por la destrucción que generó el avance de la explotación, solo podemos poner en relación los canales C8f a C8l con el último trabajo realizado, el sector 7.1, y solo se conserva el depósito D11, hemos de dar por sentado que en las fases anteriores existieron estructuras bastante parecidas a esta, siempre dependientes del canal C8.

Los canales de evacuación, Ev10 a Ev14, son muy claros en todas las fases de este sector y conducen siempre los estériles hacia la cola de lavado de La Brea (El), donde pueden diferenciarse con nitidez las huellas dejadas por sus aportes, sobre los que se superpondrán en parte los procedentes del gran sector 3.

3.2. LA ZONA PRINCIPAL DE LA MINA: EL SECTOR 3 (tablas 6-17, figs. 33 y 34)

Los conglomerados auríferos del yacimiento presentan una discontinuidad entre las labores más altas del sector 1, el primero en explotarse, y las primeras del subsector 3.1. Es la discontinuidad que forma el monte sin conglomerado aurífero de El Soutín, delimitado al norte y al sur por sendas fallas (ver el apartado 1.3). Ya hemos indicado cómo las labores de prospección llevadas a cabo en las trincheras T1 a T4 y en T8 pudieron facilitar el conocimiento por medios empíricos de ese accidente geológico, poniendo en práctica el procedimiento del *aurum talutium*. Una vez alcanzados de nuevo los conglomerados del sector 3, se iniciaría el laboreo en la principal zona de Las Médulas.

Entre el sector 2.2 y el 3 no existe tanta discontinuidad, pero sí quedó bastante terreno sin explotar hasta alcanzar el sector 3, desde La Frisga hasta Gallegos, incluyendo sobre todo el lugar de Selores, algo más de 500 m de norte a sur. Parece evidente que una razón para justificar ese vacío de laboreo pudo ser el aumento de la potencia de la Formación Las Médulas en los últimos trabajos realizados en el sector 2.2 de La Frisga. En este tramo no hay evidencias de trincheras de prospección. Pero si existe un importante valgón sobre los dos ramales del canal C8 que unen los depósitos D14 y D15 a lo largo de 250-300 m (fig. 35). Sin duda, al hacerlo, tuvieron que descubrir el material que estaban excavando y que, al menos en superficie, pertenecía a la Formación Las Médulas, por lo que los antiguos prospectores, extrayendo en él el *aurum talutium,* pudieron tener un indicio de que se trataba de un terreno poco rico en oro.

La interpretación del sector 3 es notablemente más compleja que la de los sectores 1 y 2. Aunque la numeración de fases (un total de 28) responde a una ordenación sucesiva que afecta a todo el sector, ha parecido conveniente, para una mayor claridad, explicarlo dividiéndolo en subsectores. Los once subsectores así establecidos se han diferenciado de acuerdo con varios criterios relacionados con el desarrollo cronológico de la explotación romana: las diversas características geológicas que posee cada zona, el espesor del conglomerado explotado, el sistema de explotación utilizado y la mayor o menor complejidad de la evacuación de los estériles. Teniendo en cuanta todo ello se pueden distinguir dos grandes grupos:

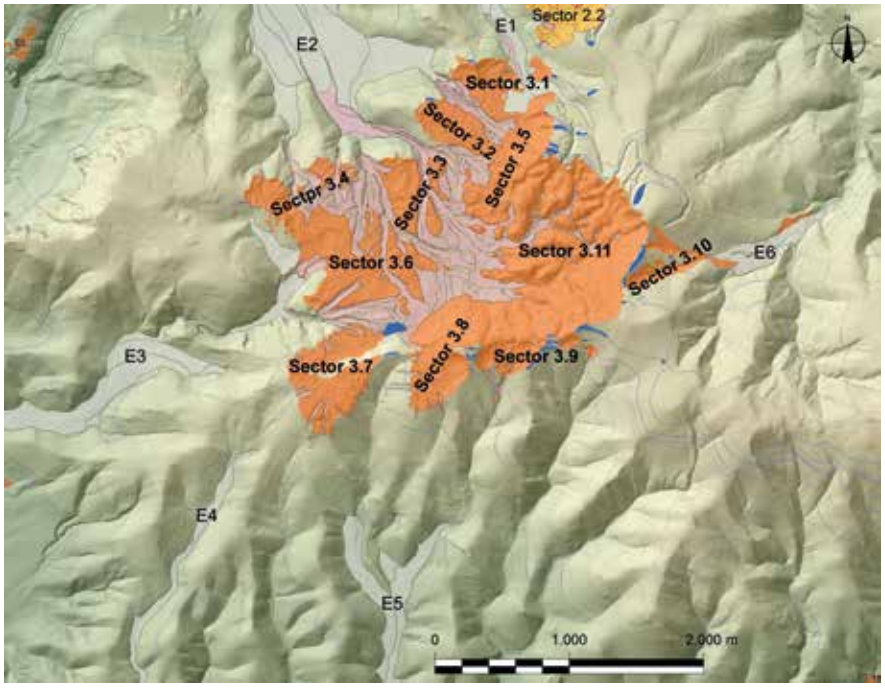


Figura 33. División del sector 3 de Las Médulas en subsectores.



Figura 34. Panorámica aérea del sector 3 de Las Médulas desde el noreste.

– Los sectores 3.1 a 3.4, 3.6 y 3.7, que forman la orla norte y oeste de la mina romana y fueron, en general, los primeros en ser trabajados dentro del sector 3. En todos ellos se explotaron fundamentalmente los conglomerados de la Formación Santalla hasta alcanzar los niveles más ricos en oro del contacto con el zócalo, en este caso formado por la Formación Orellán, punto en el cual la explotación se detuvo siempre. En la ac-

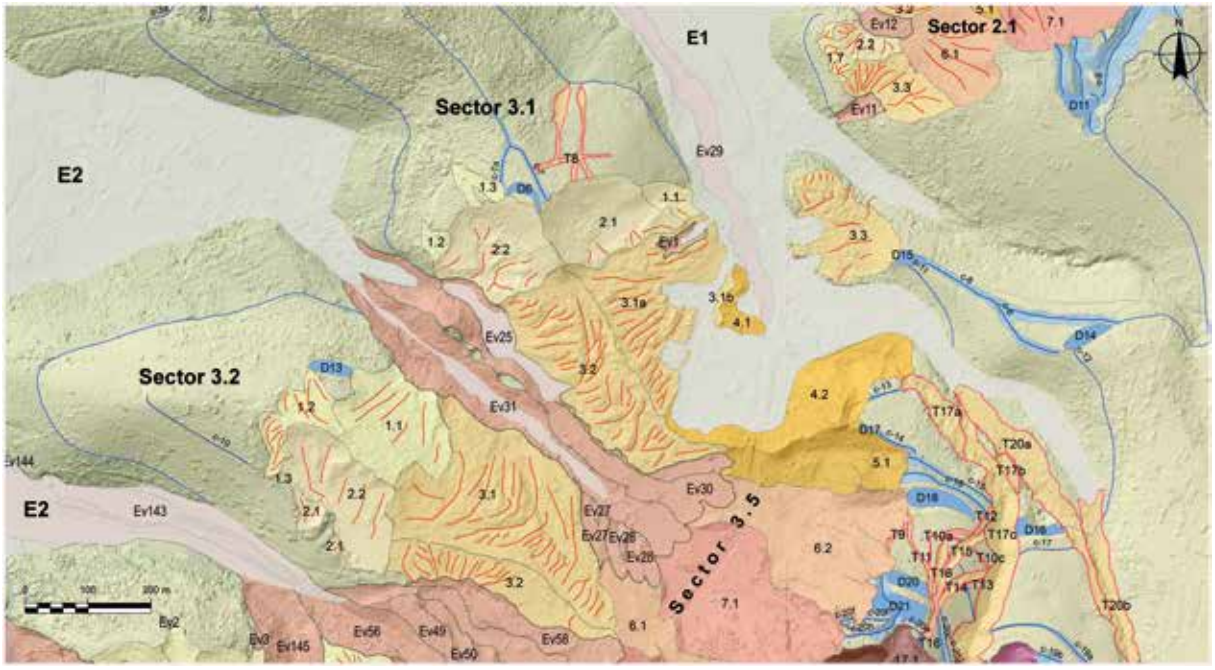


Figura 35. Detalle de las labores en el Sector 3.1 (1.1 a 4.2) y 3.2 (1.1 a 3.2) de Las Médulas.

tualidad dicha Formación Orellán queda al descubierto en numerosas zonas, pero no es por efecto de la explotación en sí; sino que su excavación fue necesaria para evacuar los materiales estériles más finos de esos mismos sectores y, sobre todo, de los sectores excavados con posterioridad, en particular de los sectores 3.5, 3.8 y 3.11.

– Los sectores 3.5 y 3.8 a 3.11, que son los que constituyen la zona más espectacular de Las Médulas, afectaron ya a un importante recubrimiento de la Formación Médulas (Pérez y Sánchez-Palencia 1992, 868-869 y fig. 3; Domergue y Hérail 1999, 95-98 y fig. 2), que fue preciso extraer a la par que los niveles de la Formación Santalla, aunque los que interesasen realmente fuesen estos últimos. Los materiales arrastrados por la erosión después del abandono de la mina romana y acumulados a los pies de los frentes de explotación dentro del sector 3.11 impiden apreciar los niveles más profundos de los conglomerados explotados (ver apartado 8.3), pero en muchas zonas se constata que dichos niveles reposaban directamente sobre la roca del zócalo, no sobre la Formación Orellán. Obviamente, en toda esta zona, el espesor del conglomerado removido es notablemente mayor que en los anteriores subsectores.

3.2.1. Los sectores 3.1 a 3.4, 3.6 y 3.7 (tablas 6-11, figs. 35-42)

En estos sectores la potencia del conglomerado de la Formación Santalla explotado alcanzaba como mucho los 30 m, aunque por lo general era menor (unos 20 m o incluso menos), de forma que su explotación se hizo de forma selectiva, mediante surcos convergentes, a veces cercanos ya a pequeñas zanjas-canales yuxtapuestas, que en todo caso permitieron una extracción exhaustiva del material aurífero más rico, el existente en los niveles cercanos al contacto con la Formación Orellán. A pesar de que casi todas las labores que lo forman han sido muy alteradas por canales de evacuación posteriores, no sería exagerado decir que seguramente fueron estas zonas las que proporcionaron una más alta rentabilidad a Roma, si

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.1	1	1	3551	(D6, D15)	(C8, C11)	Ev1	Muy alteradas por fases posteriores
		2	1905				
		3	3007				
Subtotal			8463				0'85 ha
3.1	2	1	21 079	D6	(C8, C11)	(Ev1)	Cortadas al S por la fase 3
		2	21 952			Ev25	
Subtotal			43 031				4'30 ha
3.1	3	1	33 096	(D15)	(C8, C11)	Ev1	Cubiertas en parte por estériles post.
		2	41 819			Ev25	
		3	18 599	D15	C8, C11		
Subtotal			93 514				9'35 ha
3.1	4	1	3505	D17	C13, C14	Cubierto por estériles post.	Cubiertas por estériles post.
		2	25 384				
Subtotal			28 889				2'89 ha
Total			173 897				17'39 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 6. Labores mineras dentro del sector 3.1 de Las Médulas.

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.2	1	1	24 157	D13	C10	(Ev31)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	9218			(Ev56)	
		3	97	(D13)	(C10)	(Ev56)	
Subtotal			33 472				3'35 ha
3.2	2	1	2884	–	–	(Ev56)	Cortadas al S por la fase 3
		2	23 141				
Subtotal			26 025				2'60 ha
3.2	3	1	59 934	–	–	(Ev31)	Cortadas al S por el sector 3.5
		2	18 631			(Ev58)	
Subtotal			78 565				7'86 ha
Total			138 062				13'81 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 7. Labores mineras dentro del sector 3.2 de Las Médulas.

se tiene en cuenta la relación material removido/oro conseguido. De ahí lo exhaustivo del trabajo realizado sobre ellas.

Tanto en el sector 3.1 como en el 3.2 se conservan buenos ejemplos de series de surcos convergentes, aunque en la actualidad están muy

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.3	1	1	11 102	–	–	(Ev56)	Muy alteradas por fases post.
		2	17 628			Ev2, Ev4	
Subtotal			28 730				2'87 ha
3.3	2	1	12 211	–	–	(Ev54,Ev57)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	20 851			Ev3	
		3	19 372			Ev4	
		4	4951				
Subtotal			57 385				5'74 ha
3.3	3	1	21 002	–	–	(Ev105)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	13 571				
		3	38 768			(Ev72)	
Subtotal			73 341				7'33 ha
Total			159 456				15'94 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 8. Labores mineras dentro del sector 3.3 de Las Médulas.



Figura 36. Panorámica aérea del Sector 3.3 desde el oeste.

enmascarados por la vegetación. El mejor ejemplo de una explotación extremadamente exhaustiva mediante esta técnica de los surcos convergentes es el subsector de Os Muriacales da Balouta, A Peralía y As Pedrices, el 3.7, aunque el aspecto actual de las antiguas labores queda oculto por la combinación de grandes amontonamientos de cantos rodados o murias y la vegetación de monte bajo y rebollos o chaparros que crece alrededor y sobre ellos. La aplicación de zanjas-canales yuxtapuestas para llevar a

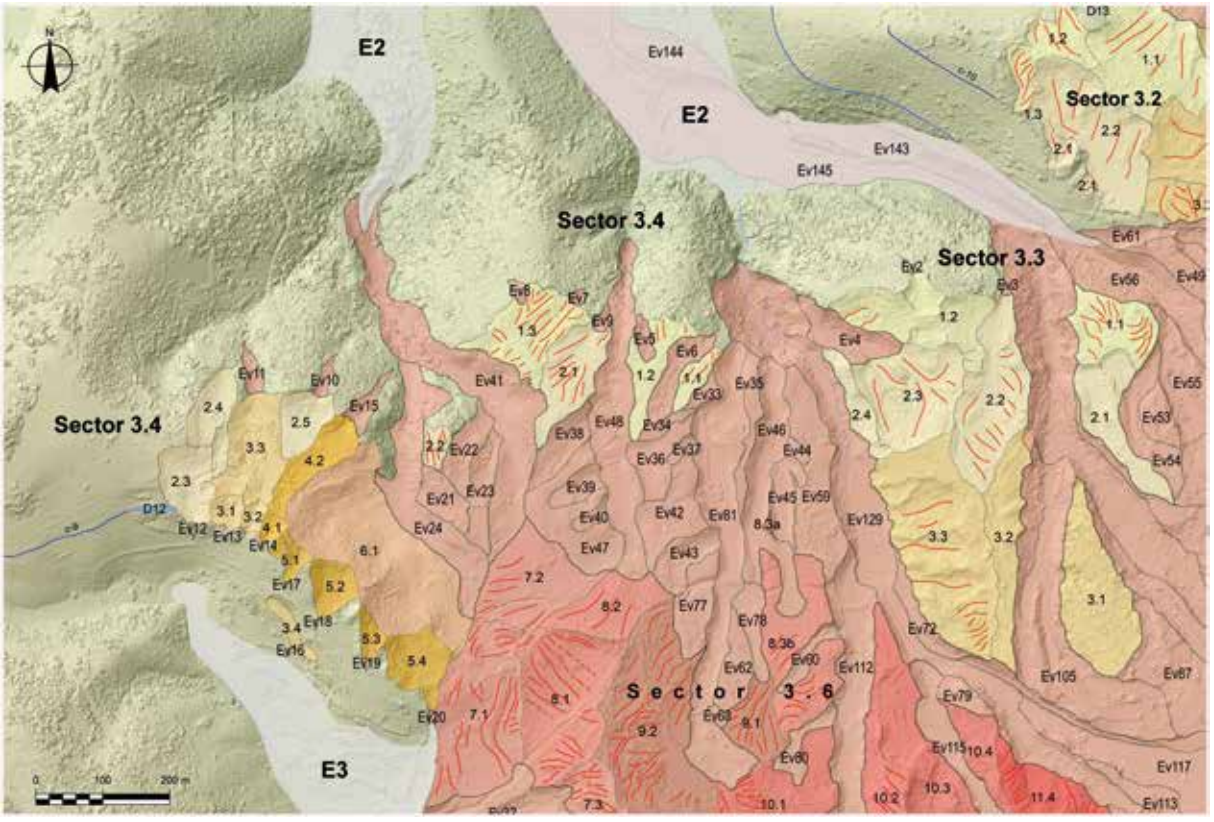


Figura 37. Detalle de las Labores de los sectores 3.3 y 3.4 de Las Médulas.

cabo una explotación casi tan integral como en los surcos convergentes cuenta con un excelente ejemplo en las labores del subsector 3.4, en los parajes de Os Carricovos, As Valiñas de Xan Lamas y A Fonte de Maltempo. En ellos, el avance de la explotación fue orientando alternativamente las zanjas-canales hacia el suroeste y hacia el noreste, evacuando los estériles hacia El Val y O Valgón da Balouta (E3) y hacia Chaos de Maseiros (E2) respectivamente.

En general, dentro de esos sectores podemos diferenciar entre los que vierten estériles hacia el norte, 3.1 a 3.3, y el que vierte hacia el oeste, 3.7, quedando en medio 3.4 y 3.6, que vierten en ambas direcciones.

El sector 3.1 seguramente recibe todo su abastecimiento de agua desde el este. Así lo indican claramente tres tramos de canales conservados: C8, que alimenta mediante un valgón la labor 3.3 a través del depósito D15, y C13 y C14, que abastecen con seguridad las labores 4.1 y 4.2 (figs. 35 y 43). Desafortunadamente, lo conservado de los dos últimos canales es muy poco, ya que fueron parcialmente eliminados en fases posteriores; son más las incógnitas que las certezas sobre su trazado. Pudieron tener su origen en la red alimentada por el canal C8, ya que en ambos casos se trata de valgones que pudieron salvar importantes desniveles. Incluso no es descartable que esa red que nace de C8 fuese el origen, a través de valgones también, del canal C7 que abasteció las labores más altas del sector 1 y buena parte de las de 3.1.

Tampoco podemos decir mucho acerca del canal C11, puesto que apenas se conserva un tramo al alcanzar mediante un valgón la parte superior de la labor 3.3. Aunque no podamos establecer ninguna conexión directa, no es descartable que proceda en realidad de algún depósito destruido en el avance de las labores y que su origen último sea también el mismo: la red dependiente de C8. Así pues, con las

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.4	1	1	2888	–	–	Ev6	Muy alteradas por fases posteriores
		2	7056			Ev5, Ev6	
		3	13 352			Ev7, Ev8	
Subtotal			23 296				2'33 ha
3.4	2	1	11 115	–	–	Ev9	Alteradas por fases posteriores
		2	2191			Ev22, Ev24	
		3	8074	D12	C9	Ev12	
		4	7417	–	–	Ev11	
		5	5915			Ev10	
Subtotal			34 712				3'47 ha
3.4	3	1	2204	–	–	Ev13	Alteradas por fases posteriores
		2	1363				
		3	12 867			Ev11	
Subtotal			16 434				1'64 ha
3.4	4	1	1341	–	–	Ev14	Alteradas por fases posteriores
		2	7502			Ev15	
Subtotal			8843				0'88 ha
3.4	5	1	2438	–	–	Ev17	Alteradas por fases posteriores
		2	4779			Ev18	
		3	2063			Ev19	
		4	7687			Ev20	
Subtotal			16 967				1'70 ha
3.4	6	1	39 971	–	–	Ev24	Altds. fases post.
Subtotal			39 971				4'00 ha
Total			140 223				14'02 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 9. Labores mineras dentro del sector 3.4 de Las Médulas.

debidas reservas, nos inclinamos a pensar que este primer subsector 3.1 del gran sector 3 debió estar abastecido esencialmente desde la red hidráulica septentrional.

La interpretación del abastecimiento hidráulico es más difícil a partir del sector 3.2. La razón es muy sencilla, como puede comprobarse en las tablas 7 a 11, las evidencias de depósitos o canales son muy escasas entre los sectores 3.2 y 3.7, los que forman la orla exterior al norte y oeste del sector 3.

No obstante, parece relativamente claro que el abastecimiento ya no procede de la vertiente septentrional, sino de la meridional. Los dos únicos canales que alcanzan los frentes de explotación proceden del oeste. Son el canal C10, que abastece el depósito D13, en la labor 3.2 y el canal C9, que abastece D12 en la labor 3.4. Seguramente, ambos eran de corto recorrido, puesto que no tienen mucha cuenca de captación, que, en todo caso, se reduciría a las zonas más próximas al propio sector 3 de Las Médulas.

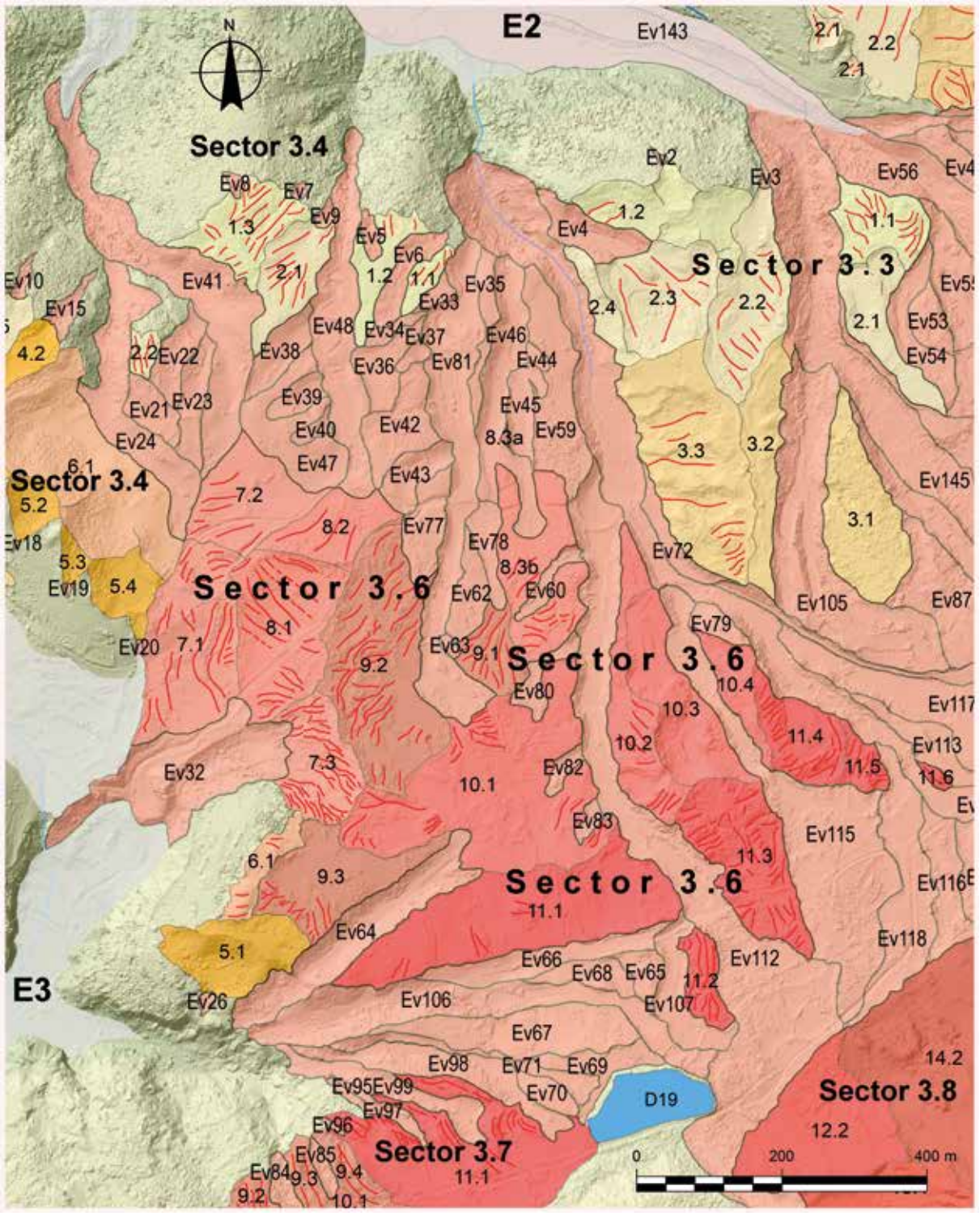


Figura 38. Detalle de las labores en el Sector 3.6 (5.1 a 11.6) de Las Médulas.

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.6	5	1	15 948	–	–	Ev26	Muy alteradas por fases posteriores
Subtotal			15 948				1'59 ha
3.6	6	1	5512	–	–	(Ev32)	Muy alteradas por fases posteriores
Subtotal			5512				0'55 ha
3.6	7	1	29 814	–	–	Ev32	Alteradas por fases posteriores
		2	17 357			Ev41, Ev47	
		3	14 980			Ev32	
Subtotal			62 151				6'21 ha
3.6	8	1	27 011	–	–	Ev32	Muy alteradas por fases posteriores
		2	11 174			Ev43, Ev48	
		3	20 529			Ev45 -46 -60	
Subtotal			58 714				5'87 ha
3.6	9	1	7328	–	–	Ev78	Muy alteradas por fases posteriores
		2	40 177			Ev77	
		3	19 702			(Ev64)	
Subtotal			67 207				6'72 ha
3.6	10	1	56 003	–	–	Ev80 a Ev83	Muy alteradas por fases posteriores
		2	16 668			(Ev112)	
		3	20 137			(Ev115)	
		4	6860			(Ev79)	
Subtotal			99 668				9'97 ha
3.6	11	1	44 743	–	–	(Ev64 -66 -112)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	5867			(Ev112)	
		3	24 418			(Ev112,Ev115)	
		4	1243			(Ev129)	
		5	3923				
		6	925				
Subtotal			81 119				8'11 ha
Total			390 319				39'03 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa.

Tabla 10. Labores mineras dentro del sector 3.6 de Las Médulas.

Ahora bien, es prácticamente seguro que, en ese momento, cuando se iniciaron las labores en toda la orla norte y oeste del sector 3, ya estuviera en servicio el abastecimiento procedente del gran depósito D19, en Chaos da Cruz, que era alimentado por el canal C18 de la vertiente meridional de Las Médulas. Este depósito D19 se sitúa entre las cotas 780 y 782, es decir, muy por encima de las cotas máximas conservadas de los subsectores 3.1, 764 m, 3.2, 762 m, 3.3, 764 m, y casi todo el subsector 3.6 (solo el extremo oeste, entre las labores 6.1 y 9,3, alcanza los 784 m). Pero desde luego no alcanzaría a la mayoría de las labo-

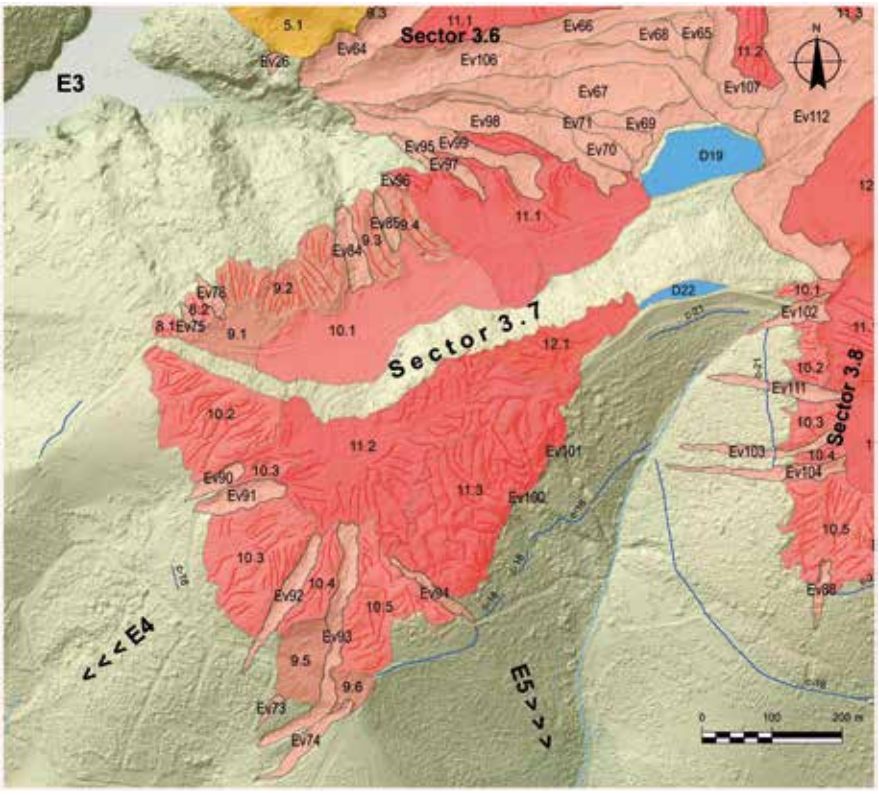


Figura 39. Detalle de las labores en el Sector 3.7 (8.1 a 11.3) de Las Médulas.

res del subsector 3.4, cuya cota más alta es de 824 m. Este hecho es el que justifica la existencia de una canal como el C9, casi en lo alto de la labor 2.3 de ese subsector 3.4. Su trazado es muy corto y, en el mejor de los casos, tendría una longitud muy reducida porque la cuenca de captación de agua se restringe al macizo calizo inmediato por el oeste de la Urciñeira, aunque en esta zona existen abundantes surgencias de agua.

Pero además del canal C18, que abastecía al depósito D19 de Chaos da Cruz, otros dos canales más de la vertiente meridional pudieron intervenir y solucionar todo lo relativo al abastecimiento de estos seis subsectores (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.6 y 3.7). Se trata de los canales C21 y C22. El canal de abastecimiento C21 quedó cortado a la altura de la labor 11.3 del subsector 3.7, a la cota de 842 m, y C22 fue cortado por las trincheras de prospección T21 del sector 3.8 en la cota de los 908 m, desde allí pudo abastecer al depósito D22, situado a 856 m, mediante un canal



Figura 40. Panorámica aérea desde el oeste de las labores en el Sector 3.7. Las grandes acumulaciones de cantos rodados o murias indican la exhaustiva explotación a que fue sometido todo el sector.

que discurriese por un valgón, ya que la diferencia de cota es notable.

Prácticamente todo el subsector 3.7, salvo la última fase, 12.1, pudo ser explotada a partir del abastecimiento del canal C21. En esa última fase intervendría ya el depósito D22, abastecido desde el canal

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.7	8	1	1111	–	–	(Ev75)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	1253				
Subtotal			2364				0'23 ha
3.7	9	1	7403	–	–	Ev75, Ev76	Alteradas en parte por fases posteriores
		2	15 447			(Ev84)	
		3	5042			(Ev84,Ev85)	
		4	4747			(Ev85)	
		5	7525		(C18)	Ev73	
		6	2425		C18	Ev74	
Subtotal			42 589				4'26 ha
3.7	10	1	32 070	–	–	Ev84, Ev85	Alteradas en parte por fases posteriores
		2	21 920			(Ev90)	
		3	20 054			Ev90 -91 -92	
		4	5713			Ev92, Ev93	
		5	15 956			Ev93, Ev94	
Subtotal			95 713				9'57 ha
3.7	11	1	44 967	–	–	Ev95 a Ev99	
		2	49 413			Ev90 a Ev94	
		3	37 642			Ev94 -100 -101	
Subtotal			132 022				13'20 ha
3.7	12	1	12 231	D22	C22	–	
Subtotal			12 231				1'23 ha
Total			284 919				28'49 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 11. Labores mineras dentro del sector 3.7 de Las Médulas.

C22 mediante algún valgón, puesto que también aquí la diferencia de cotas es notable: 50 m.

A partir de esas circunstancias en el abastecimiento de agua, hay que deducir que la topografía original del terreno tendría que haber permitido que al menos el canal C21 alcanzase las labores más altas del subsector 3.4. Para ello tendría que haber existido una prolongación del conglomerado de la Formación Las Médulas desde el sector 3.11 de la mina en dirección oeste, aproximadamente desde los parajes de La Valiña da Morteira y La Fonte da Tía Viviana, es decir más al este del depósito D19 de Chaos da Cruz, que, abastecido por C18, es anterior dentro de la red hidráulica.

La topografía de toda esta primera zona (3.1 a 3.4, 3.6 y 3.7) se caracteriza también de forma muy evidente por el gran número de canales de evacuación que la surcan. La mayoría, y desde luego los más importantes, proceden de fases de explotación posteriores, sobre todo de los sectores 3.5, 3.8 y 3.11, y han alterado las huellas dejadas en la explotación de estas zonas situadas a cotas más bajas. En algunos casos esos canales de evacuación es lo único que se conserva de todas las estructuras mineras de las que debieron de formar parte. Vamos a referirnos solo a unos ejemplos muy claros (figs. 38 y 46).

El primero es la zona de Pinzáis, Llagua Larga, Llagua Rubia y lago Somido, que incluye cinco grandes canales de evacuación, Ev46, Ev48, Ev81, Ev112 y Ev129 procedentes de los sectores 3.6 y 3.8, y muchos más de menor envergadura, y que seccionaron las labores realizadas en los subsectores 3.3, 3.4 y el mismo 3.6. Otro ejemplo es el que forman los canales de evacuación procedentes de los sectores 3.5 y 3.11 y que acaban convergiendo en el gran canal Ev145, que viene de la última zona explotada en Las Médulas. Por último, un ejemplo extremo es la zona de Llagua Negra y El Fornín cuyos principales canales de evacuación son Ev64, Ev98 y Ev106; en este caso, ninguno de ellos conserva la zona de explotación cuyos estériles evacuaron, que quedó desmantelada totalmente por el avance de las labores en 3.8.

Otra característica destacada en relación con la red hidráulica es que en esta zona más baja se conservan dos canales de explotación, ambos dentro del sector 3.6. El más claro es el que discurre por la cabecera de la labor 7.3 y da nombre al paraje, que se conoce como Tiseiro Largo (fig. 42), es decir, pequeña elevación alargada, una buena descripción del canal de explotación que corona y recorre lo alto de la labor. El segundo, no tan claro, es el canal de explotación de Chao de Valouto, que discurre entre las labores 8.1 y 8.2 de este sector 3.6.

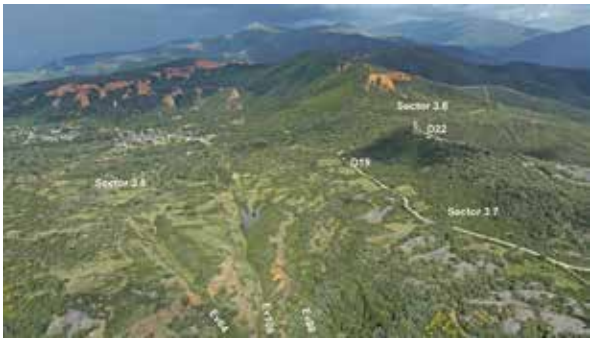


Figura 41. Panorámica aérea desde el oeste de las labores en los sectores 3.6, 3.7 y 3.8. En primer término, los canales de evacuación de la zona de Llagua Negra y O Fornín.



Figura 42. Cimentación del canal emisario de Tiseiro Largo (entre las labores 7.3 y 9.2 del Sector 3.6), foto aérea desde el norte.

3.2.2. Los sectores 3.5 y 3.8 a 3.11 (tablas 12-16, figs. 43-53)

Las últimas labores llevadas a cabo en La Frisga, sector 2.2, alcanzaron ya claramente los niveles de la Formación Las Médulas. Seguramente por ello se detuvieron y no prosiguieron más hacia el sur. Aunque esta circunstancia también pudo estar condicionada por no cortar el abastecimiento que proporcionaba la red derivada del canal C8, que transcurría precisamente por esa zona, y privar así de abastecimiento a todas las labores que dependían de él. De cualquier modo, lo que es evidente es que los sectores 3.5 y 3.8 a 3.11 se encontraron ya con un importante recubrimiento de la Formación Las Médulas sobre los niveles de la Formación Santalla, tanto en la vertiente orientada hacia el norte, como en la orientada hacia el sur, hacia el río Cabrera. Su remoción, por lo tanto, tuvo que hacerse de un modo menos selectivo, utilizando sistemas de explotación extensivos que permitiesen abatir toda la masa de conglomerado a la vez para alcanzar los niveles más ricos de la Formación Santalla. Para ello se emplearon fundamentalmente dos sistemas de explotación extensivos: las zanjas-canales y las cortas de minado o *ruinae montium,* este último solo en el subsector 3.11.

Estas características generales propiciaron que la red hidráulica de abastecimiento y explotación adquiriese una mayor complejidad que en los sectores anteriores. Ya en la primera fase del sector 3.5, en la labor 5.1, vemos cómo la red del canal C8

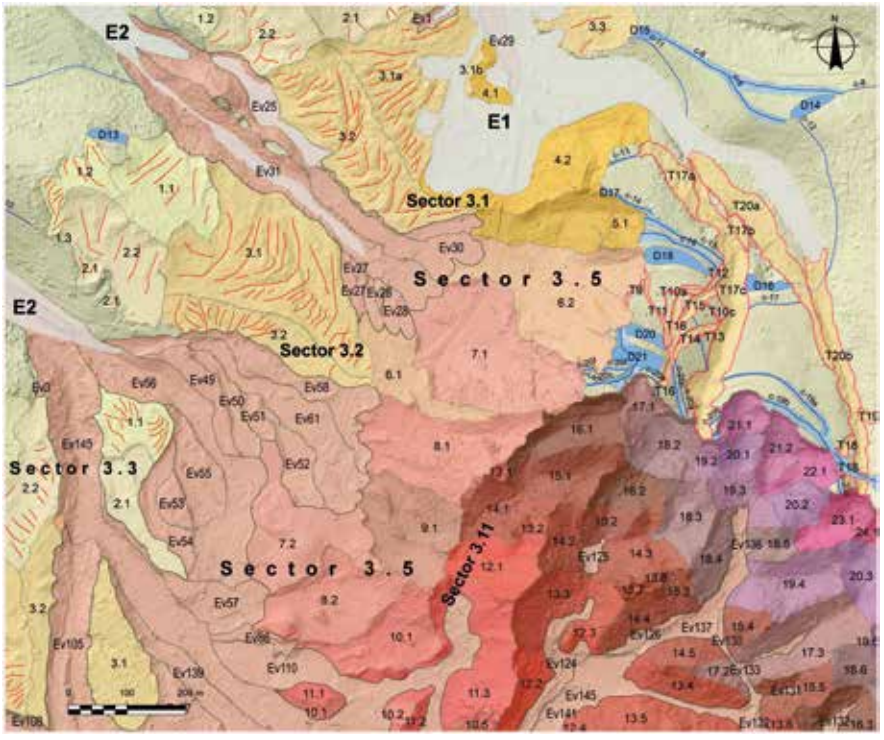


Figura 43. Detalle de las labores en el Sector 3.5 (5.1 a 10.1) de Las Médulas.



Figura 44. Panorámica desde el este de la ladera oriental del Pico Gallegos en la que se aprecia la compleja red hidráulica que abasteció al sector 3.5.

sigue actuando, pero para ello tuvo que trazarse un nuevo canal, C12, desde el depósito de distribución D14. C12 alimentó a su vez a D16, desde donde se trazaron sucesivamente los canales C14, C15 y C16, que transcurren todos por valgones para salvar unas pendientes relativamente importantes. El canal C14 abasteció a su vez al depósito de explotación D17, que sirvió tanto para la última fase del sector 3.1 como para el inicio de las labores en este subsector 3.5 a través de la labor 5.1. Los canales con valgón C15 y C16 pudieron arrojar agua directamente sobre la misma labor 5.1 desde D17, aunque hay que suponer que en su último tramo se convirtiesen en depósitos de explotación. La erosión del terreno a lo largo del tiempo y la espesa vegetación de la zona impiden precisar la existencia o no de esos depósitos.

En esta zona del Pico Gallegos (fig. 43), en la labor 6.2, que seguramente fue contemporánea de 6.1, se produce ya un fuerte incremento del espesor de los conglomerados tratados. Entre la zona más baja del frente de explotación y la más alta hay casi 70 m y entre lo más hondo del desmonte y lo más elevado la diferencia de cota es ya de 150 m. A causa de ello, su explotación exigió la intervención de tres niveles sucesivos de redes hidráulicas: C17, que abastecía a D18, C20a que abastecía a D20 y C20f que lo hacía con D21. Además, entre medias, se condujo también hasta esta zona de laboreo el canal C19a, cuyo trazado final quedó prácticamente eliminado por las trincheras de prospección T9 a T16 (figs. 43 y 44).

Sector	Fase	Sub fase	Área (m²)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.5	5	1	21 107	D17 (D16)	C14-C16	(Ev25,Ev29)	
Subtotal			21 107				2'11 ha
3.5	6	1	13 800	D18, D20 D21	C17 (C19a) C20a, C20f	Ev27,Ev28	
		2	42 079			(Ev29) Ev30	
Subtotal			55 879				5'59 ha
3.5	7	1	45 538	–	C20g	(Ev29) Ev31	Alteradas en parte por 3.11
		2	26 898	–	–	Ev50,51,52	
Subtotal			72 436				7'24 ha
3.5	8	1	32 714	–	–	Ev58	Alteradas en parte por 3.11
		2	23 199			Ev57	
Subtotal			55 813				5'58 ha
3.5	9	1	23 552	–	–	Ev61	Alterada por 3.11
Subtotal			23 552				2'36 ha
3.5	10	1	19 205	–	–	Ev86	Alterada por 3.11
Subtotal			19 205				1'92 ha
Total			247 992				24'80 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 12. Labores mineras dentro del sector 3.5 de Las Médulas.

En la labor 7.1 de este sector 3.5 se documenta la última conexión con un canal de abastecimiento, el C20g. En el resto de labores, las correspondientes a las fases 8.ª, 9.ª y 10.ª, la red hidráulica fue completamente eliminada en sus tramos finales por el avance posterior de los trabajos en el subsector 3.11. Es muy probable que esas fases 8.ª, 9.ª y 10.ª fuesen alimentadas desde la compleja red de canales de C19, primero, y C20, después. El hecho de que casi todos los ramales de ambos canales discurran por valgones indica que debieron de servir de abastecimiento a labores iniciadas en cotas bastante más bajas que la de los actuales frentes de explotación.

La evacuación de estériles en esta zona se hizo siempre hacia el norte o noroeste. Es muy probable que, en un primer momento, durante las labores de las fases 5.ª y 6.ª e incluso durante las de la fase 7.ª, se evacuase todavía material hacia la cola de lavado de La Brea (E1). De otra forma no se justificaría el relleno con estériles de la parte más cercana del sector 3.1, ya que dichos estériles solo pueden proceder de este sector 3.5.



Figura 45. Estado actual de la salida del túnel romano excavado en el canal de evacuación Ev55 para salvar un afloramiento de roca del zócalo. Su erosión dio lugar a la llamada Cueva de la Coneja.

Pero lo más interesante en este aspecto de la evacuación de estériles es otra cuestión muy importante en el desarrollo general de la explotación de Las Médulas. En este momento, durante el laboreo de las primeras fases en el sector 3.5, en la fase 7.ª como muy tarde, es cuando se abandona la

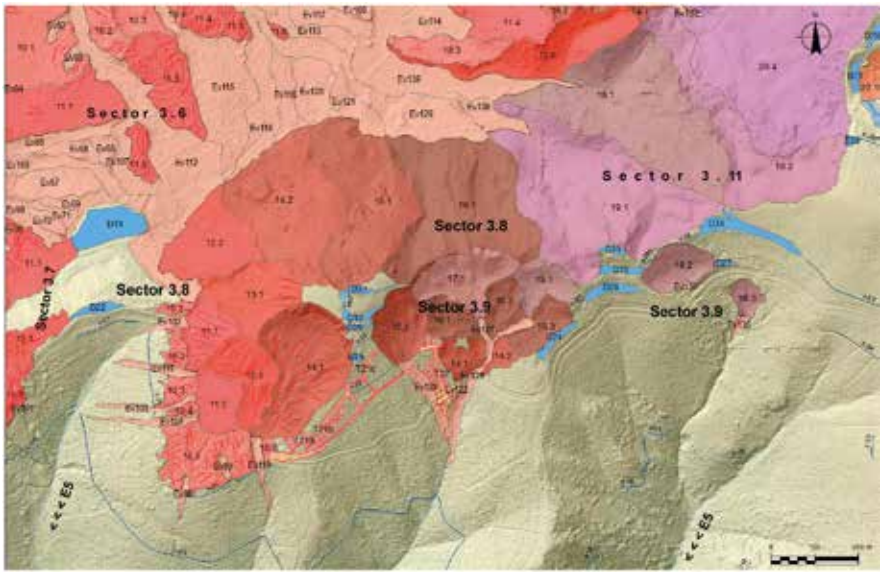


Figura 46. Detalle de las labores en el Sector 3.8 (10.1 a 16.1) y 3.9 (14.1 a 18.3) de Las Médulas.



Figura 47. Panorámica aérea desde el oeste de Llagua de Yeres (Sector 3.8).

evacuación a través de la cola de lavado de La Brea (E1). Así lo demuestra el hecho de que el canal de evacuación Ev29 se excavase literalmente en los estériles previamente acumulados al norte de la zona de Gallegos, pero que, aun así, no continuase en uso. La razón para su excavación en los estériles fue sin duda conseguir una mínima pendiente en ese tramo inicial, seguramente taponado parcialmente por las acumulaciones de estériles arrojados allí previamente. Pero el hecho de que no se distinga con claridad una cola de lavado diferenciada a continuación del canal excavado, indica esa falta de continuidad de uso. Quizás haya que buscar la causa más en la relativa angostura que presenta La Brea para recoger una gran cantidad de estériles, que en la pendiente conseguida con la excavación de Ev29.

En cualquier caso, es evidente que las fases de explotación siguientes en el sector 3.5 buscaron una nueva salida de los estériles en dirección a Chaos de Maseiros (E2), por donde sin duda existía más pendiente y, por su puesto más espacio, aunque para ello fuese preciso excavar parte del canal de evacuación en el zócalo paleozoico de esquistos en las dos salidas desde este sector que confluían al final en Ev31 y en

Ev56. Es más, en un caso, se llegó a excavar un túnel que horadaba la roca para dejar pasar el canal de evacuación en dirección a Chaos de Maseiros (fig. 45). Es la conocida como cueva o roca de la Coneja, situada en el canal de evacuación Ev55, procedente de las últimas fases de este sector 3.5.

Las labores en la zona de la Llagua de Yeres (o Llaguaderes, como también es conocida) forman el subsector 3.8 (tabla 13, figs. 46 y 47) y han sido utilizadas frecuentemente como ejemplo de explotación en la que es muy fácil reconocer, visualmente y sobre el terreno, todas las estructuras que la componen en el proceso de extracción, lavado y evacuación de estériles. Efectivamente las labores de las fases 10.ª a 14.ª presentan en conjunto una zona de desmonte seguido muy claro, los canales de evacuación Ev102-104 y Ev111 son también muy visibles y las murias o estériles gruesos acumulados entre ambos son bastante evidentes a pesar de estar parcialmente recubiertos por monte bajo. Lo más difícil de observar es la red hidráulica. No obstante, sí es muy visible el trazado de un canal anterior, el C21, que aparece al pie de los vaciados mineros y fue cortado por los sucesivos canales de evacuación.

La red hidráulica de abastecimiento del subsector 3.8 solo se conserva entre este subsector y

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.8	10	1	1839	–	–	Ev102	Alteradas por las fases posteriores en este mismo subsector
		2	3674			Ev102,Ev111	
		3	4185			Ev103,Ev111	
		4	1561			Ev103,Ev104	
		5	25414			Ev88,Ev89,Ev104	
		6	1259			Ev109	
Subtotal			37932				3'79 ha
3.8	11	1	12661	–	–	Ev102,Ev111	Alteradas por fases posteriores
		2	12211			Ev103,Ev104	
Subtotal			24872				2'49 ha
3.8	12	1	21025	–	–	Ev111,Ev119	Alteradas por fases posteriores
		2	29027			Ev112	
Subtotal			50052				5'01 ha
3.8	13	1	26545	–	–	Ev112	Alteradas por fases posteriores
Subtotal			26545				2'65 ha
3.8	14	1	46944	D25,D29,D30	C24,C29,C29a	Ev119	
		2	59865	(D31)	(C29)	Ev116,Ev118	Alteradas por fases posteriores
Subtotal			106809				10'68 ha
3.8	15	1	60132	D30,D31	C29,C29a	Ev120,Ev121	Alteradas por fases posteriores
Subtotal			60132				6'01 ha
3.8	16	1	77835	–	–	Ev119	Alteradas por fases posteriores
Subtotal			77835				7'78 ha
Total			384177				38'41 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 13. Labores mineras dentro del sector 3.8 de Las Médulas.

el siguiente, el 3.9, conocido como Reirigo. Era alimentada con seguridad por los canales C24 y C29 y posiblemente también por el C23. El C22 pudo servir para llevar a cabo las trincheras de prospección T21a, b y c, que seguramente sirvieron para definir la inexistencia de terrenos explotables debajo de ellas. Aunque las cortas del subsector 3.9 eliminaron los trazados de canales en superficie, dejaron al descubierto una serie de galerías, conocidas como galerías de Reirigo o de Yeres, que no eran otra cosa que túneles de conducción de agua, como los conocidos en las galerías de Orellán, aunque su función no fuese exactamente la misma.

La evacuación de los estériles de este sector se produjo en dos direcciones contrapuestas. Hacia el sur, en dirección a la gran cola de lavado de Yeres (E5) a través, tanto del arroyo del Boqueiron que va a dar al sector más occidental de E5 en La Debesa, como de la vaguada de Garciexil que va a desembocar en el tramo de E5 más oriental, en Rebordelo. Por el norte, las fases 12.ª a 16.ª evacuaron siempre en el sentido del gran cono de deyección de Chaos de Maseiros a través de sucesivos canales de evacuación que acaban convergiendo en la zona de Pinzáis, donde el último de ellos es el Ev129.

En Reirigo, sector 3.9 (tabla 14 y fig. 46), las labores llevadas a cabo siguen siendo del mismo tipo que en 3.8, es decir, cortas a cielo abierto resultantes de la superposición sucesiva de varias zanjas-canales. Obviamente, el objetivo sigue siendo eliminar tanto el recubrimiento de la Formación Lás Médulas como, sobre todo, los niveles más ricos de la Formación Santalla, algo que se consiguió claramente, ya que, en varios puntos, al igual que en Pedrices y Llagua de Yeres, quedó al descubierto el zócalo paleozoico sobre el que se asentaban los conglomerados (fig. 48). Hay que recordar que en estos sectores que vierten al Cabera no aparece la Formación Orellán.

Las primeras fases de explotación, 14.ª, 15.ª y 16.ª, de este sector contaron con seguridad con el

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.9	14	1	7370	–	–	Ev122	Alteradas por fases posteriores
		2	3664			(Ev128)	
Subtotal			11 034				1'10 ha
3.9	15	1	16 846	–	–	Ev123	Altds. por fas.post.
Subtotal			16 846				1'69 ha
3.9	16	1	9778	–	–	Ev127	Alteradas por fases posteriores
		2	9228				
		3	10 710	D24,D26	C23,C24	Ev128	
Subtotal			29 716				2'97 ha
3.9	17	1	22 027	–	–	Ev127	Alteradas por fases posteriores
Subtotal			22 027				2'20 ha
3.9	18	1	11 316	(D32)	(C29)	Ev128	Alteradas por fases posteriores
		2	13 130	D27,D34	C24,c29	Ev134	
		3	4839	–	(C23)	Ev135	
Subtotal			29 285				2'93 ha
Total			108 908				10'89 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 14. Labores mineras dentro del sector 3.9 de Las Médulas.



Figura 48. Sector más oriental de Reirigo (sector 3.9). Las flechas indican los afloramientos del zócalo visibles en la corta.

abastecimiento de los canales C23 y C24 y posiblemente también con el C22. Este canal sirvió también seguramente para llevar a cabo las prospecciones que se documentan en las trincheras T22. Pero en la actualidad solo podemos apreciar con claridad el uso de los depósitos D24 y D26, abastecidos respectivamente por C23 y C24, sobre el frente de explotación de la labor 16.3. En lo alto de la labor 17.1 es donde se conservan las huellas de los túneles por donde debían de discurrir los canales para trabajar en este sector y en el sector 3.8. Dichos túneles, conocidos como las Galerías de Yeres, tienen que formar parte de la red alimentada por C29, el canal más alto que abastece esta zona desde Campo de Braña.

El sector 3.9 de Reirigo y El Barreiro es el único que vierte todos sus estériles en dirección sur, hacia el Cabrera, a través de cuatro canales de evacuación que convergen en el Ev128 en Reirigo y mediante los canales de evacuación 134 y 135 en la zona de El Barreiro. Junto a una pequeña parte del subsector 3.7 y, sobre todo, de la mayoría del 3.8, el sector 3.9 es el responsable de buena parte de la acumulación de estériles en la cola de lavado E5 de los arroyos de Rebordelo y de Boqueirón (también conocida como «de Yeres»).

El sector de explotación 3.10 (tabla 15 y figs. 49 y 50) está formado en esencia por dos grandes zanjas-canales, el barranco de Furnias (labor 26.1) al norte y El Couso (labor 27.1) al sur. En realidad, los trabajos se iniciaron explotando unos retazos de conglomerado existentes en la zona baja, en Val da Mola, que posteriormente quedaron casi totalmente cubiertos por los estériles, E6, procedentes de las dos grandes zanjas-canales. El barranco de Furnias y El Couso son un excelente ejemplo de las explotaciones romanas de ese tipo, es decir de una *arrugia* hecha sobre yacimiento secundario en la que el agua se utiliza para erosionar el conglomerado *por gravedad,* por así decirlo, arrojándola directamente desde los depósitos situados en la cabecera de las labores. Obviamente, siempre se haría con la ayuda de mano de obra para deshacer el

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.10	24	1	9106	–	(C6)	–	Alteradas por esteriles
Subtotal			9106				0’91 ha
3.10	25	1	8173	–	(C8)	–	Alteradas por estériles
Subtotal			8173				0’82 ha
3.10	26	1	32 262	D37 D39	C30b C30c,C31c	Ev142	
		2	3007				
Subtotal			35 269				3’53 ha
3.10	27	1	49 049	D37,D39	C30b,C30c	Ev142	
Subtotal			49 049				4’90 ha
Total			101 597				10’16 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 15. Labores mineras dentro del sector 3.10 de Las Médulas.

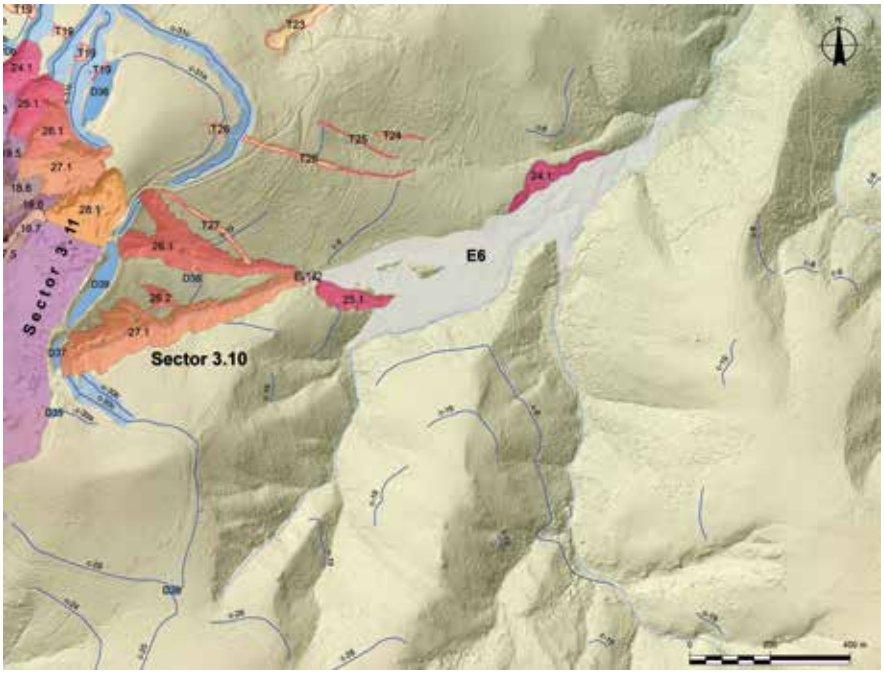


Figura 49. Detalle de las labores en el Sector 3.10 (24.1 a 27.1) de Las Médulas.



Figura 50. Foto aérea del sector 3.10 desde el este.

conglomerado. Este sistema se puede contraponer visualmente y de forma muy didáctica al empleado justo en el lado opuesto, al oeste del sector 3.10, es decir, en el *gran circo* de Las Médulas que forma el sector 3.11, donde el procedimiento utilizado fue el de la corta de minado o *ruina montium*.

Los canales de abastecimiento utilizados en las primeras fases (24.1 y 25.1) fueron seguramente C6 y C8, aunque no tenemos evidencias directas de ello a causa de la posterior acumulación de estériles. Es probable que, en una fase intermedia, es decir, para abrir los frentes de explotación en 26.1 y 17.1, se utilizase el canal C19, que pudo abastecer unos depósitos de los que nada ha quedado. Pero el grueso del laboreo se hizo desde la red de los canales C30b y C30c, procedentes ambos del depósito de distribución D28 situado en Campo de Braña y alimentando a los depósitos de explotación D37, D38 y D39. Todo eso quiere decir que las labores de este sector pudieron formar parte de los últimos trabajos mineros llevados a cabo en Las Médulas, a la par que las últimas del sector 3.11.

Efectivamente, este sector 3.10 no presenta ningún corte por trabajos mineros posteriores ni en los propios trabajos de extracción finales ni en su última red hidráulica ni tampoco en las estructuras de evacuación de estériles, que están orientadas a través del canal de evacuación Ev142 íntegramente, por primera vez, hacia el este y rellenaron el llamado Val da Mola, en la cabera del arroyo de Isorga.

Como se acaba de decir, con las de 3.10, las labores finales del sector 3.11 fueron las últimas en llevarse a cabo en Las Médulas (tablas 16a y 16b, fig. 51 a 53). El laboreo minero alcanzó en este sector su ma-

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.11	10	1	2030	–	–	(Ev145)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	2413			Ev110	
		3	13 857			Ev114	
		4	6119			(Ev145)	
		5	4768			(Ev145)	
Subtotal		29 187					2’92 ha
3.11	11	1	2509	–	–	Ev110	Muy alteradas por fases posteriores
		2	3155				
		3	25 209				
		4	28 218			Ev114	
Subtotal		59 091					5’91 ha
3.11	12	1	12 675	–	–	(Ev110)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	7364			Ev124	
		3	1973			Ev124	
		4	6591			(Ev141)	
		5	33 681			Ev139	
Subtotal		62 284					6’23 ha
3.11	13	1	715	–	–	–	Sin conexión con el resto
		2	1953			–	
		3	16 207			Ev124	Muy alteradas por fases posteriores
		4	9011			(Ev145)	
		5	26 187			(Ev145)	
Subtotal		54 073					5’41 ha
3.11	14	1	11 237	–	–	(Ev110)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	7572			Ev125 (Ev124)	
		3	12 044				
		4	6457			Ev126 (Ev137)	
		5	5580				
		6	22 479			Ev140	
		7	25 879				
Subtotal		91 248					9’12 ha
3.11	15	1	13 702	–	–	(Ev110)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	4615			Ev125(Ev124)	
		3	4469			Ev126,Ev130 (Ev137)	
		4	4507				
		5	7606			Ev131	
		6	1540			Ev132 (Ev145)	
		7	548				
		8	5668				
Subtotal		42 655					4’26 ha

Cont.

Sector	Fase	Sub fase	Área (m²)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.11	16	1	13155	–	–	(Ev110)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	7570			(Ev125,Ev124)	
		3	13340			Ev132	
Subtotal	34065						3'41 ha
Total parcial	372603						37'26 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 16a. Labores mineras dentro del sector 3.11 de Las Médulas.

Sector	Fase	Sub fase	Área (m²)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
Total parcial			372603				37'26 ha
3.11	17	1	5690	–	C20e	(Ev125,Ev124)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	3093		–	Ev133	
		3	18059				
		4	2251			(Ev145)	
		5	3132				
Subtotal			32225				3'22 ha
3.11	18	1	90480	(D34)	(C29)	Ev139	Muy alteradas por fases posteriores
		2	10815		C20a,b,c	(Ev125,Ev124)	
		3	10240				
		4	7035			Ev136 (Ev137)	
		5	4462				
		6	12677			(Ev132)	
Subtotal			135709				13'57 ha
3.11	19	1	108402	D34	C29	Ev138	Muy alteradas por fases posteriores
		2	56075	D35	C30a	(Ev139)Ev140	
		3	2572	–	C20d	(Ev125,Ev124)	
		4	6409		–	Ev137	
		5	16150				
		6	5177			(Ev132)	
		7	4021			(Ev145)	
		8	1054				
Subtotal			199860				9'15 ha
3.11	20	1	4900	–	–	(Ev137)	Muy alteradas por fases posteriores
		2	6032			(Ev137)	
		3	9675			(Ev-133)	
		4	142715	(D35)	C30a	Ev-140	
Subtotal			163322				16'33 ha

Cont.

Sector	Fase	Sub fase	Área (m^2)	Abastecimiento		Canal de evacuación	Observaciones
				Depósito	Canal		
3.11	21	1	5592	–	C21b	Ev137	
		2	6540				
Subtotal			12 132				1'21 ha
3.11	22	1	6132	–	C19b,C20a	(Ev137)	
Subtotal			6132				0,61 ha
3.11	23	1	8617	–	–	(Ev137)	
Subtotal			8617				0'86 ha
3.11	24	1	9977	–	C31b	(Ev133)	
Subtotal			9977				1'00 ha
3.11	25	1	11 951	D39	C31c	(Ev132)	
Subtotal			11 951				1'19 ha
3.11	26	1	11 013	–	–	(Ev132)	
Subtotal			11 013				1'10 ha
3.11	27	1	21 105	–	–	(Ev132)	
Subtotal			21 105				2'11 ha
3.11	28	1	22 975	D39	C31c	145	
Subtotal			22 975				2'30 ha
Total			1 007 621				100'76 ha

Referencias entre paréntesis: relación entre las estructuras muy probable, pero no directa

Tabla 16b. Labores mineras dentro del sector 3.11 de Las Médulas.

yor potencia y las técnicas de explotación aplicadas fueron sin duda las más sofisticadas de las empleadas en el mundo antiguo. El problema fundamental consistió en alcanzar los niveles más rico en oro, los de la Formación Santalla. Para ello era preciso remover el gran recubrimiento de la Formación Las Médulas, que en este sector superaba los 100 m de potencia. Para conseguirlo, en la gran mayoría del sector se llevaron a cabo cortas de minado, lo que Plinio el Viejo describe como *ruina montium*.

En último término, el procedimiento de la *ruina montium* consistía en abatir toda la potencia del conglomerado de una sola vez y posteriormente proceder a su tratamiento mediante lavado y evacuación de estériles, seguramente de forma selectiva.

El modo exacto de trabajo para llevar a cabo estos derrumbes de una sola vez ha sido sometido en este trabajo a una revisión, ya que su interpretación ha sido siempre relativamente conflictiva (ver al efecto el apartado 9 y, más en particular, el 9.3). Los principales problemas radican en la falta de evidencias directas para realizar esa interpretación. Por un lado, el propio derrumbe de la masa de conglomerado minada y su posterior lavado y evacuación eliminó las evidencias de las operaciones realizadas para conseguirlo. Por otra parte, la erosión de los frentes de explotación y la acumulación a sus pies del material erosionado impide ver esa zona situada precisamente en la base de los frentes, que podría contener buena parte de las claves para su interpretación.

Lo que resulta evidente es que el corte prácticamente vertical de los frentes de explotación (figs. 51 y 52) indica que en las cortas de minado todo el conglomerado se vino abajo de un golpe, mediante una sola

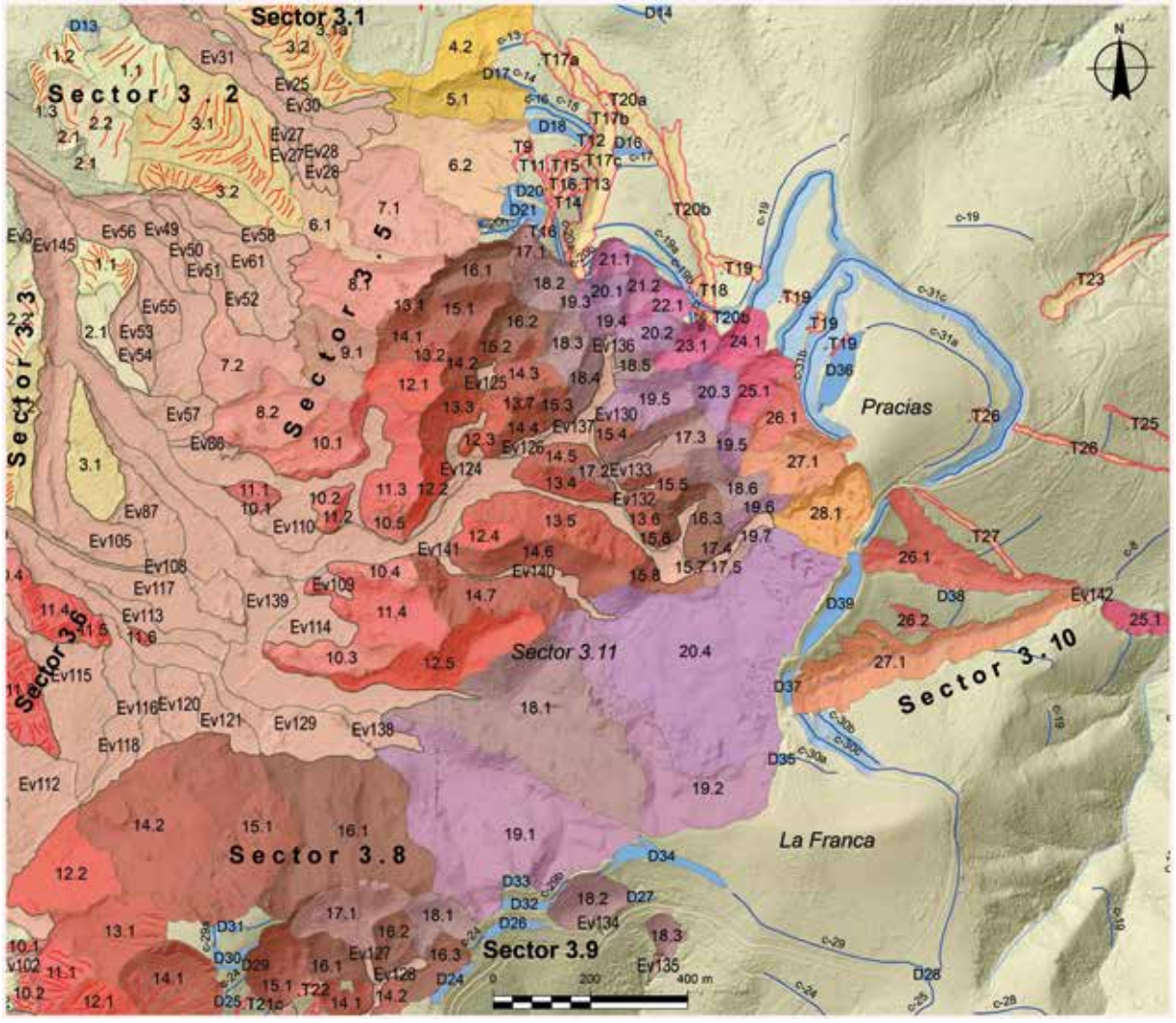


Figura 51. Detalle de las labores en el Sector 3.11 (10.1 a 28.1) de Las Médulas.

operación cuyas características es necesario valorar al menos de forma hipotética.

La red hidráulica de las fases 10.ª a 16.ª quedó prácticamente eliminada por el posterior avance de la mina. Y algo parecido sucede casi hasta la última fase de este sector, la 28.ª, que es la única que conserva de forma íntegra su red hidráulica. Pero entre medias hay diversas evidencias que son de sumo interés en el abastecimiento de agua a las labores del sector 3.11.

Una de ellas es la existencia de una red de canales, que hemos agrupado dentro de la denominación común C20, que participan en la explotación de las fases 17.ª a 22.ª. Se trata de 9 pequeños ramales, C20a a C20i, que discurren con notable pendiente, de forma que, salvo el C20g, todos son valgones. No tenemos evidencias directas de dónde pueden proceder, porque en todos los casos el punto desde donde salen fue eliminado. Su origen puede ser diverso, pero lo más probable es que procedan de la red alimentada por C30a y D35 o por C31a y D36, los primeros cortados por la labor 19.2 y los segundos por el valgón a través del cual discurre C31b.



Figura 52. Foto aérea del Sector 3.11 desde el sur.



Figura 53. Foto aérea desde el oeste del entorno del Monte Pracias, en el Sector 3.11, con indicación de las estructuras mineras.

Otra circunstancia destacable es la superposición de dos fases de valgones formadas sucesivamente por C31b y C31c. El primero discurría por la ladera oeste del monte Pracias y el segundo lo hace por la ladera este. C31b pudo tener su origen en el depósito D35, mientras que C31c lo tiene con seguridad en D39.

En definitiva, en el entorno del monte Pracias se aprecian claramente cuatro fases sucesivas de la red hidráulica que abasteció las últimas labores en Las Médulas (figs. 51 y 53):

- La alimentada por el canal C19, que es el segundo más alto de los procedentes de la Valdueza por la vertiente norte. Fue cortado, tanto por las labores del sector 3.10, como por las trincheras de prospección en la zona (T19, T23, T26 y T27).
- La abastecida por el canal C31a y el depósito D36, que es cortada también en dos puntos: el canal de explotación o emisario que sale de D36 es cortado por el valgón del canal C31b y el canal C31a es cortado por el frente de explotación de la última labor, 28.1.
- La fase en que entra en funcionamiento el canal de abastecimiento C31b que discurre por un ancho y pendiente valgón. Corta al emisario de D36 y dos veces a la trinchera de prospección T19. Es cortado a su vez por tres estructuras: por las labores en 24.1 y en 27.1 y por el canal C31c.
- La última estructura hidráulica en funcionamiento de Pracias fue la del canal C31c, que, a su vez, resultó cortada por la labor 25.1.

Es por lo tanto un buen ejemplo de la continua transformación de la red hidráulica en función del avance de las labores.

La evacuación de los estériles de todo el sector 3.11 se realizó en dirección norte, hacia la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros, la mayoría de cuyos rellenos proceden precisamente de este sector. Aunque el canal de evacuación de estériles Ev145 es el gran colector de todo el sector 3.11 y, de hecho, su curso fue el seguido ya desde las primeras fases (10.1, 10.4 y 10.5), es también el que corta todos los demás canales de evacuación en su última utilización, la que procede de la labor 28.1, situada al pie del mirador de Orellán.

La topografía actual de los canales de evacuación de estériles de este sector está lógicamente alterada por la erosión y la correspondiente deposición de los materiales erosionados desde el final de la minería romana. De hecho, en los años 1990, J. Sánchez-Palencia y L. C. Pérez García realizaron unas mediciones en varios pozos excavados para obtener agua de riego en la zona de Prao Barroso, tramo de Ev145 inmediatamente más arriba del pueblo de Las Médulas, y comprobaron que el relleno postromano alcanzaba de forma casi sistemática los 8 m. Algo parecido se comprobó recientemente (Pedro Diéguez, presidente de la Junta vecinal de las Médulas, comunicación personal, 2022) al intentar sanear la captación de agua del pueblo de Las Médulas.

4 *Los canales de la red hidráulica de Las Médulas*

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Brais X. Currás
Instituto de Historia del CSIC

Juan Luis Pecharromán
Instituto de Historia del CSIC

La red hidráulica de Las Médulas es de una relevancia acorde a las labores mineras que abasteció y, como es normal, su amplitud y complejidad es fiel reflejo de la importante función que cumplió en el desarrollo de la mina de oro. Su trazado tuvo que ser renovado continuamente, captando el agua cada vez en zonas más altas a medida que avanzaba desde el valle hasta las zonas altas y montañosas de la mina. Este avance fue así en toda la minería aurífera del noroeste peninsular: de valle a monte.

Su extensión alcanza al territorio de nueve municipios de El Bierzo y la Cabrera: Carucedo, Borrenes, Puente de Domingo Flórez, Priaranza del Bierzo, Benuza, Castrillo de Cabrera, Truchas, Encinedo y Ponferrada (fig. 54).

Su importancia ha hecho que a lo largo del tiempo se hayan elaborado historias, leyendas y símbolos que forman un rico acervo popular y que permanecen vivos entre los habitantes de la zona. También han sido objeto de una reutilización como caminos o carriles para el trasiego de ganado o para la comunicación entre pueblos con uno u otro motivo. Ese uso ha contribuido en gran medida a la preservación de las estructuras hidráulicas romanas y su desaparición a partir de la gran crisis demográfica de la zona en la segunda mitad del siglo xx puede considerarse como una de las principales amenazas para la conservación y mantenimiento de los canales.

En las tablas 17a y b se resumen las principales características de todos los canales que hasta ahora se han podido identificar. Se han numerado del 1 al 32 por un orden que sigue en general su cronología a través de la vinculación con los diversos sectores de explotación de la mina. Lógicamente, en muchos casos no se puede establecer una cronología cerrada y varios canales pudieron funcionar a la par, como se ha señalado en el apartado 3 al hablar de los sectores y las fases de la explotación. Lo que es evidente es que la red hidráulica se fue construyendo según avanzaba la mina, siguiendo las necesidades que surgían en el laboreo y se fue abandonado también según iba perdiendo utilidad. Un caso extremo puede ser el soterramiento de parte del trazado de los canales por las acumulaciones de estériles. Así ocurrió con el

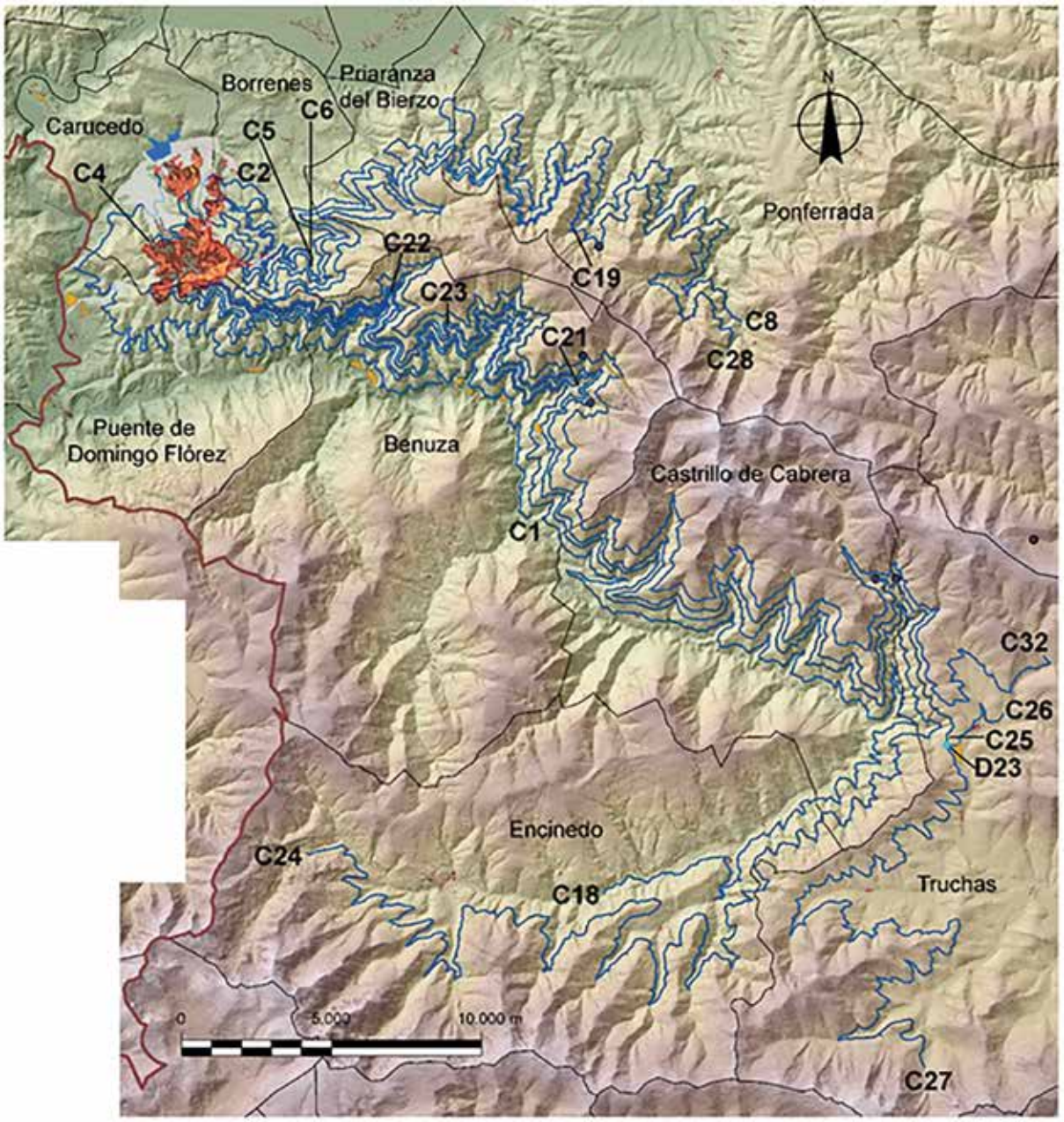


Figura 54. Canales que forman parte de la red hidráulica de Las Médulas.

Canales	Longitud	Z inicial	Z final	Desnivel	Pendiente (%)	Observaciones
Canal 1	51345	635	532	103	0,20	
Canal 2	4351	595	580	15	0,34	Trazado cortado
Canal 3a	617	651	644	Solo se conservan en un tramo muy reducido, insuficiente para definir su desnivel y pendiente		
Canal 3b	225	658	656			
Canal 3c	261	670	668			
Canal 4	4666	704	696	8	0,17	Trazado cortado

Cont.

Canales	Longitud	Z inicial	Z final	Desnivel	Pendiente (%)	Observaciones
Canal 5	13 194	727	696	31	0,23	
Canal 6	9196	748	724	24	0,26	
Canal 7	104	762	745	Tramos reducidos que discurren por un valgones bastante pendientes		
Canal 7a	61	751	745			
*Canal 7b – 7d	724	Ver tabla 17b con desglose de los canales				
Canal 8	77 535	920	794	126	0,16	
**Canal 8a – 8n	2037	Ver tabla 17b con desglose de los canales				
Canal 9	251	814	812	Solo se conservan en un tramo muy reducido, insuficiente para definir su desnivel y pendiente		
Canal 10	199	744	742			
Canal 11	60	742	740			
Canal 12	30	796	795			
Canal 13	46	763	756	Solo se conservan tramos muy reducidos por un valgón bastante pendiente		
Canal 14	63	786	775			
Canal 15	156	790	788	Se conservan tramos muy reducidos, que no permiten definir su desnivel y pendiente		
Canal 16	147	797	796			
Canal 17	208	806	803	Dos tramos, desnivel y pendiente no definible		
Canal 18	98 755	931	781	150	0,15	
Canal 19	41 906	1042	866	176	0,42	
Canal 19a	365	841	825	Discurren por valgones de una pendiente bastante pronunciada		
Canal 19b	249	845	842			
***Canal 20a - 20i	589	Ver tabla 17b con desglose de los canales				
Canal 21	35 312	893	845	48	0,14	
Canal 22	10 322	916	908	8	0,08	
Canal 23	18 317	961	925	36	0,20	
Canal 24	154 024	1231	940	291	0,19	
Canal 25	83 092	1240	974	266	0,32	
Canal 26	3842	1253	1240	13	0,34	
Canal 27	43 459	1342	1240	102	0,23	
Canal 28	57 500	1114	974	140	0,24	
Canal 29	464	974,5	975	El trazado que poseen o conservan es bastante corto, a veces por valgones de fuertes pendiente. No se puede definir su desnivel y pendiente		
Canal 30a	101	974	974,5			
Canal 30b	162	971	924			
Canal 30c	758	975	937			
Canal 31a	661	946	937			
Canal 31b	986	939	864	75	7,61	Fuerte pendiente por tratarse de valgones
Canal 31c	1235	938	891	47	3,80	
Canal 32a	44 272	1337	1287	50	0,19	
Canal 32b	17 760	1287	1216	71	0,40	
Canal 32c	24 929	1196	1100	96	0,39	
Canal 32a,b,c	86 961	1337	1100	237	0,27	
Canal 32d	2421	1100	994	106	4,37	Pendiente de valgón
Canal 32	89 382	1337	994	343	0,38	
Total	806 957				****0,23	

*/**/*** Ver tabla 17b. ****La media de pendiente está hecha sobre 15 canales (fondo gris). Además de los que tienen una longitud muy reducida, quedan excluidos el 2 y el 4 por haber sido cortado su trazado y 31b, 31c y 32d por tratarse de valgones.

Tabla 17a. Canales de abastecimiento de la red hidráulica de Las Médulas.

*Canales de abastecimiento 7b a 7d				
Canales	Longitud	Z inicial	Z final	Observaciones
Canal 7b	512	745	744	Se aprecian sólo en el vuelo americano B de 1956. No se puede precisar ni su desnivel ni su pendiente
Canal 7c	41	745	744	
Canal 7d	171	743	740	
Total	724			
**Canales de abastecimiento 8a a 8n				
Canales	Longitud	Z inicial	Z final	Observaciones
Canal 8a	142	701	687	Trazado seguro, pero sólo se conservan en un tramo muy reducido en el que discurren por valgones casi siempre. No se puede precisar ni su desnivel ni su pendiente
Canal 8b	405	749	703	
Canal 8c	51	735	735	
Canal 8d	25	748	746	
Canal 8e	373	784	725	
Canal 8f	43	791	778	
Canal 8g	17	791	788	
Canal 8h	24	787	787	
Canal 8i	275	790	759	
Canal 8j	21	788	782	
Canal 8k	100	781	772	
Canal 8l	82	782	775	
Canal 8m	330	794	745	
Canal 8n	149	795	776	
Total	2037			
***Canales de abastecimiento 20a a 20i				
Canales	Longitud	Z inicial	Z final	Observaciones
Canal 20a	24 + 88	853	844	Trazado seguro, pero se conservan sólo en pequeñas partes que, en su gran mayoría, discurren por valgones de fuertes pendientes, de modo que no se puede precisar una media de desnivel y pendiente
Canal 20b	26	847	845	
Canal 20c	93	849	845	
Canal 20d	12	850	846	
Canal 20e	21	858	857	
Canal 20f	102	864	855	
Canal 20g	33	869	865	
Canal 20h	175	870	835	
Canal 20i	15	858	853	
Total	589			

Tabla 17b. Desglose de los canales de abastecimiento 7b-7d, 8a-8n y 20a-20i.

canal C1 por las colas de lavado E2, E3 y E4, con el C2 o C5 por E1 o con el C5 y C6 por E6. Los cortes de la red hidráulica por los propios trabajos mineros son innumerables, como también se ha destacado ya en el apartado 3 y puede comprobarse en la cartografía adjunta a este trabajo.

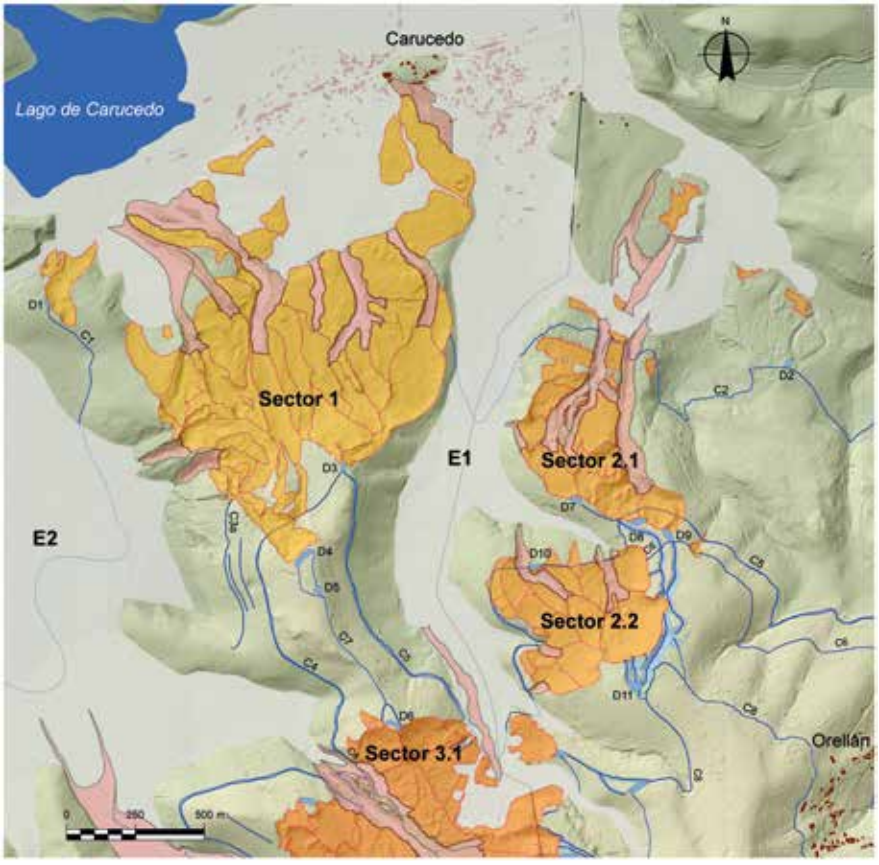


Figura 55. Red hidráulica de Las Médulas en las inmediaciones de los sectores 1, 2.1 y 2.2.

Una primera diferenciación general es la vinculación de los diversos canales a los sectores de explotación. Puede decirse que la realización de los trabajos mineros en los sectores 1 y 2 se hizo con los canales C1 a C8 (fig. 55). Los otros 24 canales solo entraron en funcionamiento a partir de las labores iniciadas en el sector 3 (fig. 56). La gran diferencia entre los sectores 1 y 2 y el 3 está justificada, no tanto por la diferencia de cota entre las zonas más bajas y más altas explotadas en cada sector (254 m en el sector 1, 280 m en el 2 y 319 m en el 3), cuanto en la diferencia de material removido en los sectores y en la distancia entre las zonas de explotación del conglomerado aurífero y las de depósito de los estériles. Hay que tener en cuenta que la energía hidráulica no solo era fundamental en el proceso de abatimiento o extracción y lavado del conglomerado, sino también en el transporte y evacuación de los estériles.

Una segunda diferenciación que se puede hacer deriva de la vertiente de donde proceden y de la extensión que alcanza cada canal (tabla 18):

- De los 806 957 m de canales, 8407 m corresponden a 13 canales (incluyendo varios ramales) de corto recorrido o conservados solo muy parcialmente en su trazado visible y reconocible. Todos ellos se sitúan en las inmediaciones de la mina, cuyo avance fue el principal motivo para que su trazado solo se conozca parcialmente, lo que no anula la importancia que pudieron tener en sus respectivas fases de explotación.
- El resto, 798 550 m, pertenecen a otros 19 canales de trazado más amplio y mejor conocido en general (también cuentan con ramales). De estos, el recorrido es reconocible por algún medio a lo largo de 340 134 m y

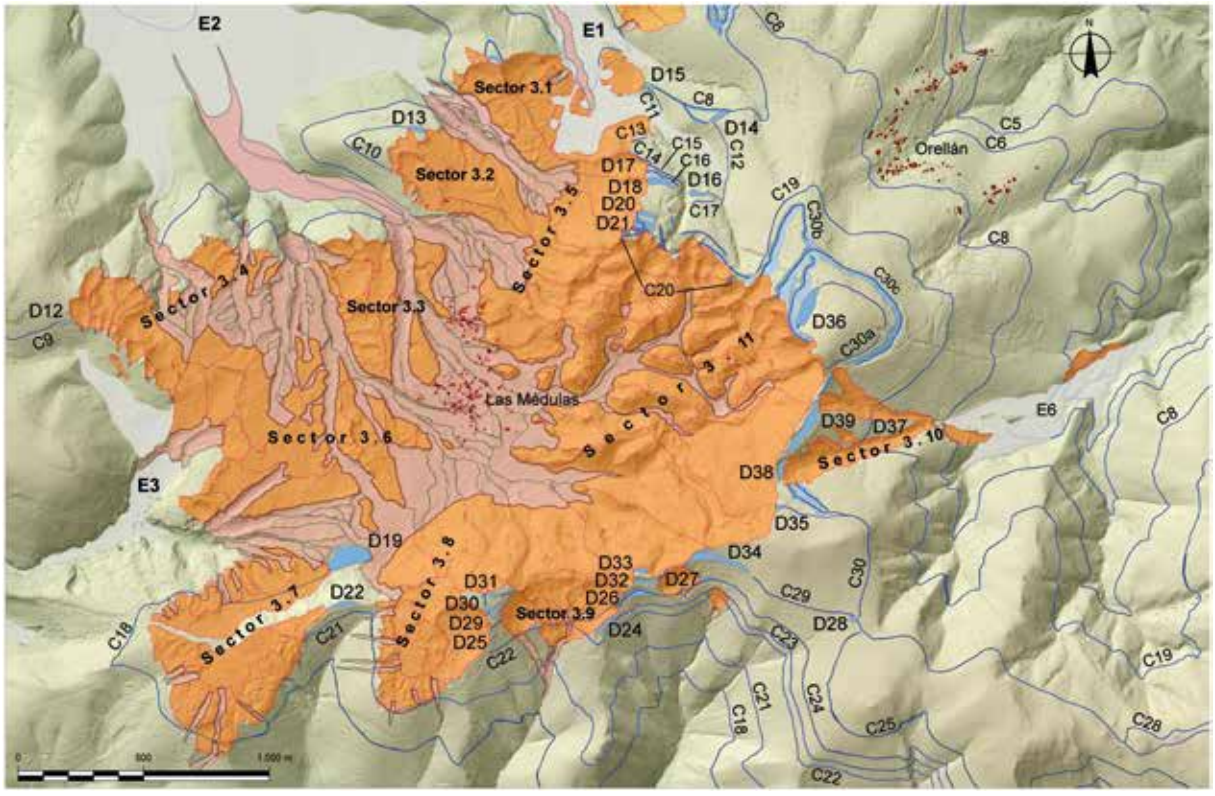


Figura 56. Red hidráulica de Las Médulas en las inmediaciones del sector 3.

en otros 458 416 m dicho trazado no es claramente visible y es necesario reconstruirlo con un elevado porcentaje de certeza. Así pues, en estos canales de mayor extensión, el trazado visible alcanza un 42,59 % del total, mientras que el 57,41 % restante, bastante más de la mitad, no es visible de forma clara, aunque hay que precisar que las mejoras constantes en las resoluciones de los medios de teledetección (en especial LiDAR) hacen posible una cada vez más precisa identificación de tramos nuevos. Pueden dividirse según su procedencia en canales de la vertiente sur, de donde proceden 11, y canales de la vertiente norte, desde donde vienen 8. Si trazásemos una línea que dividiese en esas dos vertientes toda la mina, haciendo pasar la divisoria de aguas por las cotas más altas, es decir, desde El Soutin al norte hasta el monte de La Franca al sur, los canales procedentes de la vertiente sur se incrementarían con los C3, el C4, el C9 y el C10, alcanzando así un total de 15, mientras que los de la vertiente norte sumarían del C11 al C17 y los C20, lo que sumaría 16; los C7 quedarían en medio. Pero, dado el exiguo recorrido que se ha conservado de la mayoría de ellos, esa interpretación sería un poco arriesgada.

A continuación, se van a hacer unas breves consideraciones sobre esos canales de los que se conserva muy poco recorrido en las inmediaciones de la mina y, después, se dedicará más de espacio a explicar las principales características de los canales más extensos de las vertientes meridional y septentrional.

Canales C3a, b y c: solo se conservan en un corto trazado sobre la ladera occidental de El Soutín, entre los sectores 1 y 3. En todo caso, es seguro que sirvieron para explotar el sector 1 por debajo de la fase 5.ª. En el canal C3b, en el punto donde

alcanzaría las labores del sector 1 (concretamente en la parte más baja de la labor de la fase 6.2), se aprecia sobre las fotografías aéreas estudiadas un posible ensanchamiento. Podría tratarse, bien del inicio de un depósito de explotación hasta el que llega el canal, bien de un valgón en el que el canal se introdujese para llegar hasta una zona de explotación a cota bastante más baja.

Canal C4: solo se reconoce en las inmediaciones de las últimas labores del sector 1, antes de alcanzar la labor de la fase 6.2 (la última de todas) y entre esta y el depósito D3 al que abastecería. Podría nacer en los arroyos que drenaban hacia el norte la zona de Las Médulas, hacia la cota 705 un poco más arriba de Val Bello. Pudo participar en la gran mayoría de la explotación del sector 1.

Canal C7a, b, c y d: entre el sector 3.1 y la parte superior del sector 1, lugar conocido como El Soutín, no hay mucha diferencia de cota. Pero, en todo caso, para salvar ese desnivel se construyó un valgón por el que transcurría el canal C7. El final de dicho valgón está a 744 m, mientras que el depósito más alto sobre el frente de explotación del sector 1, el D4, se encuentra a 740-742 m. El tramo final del valgón de C7 salvaba casi 20 m de desnivel, de 762 a 744 m. No tenemos evidencias directas del canal de abastecimiento C7 entre el mencionado valgón y D4, pero su trazado por uno u otro lado, o por ambos incluso, de la cresta de El Soutín (752 m) no ofrece ningún tipo de problema. Cerca ya de D4, existe otro depósito, D5, cuya función exacta no se puede precisar; quizás corresponda a un momento algo anterior y se utilizase para distribuir agua hacia las diversas labores, al este y oeste, de este sector.

Canal C9: el depósito de explotación D12 y su canal de abastecimiento, C9, solo sirvieron para una primera fase de las labores en el sector 3.4, ya que el avance de las sucesivas cortas, que son grandes zanjas-canales, es de noroeste a sureste, de forma que el abastecimiento desde ese extremo quedaría cortado enseguida. Su fuente de alimentación solo puede estar en el macizo calizo de la Urciñeira. No obstante, al tratarse de una zona calcárea, las fuentes que tradicionalmente se han situado en ella son abundantes, de forma que pudo servir de abastecimiento parcial en determinados momentos de la explotación.

Canal C10: es el canal que abastece al depósito D13, en el sector 3.2 y su trazado solo es claro en un tramo de unos 200 m antes de alcanzar ese depósito. Por su cota, sobre los 744-742 m, puede proceder ya del gran depósito de Chaos da Cruz, D19, que está a 780 m. Habría sido eliminado en su práctica totalidad por el avance de la explotación en las diferentes labores del sector 3. Si así fuese habría que pensar en la existencia de un tramo de valgón en algún punto intermedio, para salvar la notable diferencia de cotas entre las dos estructuras, pero esto parece ser lo más normal en otras muchas zonas de Las Médulas.

Canal C11: se trata de un canal de abastecimiento de las primeras fases del sector 3. Concretamente llega hasta el sector 3.1. Allí se introducía, en un primer momento, en un valgón, que quedó cortado por el avance de las labores. Posteriormente podría abastecer al depósito D15, antes de que fuese abastecido mediante valgones por los canales C8m y C8n. Solo se conservan 60 m claros de su trazado, pero por la cota a la que discurre (742-740 m) podría proceder en último término del depósito de agua de Chaos da Cruz, D19, o de alguno otro intermedio del que no se conservaría nada.

Canal C12: Es un canal de abastecimiento de D16, en el sector 3.5, procedente de D14. Solo es visible claramente en una treintena de metros al salir de este último depósito.

Canales C13, C14, C15, C16 y C17: forman un conjunto sucesivo de canales a lo largo de la vertiente septentrional del pico Gallegos. Apenas conservan entre 50 y 200 de su trazado, pero su importancia radica precisamente en esa secuencia progresiva, escalándose en medio centenar de metros para abastecer el progreso de las labores en el sector 3.5, donde, por primera vez, la potencia del conglomerado supera los 100 metros. El origen del abastecimiento está, salvo para C17, en la red del canal C8, que alimentaría D14, del que se nutriría a su vez el canal C12 para abastecer D16, desde donde saldrían los demás canales. En lo que se refiere a C17, que abasteció a su vez al

Canales	Longitud	Municipios*	Observaciones sobre el lugar de nacimiento
Vertiente Sur (ríos Cabrera y Eria)			
Canal 1	51 345	Ben, Pte, Car	Arroyo de Valdeolleras (Ben)
Canal 18	98 755	Enc, Cas, Ben, Pte, Car	Río Cabrera (Enc)
Canal 21	35 312	Ben, Pte	Arroyo de Valdecorrales (Ben)
Canal 22	10 322	Ben, Pte	Arroyo de Rozana (Ben)
Canal 23	18 317	Ben, Pte	Arroyo de Hortoloceños (Ben)
Canal 24	154 024	Enc, Cas, Ben, Pte	Arroyo del Lago (Enc)
Canal 25	83 092	Tru, Cas, Ben, Pte	depósito de agua D23 (Tru)
Canal 26	3842	Tru	Río Eria (Tru)
Canal 27	43 459	Tru	Río del Lago (Enc)
Canal 29	464	Pte	depósito de agua D28 (Pte)
Canal 32a,b,c,d	89 382	Tru, Cas, Ben, Bor, Pte	Río Eria (Tru)
Subtotal	588 314		
Vertiente Norte (ríos Oza o Valdueza, ayos. Isorga, Valderrío, de Ferradillo, del Val y Rimor)			
Canal 2	4351	Bor, Car	Arroyo de Isorga (Bor)
Canal 5	13 194	Bor, Car	Arroyo de Valderrío (Bor)
Canal 6	9196	Bor	Arroyo de Valderrío (Bor)
Canal 8 (+8a-8n)	79 572	Pon, Pri, Bor	Arroyo de Peñalba (Pon)
Canal 19 (+19a,b)	42 520	Pon, Pri, Bor	Arroyo de Campazas (Pon)
Canal 28	57 500	Pon, Pri, Bor, Pte	Arroyo del Silencio (Pon)
Canal 30a,b,c	1021	Bor	depósito de agua D28 (Pte)
Canal 31a,b,c	2882	Bor	C31c: depósito de agua D39 (Car)
Subtotal	210 236		
Canales cercanos a la mina que conservan poco trazado			
Canal 3a,b,c	1103	Car	quizá bajo Chaos de Maseiros (Car)
Canal 4	4666	Car	hacia Val Bello (Car)
Canal 7a,b,c,d	889	Car	cortado en sector 3.1 (Car)
Canal 9	251	Car	hacia A Urciñeira (Car)
Canal 10	199	Car	cortado en el sector 3.2 (Car)
Canal 11	60	Bor	cortado por estériles de T20
Canal 12	30	Bor	depósito de agua D14 (Bor)
Canal 13	46	Bor	cortados entre T17 y el sector 3.5 (Car, Bor)
Canal 14	63	Bor	
Canal 15	156	Bor	
Canal 16	147	Bor	
Canal 17	208	Bor	cortados entre T17 y T20
Canal 20a - 20i	589	Bor, Car	cortados entre los sctrs. 3.5 y 3.11
Subtotal	8407		
Total	806 957		

*Siglas: Ben = Benuza; Bor = Borrenes; Car = Carucedo; Cas = Castrillo de Cabrera; Enc = Encinedo; Pon = Ponferrada; Pri = Priaranza del Bierzo; Pte = Puente de Domingo Flórez; Tru = Truchas

Tabla 18. Canales de abastecimiento de la red hidráulica de Las Médulas por extensión y vertiente de procedencia.



Figura 57. Canal C1 entre Pombriego y Castroquilame, en la zona de Valdefrola.



Figura 58. Incripción de ENDIVS CARANCINIVS en el canal C1 en Valdefrola.

depósito D18, no pudo formar parte por su cota (806-803 m) de esa misma red y parece que la única posibilidad de abastecimiento fuese un valgón procedente de C19 a través de lo que luego fueron trincheras de prospección (T18 a T20).

Canales C20a a C20i: completan la secuencia del desarrollo a lo largo de la mencionada ladera septentrional del pico Gallegos, incluyendo ya las zonas más altas del lugar conocido como Selores. Se encuentran en las zonas más altas que dan al frente de explotación de los subsectores 3.5 y 3.11, desde los Jardines del Rey por el sur hasta el mencionado pico Gallegos al norte. Es evidente que todos ellos fueron cortados en sucesivos avances del laboreo minero. Se han denominado con el mismo número 20 porque podrían tener en último término un mismo origen, quizás en el depósito D36 (abastecido por el canal 31a), que conserva un pequeñísimo tramo de canal con valgón en dirección hacia esos tramos de canales C20. Pero esto no puede asegurarse, ya que también podrían proceder de otros depósitos situados a cotas más altas que ellos sobre los frentes de explotación. Discurren entre las cotas 853-844 (C20a) y las cotas 870-833 (C20h). Esto nos indica que la explotación, dentro del sector 3.11, desmanteló un terreno que al menos llegaba hasta un poco más arriba de esa cota 870. Por otro lado, estos canales C20 no discurren en la misma dirección. En una dirección aproximada sureste-noroeste lo hacen C20a y C20c; de este a oeste va C20g; de suroeste a noreste transcurren C20b y C20d; de oeste a este lo hacen C20e y C20f; de sur a norte lo hace C20i y C20h describe una curva desde oeste a este virando luego hacia el norte y el noroeste. También hay que señalar que en su mayoría fueron canales que salvaban diferencias de cotas importantes y por ello discurren por valgones. Todo ello habla de la complejidad que debieron adquirir las labores en esta zona norte del sector 3.11, algo que hace muy difícil su reconstrucción precisa.

4.1. LA RED HIDRÁULICA MERIDIONAL

La red procedente de la vertiente sur es la más grande de Las Médulas, con sus casi 600 km de extensión (tablas 17a y 18). Se nutre fundamentalmente de la cuenca del río Cabrera. Pero también alcanza a la del río Eria, tributario del Órbigo y del Esla y, por lo tanto, perteneciente a la cuenca del río Duero. Esto significa que los canales C26 y C27, que se juntan en el depósito de distribución D22 en el Alto de Peña Aguda (Corporales, Truchas) y dan lugar al canal C25, así como el canal C32 representan el primer trasvase de agua entre cuencas, de la del Duero a la del Sil-Miño, documentado hasta ahora en la historia de la península ibérica.

Canal C1

El canal C1 nace en el arroyo de Valdeolleras, al pie de la ermita de la Virgen del Valle y alcanza la mina en el depósito D1, que abasteció las primeras zonas explotadas en el sector 1. En los primeros kilómetros de su trazado es donde resulta menos visible. Abastece varias labores de la cuenca del rio Cabrera, entre ellas la de El Miédalo, inmediatamente aguas debajo de Llamas de Cabrera. Aguas arriba del pueblo de Santalavilla, un tramo fue reaprovechado parcialmente por el llamado camino de El Bierzo, que sale de dicho pueblo en dirección noreste y, con toda seguridad, sirvió para trabajar las dos cortas existentes en el mismo pueblo, así como otra situada en la ladera occidental del siguiente arroyo aguas abajo. Su utilización en estas cortas se debió de producir una vez que dejó de usarse en Las Médulas.

La zona donde está mejor conservado es entre Pombriego y Yeres. En ese tramo es donde se sitúa una de las inscripciones documentadas en estos canales (figs. 57 y 58). También en este tramo fue donde se realizó un corte sobre el C1 en 2022 para estudiar su estructura y obtener muestras para datación y análisis.

Canal C18

Es el segundo más largo de la red hidráulica de Las Médulas y uno de los que mejor se conserva. Nace en el mismo río Cabrera, un poco aguas arriba del pueblo de Encinedo. A su paso por Odollo ha sido parcialmente afectado por la cantera de pizarra allí existente.



Figura 59. Túnel excavado en la roca para dar paso al canal C18 al norte de Llamas de Cabrera.

A su paso por Llamas de Cabrera cuenta con uno de los tramos más interesantes de todos los canales de Las Médulas. En él están dos de las inscripciones hasta ahora documentadas y se puede recorrer todo su trazado a lo largo de más de 1 km, incluyendo un túnel (fig. 59) y varias obras de contención muy espectaculares. Ha sido objeto de un sondeo en 2022 donde se ha documentado su estructura.

Dentro de Las Médulas abasteció uno de los depósitos, D19, más importantes para la explotación de las zonas con menos recubrimiento de la Formación Las Médulas, ya que, por su cota (780 m), pudo servir para las labores en los sectores 3.1 a 3.6, excluidas las partes más altas de los sectores 3.4 y 3.5.

Canal C21

Nace en el arroyo de Valdecorrales, un poco aguas arriba del tramo tan bien conservado del canal C18 antes mencionado, en Llamas de Cabrera. Aunque sus tramos bien conservados no son muy abundantes, sí son bastante regulares a lo largo de todo su recorrido. Precisamente una de las zonas donde resulta menos visible es inmediatamente antes de llegar a la mina.

No podemos determinar dónde finalizaba en la mina, puesto que sus tramos finales fueron destruidos por el avance de los trabajos. Pero sin duda pudo



Figura 60. El trazado del canal C21 a su paso por Llagua de Yeres, cortado por los canales de evacuación del sector 3.8.



Figura 61. Trazado del canal C24 parcialmente destruido por una cantera en las inmediaciones del arroyo de Biforcos (Villarino, Truchas).

reemplazar a C18 en el abastecimiento de aquellas zonas del sector 3.4 y 3.5 a los que no llegaba por cota y también pudo ser utilizado en buena parte del sector 3.7 e incluso del 3.11, actuando a la par que C19 desde la vertiente septentrional.

Su inutilización se produjo al ponerse en marcha las labores en el sector 3.8 de Llagua de Yeres, donde se aprecia claramente sobre el terreno cómo quedó cortado por los primeros canales de evacuación en esta zona (fig. 60).

Canales C22 y C23

Se tratan conjuntamente estos dos canales porque presentan una particularidad muy destacable y con la que solo ellos dos cuentan: su relativa proximidad en la cota por la que discurren, de 28 m en el nacimiento de C22 y entre 10 y 12 m en las inmediaciones del sector 3.

El canal C23 nace en el arroyo de Hortoloceños, que va a desembocar en el Cabrera a la altura de Santalavilla. Nace muy pocos metros por debajo del trazado del canal C24, del que se va separando progresivamente. El canal C22 nace en el arroyo de la Rozana, entre Pombriego y Castroquilame.

Ambos canales alcanzan la mina en las labores que dan a Yeres y al río Cabrera, llegando hasta el sector 3.8 el C22 y hasta el sector 3.9 el C23, donde se pierden respectivamente destruidos por el avance minero. Sin duda, su construcción tiene que ver con la intensificación de los trabajos en el sector 3.11.

Canal C24

Es el más largo de todos los canales de Las Médulas y uno de los que conserva más tramos de su trazado visibles. Nace en el arroyo del Lago, así denominado porque procede del lago de La Baña. Este primer





Figura 62 y 63. Tramos del canal C24 en la zona de Valle Airoso o Lleiroso (Llamas de Cabrera), uno cortado en la roca y otro abancalado.



Figura 64. Tunel del canal C24 sobre un crestón de cuarcita en la zona de Valle Airoso o Lleiroso (Llamas de Cabrera).

tramo solo es visible en los vuelos más antiguos ya que ha sido totalmente alterado por una gran pizarrera de La Baña. Su trazado hasta el río de Santa Eulalia no es muy visible, pero a partir de ahí se hace más evidente sobre el terreno. Poco después, en la margen izquierda del arroyo de Biforcos, otra cantera de pizarras ha alterado también su curso (fig. 61).

En Llamas de Cabrera, atraviesa La Corona de Carracastillo y se conserva excelentemente sobre la margen izquierda del arroyo de Valdecorrales, en la zona de valle Airoso o Lleiroso (figs. 62 y 63). Al norte de Llamas se conservan dos túneles en el trazado del canal (fig. 64). En la misma localidad, debió de servir para explotar las labores sobre yacimiento secundario situadas inmediatamente al norte del pueblo y también tuvo que utilizarse en las labores sobre primario situadas aguas arriba.

En Las Médulas es visible tanto antes del sector 3.8, donde abasteció al depósito D25, como antes del sector 3.9, donde abasteció a D26 y D27. Al igual que los dos anteriores canales, su suministro tuvo que ser, sin duda, muy utilizado en el avance de las labores del sector 3.11.





Figuras 65 y 66. Tramo del canal C27 y detalle de una zona cortada en la roca del mismo, entre Iruela y Villarino (Truchas).





Figuras 67 y 68. Canal C26 por debajo de la ermita de Pedrosa (Corporales, Truchas), hacia finales de los años 1970 (Sánchez-Palencia y Pérez 2000, fig. 220) y en la excavación de 2022.

Canales C25, C26 y C27

El canal C27 es el que nace a una cota más alta de todos los conocidos en Las Médulas, lo hace a 1342 m (figs. 65 y 66). Capta en el río del Lago, que viene del lago de Truchillas y va a desembocar en el río del mismo nombre, que a su vez es tributario del río Eria en su cuenca alta. Es visible de forma bastante regular a lo largo de todo su trazado, que desemboca en el depósito de distribución D22, en el alto de Peña Aguda.

El canal C26 nace en el río Eria, aguas arriba del barrio de Pedrosa. A finales de los años 1970 se podía ver todavía una presa hecha con cantos dispuestos, según el habla popular del lugar, «a cote» (Abel Liébana, de Corporales, comunicación personal, año 1979), es decir, ofreciendo su lado más fino contra la corriente. Se hallaba en un punto si no exacto, sí muy aproximado al que debía de ocupar la antigua presa de derivación romana que marcaba su nacimiento. De hecho, su primer tramo podría ser el mismo que el de una acequia que servía para regar varios prados en aquel entonces. A continuación, su cauce excavado en la roca era, y es, visible en varios puntos más por debajo de la ermita de Pedrosa (fig. 67). En uno de ellos se llevó a cabo un sondeo en 2022 (fig. 68) que puso al descubierto claramente su sección y sirvió para su datación.

Este canal en concreto era perfectamente conocido por los habitantes de Corporales porque la arena fina acumulada en su cauce sirvió muchas veces como suministro de material para hacer cemento, de ahí que su caja quedase al descubierto en muchos



Figura. 69. Paso del canal C25 por encima del foso de la Peña del Castro de Saceda (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, fig. 100).

puntos cercanos al pueblo. El canal finaliza, convergiendo con C27, en el depósito de distribución D22.

Así pues, el canal C25 nace en ese depósito D22 de la unión de las aguas aportadas por C26 y C27. Está bastante bien conservado a lo largo de su trazado inmediatamente después de salir de dicho depósito, donde desde muy antiguo también fue limpiado con el mismo fin que el señalado para C26 en Corporales. Una de esas zonas limpias inmediata al Alto de Peñaguda, que se acabó de poner al descubierto con motivo de la realización de las carreteras que unen la Cabrera Alta y la Baja, fue aprovechada en 2022 para llevar a cabo un sondeo en un tramo donde la caja del canal está excavada en más de un metro en la pizarra (fig. 69).

Lamentablemente, a continuación de ese tramo sondeado, al otro lado de la carretera que baja desde el alto de Peña Aguda en dirección a la Cabrera Baja, recientes intervenciones incontroladas (o sin el control adecuado) han puesto al descubierto de forma absurda varios tramos de canal, arrojando la tierra extraída en las proximidades y despreocupándose de cualquier mantenimiento posterior, lo que ha causado frecuentemente su encharcamiento y está contribuyendo sin duda al deterioro del canal (fig. 70).



Figura 70. Paso del canal C25 por encima del foso de la Peña del Castro de Saceda.

Uno de los mejores segmentos es aquel convertido en carril, en la margen derecha del río Cabo, poco antes de que este desemboque en el Cabrera, precisamente en la ladera frente a Peña Aguda y donde pasa por uno de los fosos del pequeño asentamiento del Castro de Saceda.

Justo antes de ese tramo, al noreste de Saceda de Cabrera, el canal C25 pasa por dos zonas de represa. Con tal denominación se quiere decir que el cauce del canal, al atravesar un arroyo o vaguada, no mantiene

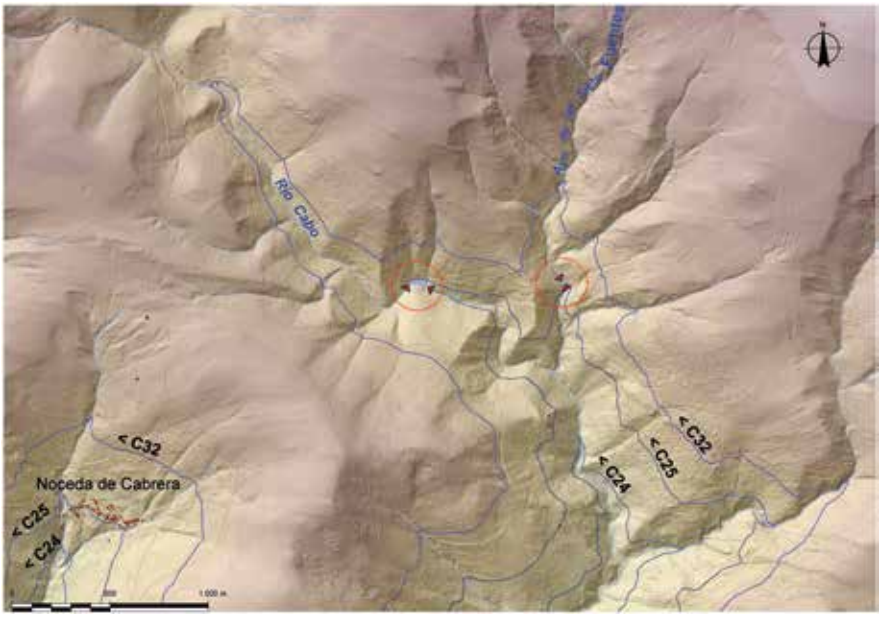


Figura 71. Zonas de represa (marcadas con círculo rojo) del canal C25 sobre el arroyo de Siete Fuentes y sobre el río Cabo.

su cota, sino que al llegar vierte sobre el arroyo o vaguada su caudal y lo recupera, con la posible aportación del caudal del propio arroyo, represando la corriente aguas algo más abajo, seguramente mediante una simple presa de derivación. Eso es lo que ocurre con C25 al cruzar el arroyo de las Siete Fuentes (Corporales, Truchas) y, un poco después, al pasar el mismo río Cabo (Saceda de Cabrera, Castrillo de Cabrera) (fig. 71). El salto en el primero es de 9 m (1218 a 1209 m) y en el segundo de 26 m (1206 a 1180 m).

Otro punto interesante de su trazado se encuentra nuevamente en la zona del valle Lleiroso, en Llamas de Cabrera, donde su trazado vuelve a apreciarse bastante bien y donde, nuevamente, atraviesa por una zona de represa. En este caso, se sitúa sobre el arroyo de la Petadura, afluente del arroyo Valdecorrales por la derecha, y el salto es de 12 m (desde 1066 hasta 1054 m). En esa misma zona el canal C25 pudo ser perfectamente utilizado para el desarrollo de las labores sobre primario situadas al norte Llamas de Cabrera.

El Canal C25 finaliza en el depósito de distribución D28 de Campo de Braña. En los kilómetros inmediatamente precedentes es también muy visible su trazado.

Canal C29

Es un canal de muy corto recorrido, menos de medio kilómetro, y perfectamente identificado en todo su trazado. Su función se reduce a conducir el caudal que llegaba hasta el depósito de distribución D28, en Campo de Braña, hasta los sectores situados en la vertiente del Cabrera y hacia las labores meridionales del gran sector 3.11, en cuyas fases 18.1 y 19.1 y 2 participó con seguridad a través del depósito de explotación D34.

Este canal fue objeto de una intervención (sin que se pueda precisar con certeza por parte de quien) hacia la primera mitad de los años 1990. Dicha actuación puso al descubierto la caja del canal (figs. 72 y 73), pero, al no establecerse ningún tipo de desagüe ni medida de protección, con el paso del tiempo el sondeo realizado ha ido rellenándose. En 2022 se realizó una limpieza del frente más occidental de este canal, con el fin de conocer mejor su estructura y obtener muestras para su datación y análisis.

Canal C32

El canal C32 nace en el río Eria, un poco aguas arriba del Pontón, antiguo paso sobre dicho curso formado por un gran canto rodado alargado, hoy desaparecido.





Figuras 72 y 73. Sondeo en el canal C29 hacia la primera mitad de los años 1990. Vista desde el este y desde el oeste.

Es el canal que discurre a cota más alta en su llegada a Las Médulas. De hecho, aunque su captación y trazado general se halla en la vertiente sur, algo más del último kilómetro lo hace por la vertiente norte.

A pesar de la claridad que muestra en esos inicios de su trazado (figs. 74 y 75), los siguientes kilómetros de su recorrido son muy difíciles de reconocer sobre el terreno. Solo a partir de Odollo se hace relativamente regular su visibilidad. Es obvio que tuvo que intervenir en el abastecimiento de las labores sobre primario al norte de Llamas de Cabrera, que pudieron interrumpir parcialmente su paso. Un poco más adelante, al atravesar un pequeño arroyo, tributario inmediatamente al oeste del de Valdecorrales, presenta una represa de 20 m (de 1218 a 1198 m).

A partir de ahí, el canal es muy reconocible sobre el terreno. Al sobrepasar la divisoria de términos entre Benuza y Puente de Domingo Flórez e introducirse enseguida en el de Borrenes, su curso cambia de vertiente (concretamente sobre la cota 1087), cobra una gran pendiente y se encaja en unos valgones relativamente estrechos, de forma que en los 2421 m de C32d, que forma la última parte de su trazado (tabla 17a), se pasa de 1100 m a 994, es decir, baja 106 m y lo hace con una pendiente del 4,37 %, algo propio sin duda de un trazado en valgón.

Tres collados antes de alcanzar la mina, se junta con el canal C28 procedente de la vertiente norte. Lo normal es que lo hiciese mediante un depósito de distribución que uniese ambos caudales. La topografía del terreno marca en el lugar de la convergencia una leve depresión en la cota de los 992 m y también se aprecian pequeñas manchas de humedad en algunos vuelos, en particular el PNOA del IGN de 2010, pero nada se puede decir de forma concluyente, ya que sobre el terreno la zona está muy alterada por obras





Figuras 74 y 75. Cauce del canal C32 en su trazado inicial, a la altura del Pontón sobre el río Eria y aguas un poco más abajo.

recientes relacionadas con la explotación y cuidado del monte. El hecho es que en ese punto se produce la unión para llegar hasta el depósito D28 de Campo de Braña y contribuir con ello al abastecimiento de las últimas fases de laboreo en Las Médulas.

4.2. LA RED HIDRÁULICA SEPTENTRIONAL

La red hidráulica de la vertiente septentrional se nutre en esencia de la cabecera de la cuenca del río Oza o Valdueza, pero también se alimenta de otras corrientes vertientes hacia El Bierzo hasta ahora muy poco o nada tenidas en cuenta, como son los arroyos de Rimor, del Val, de Ferradillo, Valderrío e Isorga, de este a oeste. Es evidente, en primer lugar, de acuerdo con la menor amplitud de esta cuenca hidrográfica, pero también por el propia número y extensión de los canales, que no alcanzó la importancia que tuvo la meridional, pero contribuyó notablemente al desarrollo de la mina. El hecho de que los canales situados a cotas más bajas se hallen muy próximos a núcleos de población, en los cuales existió un uso agrícola extensivo del suelo a lo largo de mucho tiempo y hasta hace muy poco, ha causado en gran medida la desaparición o, al menos, enmascaramiento de buena parte de dicha red, cosa que no sucedió de forma tan evidente en la vertiente sur, ni siquiera en las zonas más cercanas a la mina.

Canal C2

Es el primer canal de esta vertiente y un fiel reflejo del enmascaramiento que se acaba de señalar. Solo se ha identificado antes de alcanzar el depósito D2 sobre el recinto de El Cabuerco de Valdelobos, y en un pequeño tramo, solo en el vuelo americano B de 1956, en las laderas que bajan del monte del Castro



Figura 76. Repisa formada por el canal C5 junto al camino que va de Orellán a Voces.

de Orellán. Nacería en el río Isorga, aguas abajo de La Furnia y El Couso, sobre la cota de los 595 m, y podría alcanzar y abastecer a buena parte de las labores de las fases 1.ª y 2.ª del Sector 1, sobre Carucedo. Alcanzaría las zonas de explotación más orientales en la labor 3.5, entre los 584 y 585 m.

Canal C5

Se ha identificado —gracias a Luis Carrera, vecino de Orellán, que lo recordaba de cuando cultivaba la tierra en su juventud— en varios tramos al este de Orellán, atravesando el camino que va a Voces (fig. 76, donde se llevó a cabo un sondeo en 2022) y, antes, en un tramo sobre el mismo camino. Nacería en los arroyos que dan origen al Isorga, inmediatamente al sur de Voces, más concretamente en el arroyo de Valderrío.

Llegaría hasta el depósito D3 del sector 1, pero también debió de servir para explotar parte de los sectores 2.1 (Valialonga) y 2.2 (La Frisga) mediante los depósitos D7 y D10 respectivamente, como se indicó en el apartado 3. Fue cortado por los últimos trabajos en el sector 2.1 y en los primeros del sector 2.2.

Canal C6

Se conserva también en muy pocos tramos, apenas una décima parte de su trazado, por las mismas razones ya apuntadas para los canales muy próximos a núcleos de población. Nacería también en el arroyo de Valderrío, aguas un poco más arriba que el C5. Su trazado debió de diseñarse para suplir a C5 en la explotación de las últimas labores, 6.1 y 7.1, del sector 2.1 y, sobre todo, para iniciar las sin duda fructíferas primeras fases de explotación (de la 1.ª a la 4.ª) en 2.2, donde se vació completamente el conglomerado de la Formación Santalla.

Quedó cortado por el avance en las últimas fases de explotación, 5.ª, 6.ª y 7.ª, del sector 2.2. No se ha podido identificar ningún trazado suyo más allá de ese sector 2.2, pero por la altura a la que discurre podría haber participado en las labores del sector 3.1, las primeras de este gran sector de Las Médulas.

Canal C8

El canal C8 es el primero que se trazó de los que alcanzan la cuenca alta del río Oza o Valdueza: nace más concretamente en el arroyo de Peñalba, ligeramente aguas abajo de la confluencia con él del arroyo del Silencio. Aproximadamente un tercio de su recorrido es suficientemente visible, concentrándose los mejores tramos entre su nacimiento y Valdefrancos, es decir, en el tercio inicial de su recorrido. Según se acerca a Las Médulas van perdiéndose las huellas de su trazado sobre el terreno. Uno de los últimos tramos bien conservado es el que se encuentra poco antes de llegar al pie del sector 3.10 de la mina, cuyos inicios por el valle de Val da Mola tuvieron que cortar su trazado. También se detectó, por los sedimentos de arena fina de su fondo, en una de las huertas a la salida del pueblo de Orellán que cultivaba Raúl Rodríguez, vecino del mismo pueblo que nos lo comunicó en la década de los años 1990.

Este canal tuvo una gran importancia dentro del desarrollo global de la mina de Las Médulas (fig. 77). Sirvió para abastecer las últimas fases de explotación en el sector 2.1, La Frisga, prácticamente todo el sector 2.2, Valialonga, y también los seis primeros sectores del 3, 3.1 a 3.6, de forma que su largo trazado fue sin duda claramente amortizado y desempeñó una función paralela con la del canal 18 y el depósito D12 de la red meridional. Obviamente, el desarrollo de las labores hizo que su trazado solo se preservase entre los sectores 2.1 y 2.2 y el sector 3.1. En ese extenso

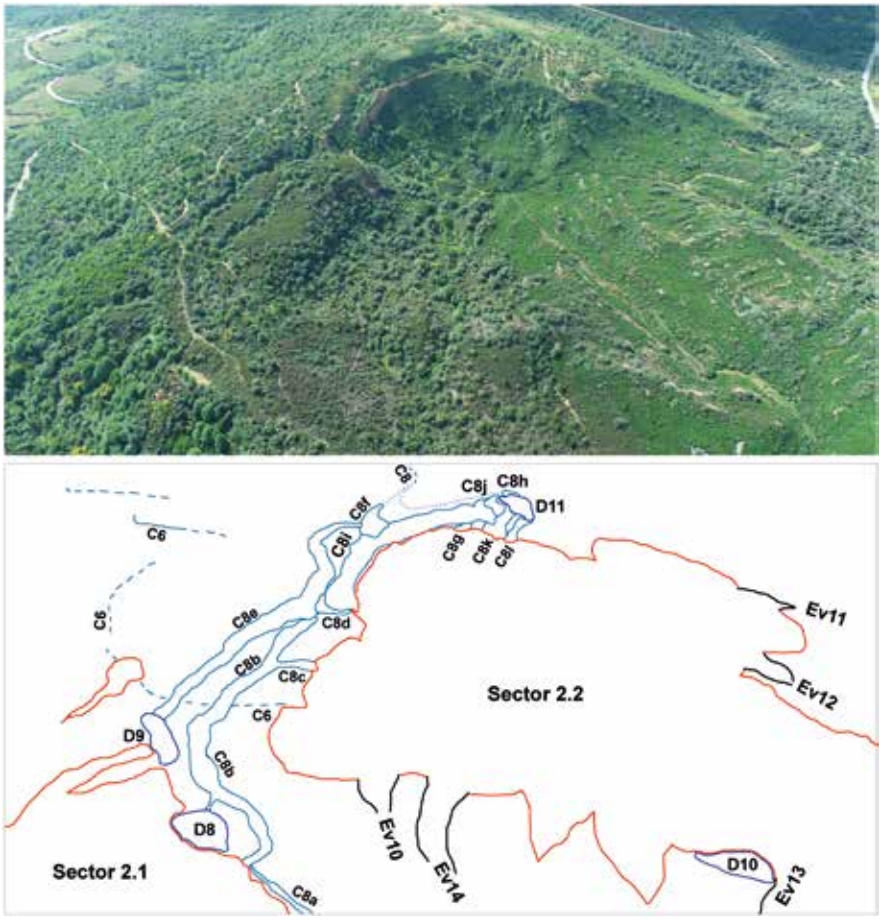


Figura 77. Panorámica desde el sur y fotointerpretación de la compleja red de valgones del canal C8 entre los sectores 2.1 y 2.2.

tramo, alimentó los depósitos D11 y D14, desde donde, a través los numerosos ramales 8a a 8n, el agua pudo alcanzar todos los sectores mencionados.

Canales C19 y C28

Al realizar el estudio del trazado de estos canales sobre el terreno —en ambos, una cuarta parte nada más es visible— surgió un problema de difícil solución y que plantea serias dudas acerca de su correcta interpretación. Se basa esencialmente en dos evidencias:

- La primera, y quizás la más importante, es que los tramos del canal C28 solo son visibles en su primera mitad, con escasas huellas en la segunda parte, desde el arroyo de Campazas hasta la zona más alta de Las Médulas. Solo se han podido identificar huellas de él en tres puntos de esta segunda parte de su recorrido. Uno, sobre la margen izquierda del arroyo de Ferradillo, unos 100 m por debajo y al oeste de la Peña del Hombre. El segundo, en las fotos aéreas de los vuelos americano B de 1956 e interministerial de 1973-1986, en la margen izquierda del arroyo de los Álamos, donde hoy existe una cantera de caliza que lo ha destruido, en el monte que separa Voces de Paradela de Muces, el mismo donde, más al oeste y a una cota algo más baja, está el asentamiento de Las Portiellas; ese canal pasaría prácticamente junto a dicho asentamiento. Por último, otro tramo se sitúa en el lugar conocido como Las Majadas, cerca ya de la mina de Las Médulas y en el lugar donde se uniría con el canal C32.
- La segunda es que el nacimiento de C19 en el arroyo de Campazas, al oeste y no lejos de

San Adrián de Valdueza, se halla solo 8 m por debajo del trazado de C28.

A partir de estas dos circunstancias, podría plantearse que los canales C19 y C28 fuesen en realidad uno solo, formado por la primera parte de C28 y la segunda de C19, de forma que el último tramo de C28, poco antes de alcanzar el depósito D28 de Campo de Braña, correspondiese en realidad al canal C32. En tal caso habría que suponer la existencia de una represa, como las ya señaladas en los canales C25 y C32 en la red meridional, a la altura del arroyo de Campazas, donde se produciría el trasvase de agua desde el primer tramo de C28 al canal C19.

De cualquier forma, ha parecido más razonable mantener la existencia independiente de los dos canales, aunque sea dudosa y sea necesario revisarlos en el futuro. Por otra parte, el trazado relativamente cercano entre sí de canales de abastecimiento ya se ha documentado también, y con claridad, en la red meridional, entre C23 y C24.

Si se considera el contexto global de la explotación, la coexistencia de C19 y C28 sería plenamente lógica, ya que cada uno de esos canales abastece sectores de explotación muy diferentes y distantes muchos metros entre sí.

C19 habría entrado en funcionamiento seguramente para iniciar las primeras cortas de minado, conjuntamente con los canales meridionales C21, C22 y C23. Los ramales C19a y C19b formaron parte, sin duda, del abastecimiento a las cortas de minado o *ruinae montium* que se llevaron a cabo en los frentes de explotación donde se hallan La Cuevona y La Cueva de la Encantada y en sus inmediaciones. Discurren en parte por valgones porque salvan distancias relativamente importantes. Su trazado se pierde en la espesa vegetación de las laderas septentrionales del pico Gallegos, donde, además, pudo ser eliminado por las labores de prospección, abundantes en esas laderas. Obviamente, abastecería el sector 3.5. Su primer tramo fue reutilizado con toda seguridad por el ramal C19b, que discurre a una cota ligeramente superior en las mismas laderas de la parte más septentrional del sector 3.11.



Figura 78. Canal C30c en el tramo conocido como Pena Escribida. En él se aprecia claramente que la erosión dejada por el agua es solo de unos 5-10 cm.

Por su parte, C28 está vinculado ya a las labores finales en la mina abastecidas desde D28, a la par que C25 y C32 por el lado meridional.

Canales C30

Los canales de abastecimiento C30a, C30b y C30c tienen su origen en el depósito de distribución D28 de Campo de Braña. El primero de ellos alimentó a su vez el depósito de explotación D35 que, al quedar cortado por los trabajos de la fase 19.2 del sector 3.11, no se puede saber exactamente cómo intervino en el desarrollo de la mina. Sí podemos dar por seguro que los ramales C30b y C30c abastecieron mediante sendos valgones a los depósitos D37 y D39 para el laboreo en los sectores 3.10 y 3.11, a pesar de que la erosión posterior a época romana ha alterado de forma importante la zona desde la cabecera de la fase 27.1, O Couso, del sector 3.10.

Estos canales son, por lo tanto, de los últimos en funcionamiento antes del abandono de la mina de oro. En 2022 se ha llevado a cabo un sondeo en el lugar conocido como Pena Escribida del trazado de C30c (fig. 78). En él se comprobó algo que ya quedó bastante claro en los trabajos previos a la declaración de Las Médulas como Patrimonio Mundial, es decir, que la única zona erosionada del cauce de los canales se reduce a unos 5-10 cm, por lo que la lámina de agua que transportaba es también de ese espesor.

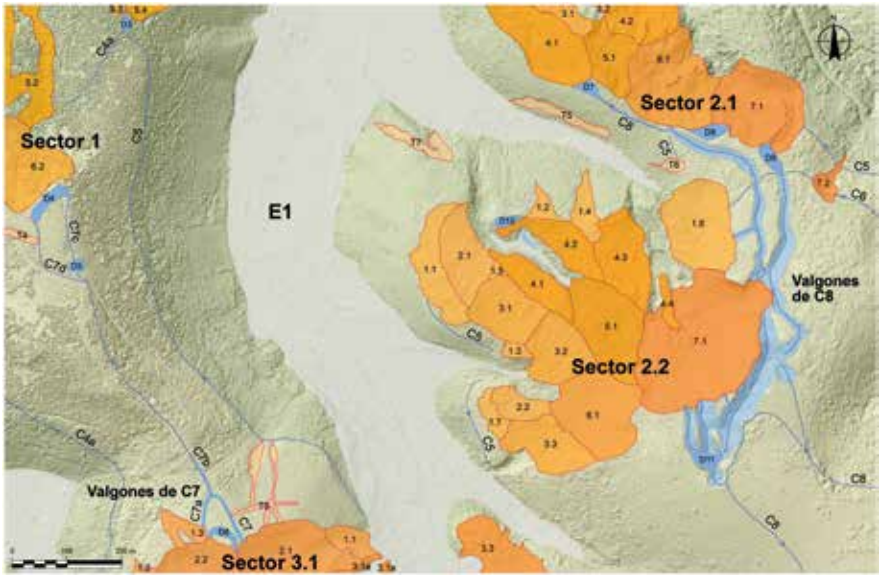


Figura 79. Valgones en canales del sector 1 y de los sectores 2.1 y 2.2.

Canales C31

Sobre los canales C31a a C31d puede decirse algo muy parecido a lo explicado respecto a los canales C30. De hecho, C31c sirvió para conducir el agua al último canal de explotación utilizado en Las Médulas, el que, a través de las galerías de Orellán, se empleó para las labores de la fase 28.1 del sector 3.11, la última en llevarse a cabo. Ese mismo canal procedía también del último depósito, el D39.

Como ya se ha dicho al describir el sector de explotación 3.11 (ver apartado 3.2), el canal C31a sirvió para abastecer al depósito D36, cuya función no podemos precisar con exactitud, ya que su canal de explotación fue cortado por el canal C31b. Este último fue cortado a su vez por la penúltima zona explotada mediante cortas de minado, la llevada a cabo en 27.1. Por todo ello no puede definirse con precisión cual es el origen ni de C31a ni de C31b, aunque lógicamente debe proceder en último término del abastecimiento que nace en Campo de Braña. No es en absoluto descartable que ambos ramales viniesen a través de valgones desde el depósito D35.

4.3. LOS VALGONES

Los *valgones* es el término acuñado para definir una estructura muy particular y hasta ahora no considerada en el estudio de la minería romana.

Es además muy representativa, aunque no exclusiva, de Las Médulas. Se trata de unos canales mucho más anchos y profundos de lo normal, utilizados para conducir el agua en zonas donde la pendiente es excesiva, de modo que solo con esos cauces más hondos y amplios es posible controlar y conducir el agua hasta el punto deseado. El término procede de la denominación popular, O Valgón, que se le da a una de estas estructuras que rodea el monte Pracias (fig. 80), la que sirve para conducir el abastecimiento hidráulico desde el depósito D39 hasta el otro lado del monte a través del canal C31c. De cualquier forma, el término en sí es genérico y también se usa en otras zonas de las propias Médulas para denominar a pequeñas hondonadas o valles, entre ellas algunas que pertenecen a labores mineras, como es el caso de O Valgón para las labores de las fases 17.2 y 17.3 en el sector 3.11, o a accidentes naturales, como es el llamado Valgón da Balouta, que se refiere al estrecho valle por donde se evacuaron los estériles de la cola de lavado E4 en un principio.

Ahora bien, la existencia de valgones como canales de conducción de agua está documentada en la mina de oro desde sus primeras fases. Así ocurría con los valgones vinculados al canal C7 entre el sector 3.1 y la red hidráulica de los últimos momentos en el sector 1 (fig. 79).

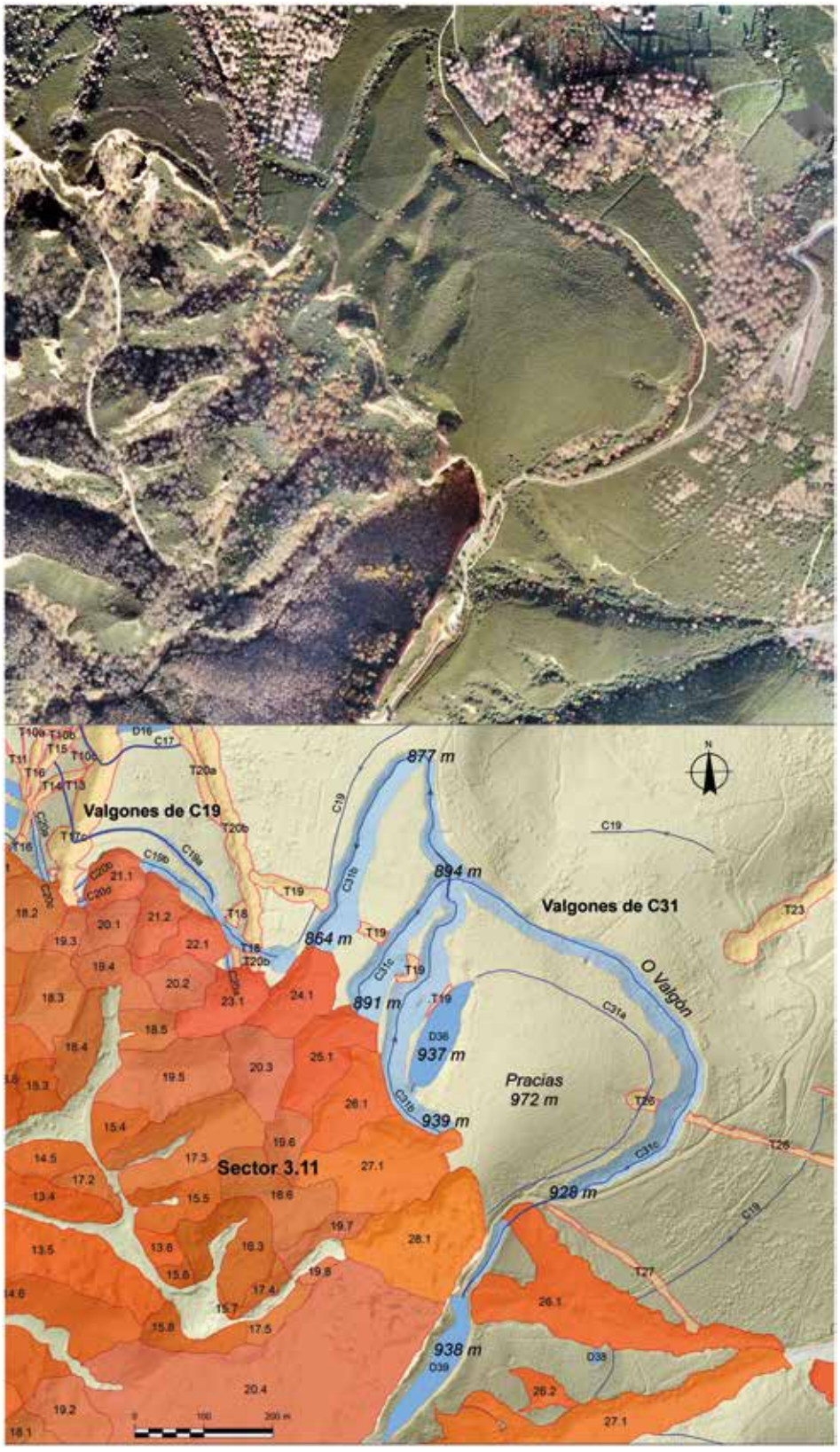


Figura 80. Fotografía aérea e interpretación de la zona de valgones en canales del sector 3.11.

También tuvieron una importancia crucial en las últimas fases del sector 2.1, cuando los canales utilizados en fases previas, C5 y C6 (fig. 30), quedaron obsoletos por falta de altura y fue preciso hacer uso de la nueva red hidráulica vinculada a C8, que tuvo que ser conducida a través de varios valgones hasta las cabeceras del sector 2.1 (fig. 77). Esos mismos valgones de la red de C8 desempeñaron una función muy importante para poder salvar las notables diferencias de cotas en la explotación del sector 2.2 (fig. 77).

En el sector 3, el uso de los valgones para la conducción de agua fue continuo desde los primeros momentos. Así, en el sector 3.1, las labores en 3.3 que se pudieron nutrir con C11, fueron abastecidas al final también con los valgones de C8m y C8n (figs. 35 y 43). Ya hemos señalado también la existencia de los numerosos valgones de C19 y C20 para poder hacer llegar el agua hasta las zonas de explotación en las laderas septentrionales entre el pico Gallegos y Selores, en los sectores 3.5 y 3.11 (figs. 35, 43 y 51).

Pero donde este tipo de estructuras adquieren una importancia fundamental, es en el desarrollo de las labores del sector 3.11, a partir de la última red hidráulica que funcionó en Las Médulas mediante los canales C30 y C31, en particular en el entorno del pico Pracias (fig. 80), el valgón de C31b discurre desde la cota 939, en el tramo más alto conservado, hasta la 864, en el más bajo, lo que supone una diferencia de 75 m y un 7,61 % de desnivel en sus 986 m de recorrido, que es sin duda un porcentaje de pendiente elevadísimo. Es más que probable que las curvas que describe en su primer tramo en dirección norte no sean en absoluto casuales, sino una forma de intentar aminorar la velocidad del agua. El valgón de C31c va desde la cota 938 m, a la salida de D39, hasta 891 m, en el punto más bajo conservado, es decir 47 m y un desnivel del 3,80 % en 1235 m de recorrido, lo que supone una importante disminución de la pendiente respecto a C31b y que sin duda justifica el rodeo que da a todo el monte Pracias. Pero, además de estas consideraciones cuantitativas, es conveniente señalar lo siguiente:

- El corte del canal C31a y la inutilización por tanto del depósito D36, debió de producirse relativamente pronto dentro de las labores en el sector 3.11, ya que dicho corte lo produjo C31b, que desemboca en las labores de la fase 24.1.
- Con posterioridad, el propio valgón por donde transcurre C31b fue cortado por C31c, que desemboca en las labores de la fase 25.1.
- Más tarde, tuvieron lugar aún tres fases, 26.1, 27.1 y 28.1, que se llevaron a cabo ya mediante el abastecimiento desde D39 a través del canal-túnel de explotación que son las galerías de Orellán.

De todo ello se deduce que el recurso al uso de valgones para el abastecimiento de agua en las fases de explotación del sector 3.11 no fue lo último que se hizo y que tuvo que estar en uso sucesivamente, primero mediante C31b y luego mediante C31c, durante un cierto periodo de tiempo; no fue algo provisional, seguramente porque las labores no habían alcanzado la cota suficiente para poder usar directamente el depósito D39.

Hay que considerar también que, por el avance de la explotación, ya solo podría utilizarse el abastecimiento procedente de D28 en Campo de Braña. El resto de la red hidráulica estaría situada a una cota más baja y por lo tanto sería inservible, al menos en una parte importante de las necesidades de explotación.

En definitiva, el uso de los valgones adquirió en Las Médulas una cierta regularidad y supuso una solución para solventar posibles problemas causados por la imposibilidad de usar agua directamente a la cota que se necesitaba.

4.4. LOS CANALES DE EXPLOTACIÓN

Los canales de explotación o *emissaria* servían para arrojar el agua desde los depósitos construidos en las cabeceras de los frentes sobre las labores en ejecución.

Son estructuras que, por lo general, ha sufrido una fuerte erosión tras su abandono, ya que el agua



Figura 81. Canal emisario o de explotación de La Frisga.

acumulada de forma natural en los vasos de los depósitos también abandonados seguía circulando por ellos y eso causaba su práctica desaparición. Por este motivo no es fácil encontrar evidencias de ellos.

En el caso de Las Médulas, sí podemos referirnos a dos tipos de *emissaria* que se han preservado: los vinculados a las últimas labores de explotación y que en buena parte discurren por túneles (las galerías de Orellán) y aquellos otros que quedaron aislados en las cabeceras de explotaciones selectivas, como las hechas por el procedimiento de series de surcos convergentes.



Figura 82. Canales emisarios procedentes de D39 para explotar el sector 3.10 y el 3.11. Este último mediante emisarios-túneles (las galerías de Orellán).

De las segundas se conservan algunos ejemplos claros, como el canal emisario de La Frisga, entre las labores 3.1, 3.2, 4.1 y 5.1 del sector 2.2, que fue objeto de un muestreo en 2022 (fig. 81) o el canal emisario de Tiseiro Largo, entre la labor 7.3 y 9.2 del sector 3.6 (fig. 42), objeto de una limpieza en 2022. También responde a esta tipología el caballón de tierra artificial que separa las labores 8.1 y 8.2 en Chao de Valouto, en el sector 3.6 igualmente. El uso del agua en estos canales emisarios se basó simplemente en la propia capacidad erosiva del torrente de agua soltado desde los canales, que, con la ayuda de mano de obra, iba erosionando los conglomerados y conduciendo el lodo resultante hasta los canales de lavado o *agogae*.

Los emisarios de la última fase de explotación (fig. 82) son los que desde el depósito D39 sirvieron para explotar tanto el sector 3.10 mediante grandes zanjas-canales, como el sector 3.11, mediante un emisario que sale al aire libre del mencionado depósito, pero acaba su trazado a través de túneles, en este caso las llamadas galerías de Orellán.

5 *Los depósitos de la red hidráulica de Las Médulas*

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Marcos Antonio Martínez Segura
Universidad Politécnica de Cartagena

Pedro Martínez Pagán
Universidad Politécnica de Cartagena

Elena Martín Ortega
Universidad de Vigo, Escuela de Ingeniería de Minas y Energía

Como señala Plinio el Viejo, los depósitos de agua son unas estructuras imprescindibles para poder controlar en la minería del oro la fuerza hidráulica: «Junto a las cimas del cortado, en las alturas de los montes, se excavan depósitos de doscientos pies [59,2 m] en cada lado y diez [2,96 m] de profundidad. Se dejan en ellos cinco conductos emisarios de unos tres pies [0,88 m] cuadrados para que, lleno el depósito, por las esclusas irrumpa un torrente con tanta fuerza que remueva las rocas» (Plin., *HN,* XXXIII 75).

En el texto se resalta la capacidad erosiva que tiene que poseer el agua, pero, como ocurre con otras dimensiones concretas que proporciona el naturalista romano, las cifras que da en este caso no se han de tomar en sentido literal, sino como referencia de un ejemplo, que es muy posible que él mismo o su informante viese en uso, pero que no debe aplicarse de forma automática. Por otro lado, los 10 400 m^3 de capacidad que tendría aproximadamente el depósito descrito por Plinio se situarían en un punto alto en comparación con los documentados en Las Médulas, es decir (tabla 19 y 23, figs. 83 y 84), que se halla dentro de un rango muy verosímil.

5.1. LOS DEPÓSITOS Y LOS SECTORES DE EXPLOTACIÓN

F. Javier Sánchez-Palencia

En algunos casos, los menos, los depósitos cumplen una función de regulación y distribución del caudal. Así ocurre con el depósito D5 en el sector 1. En realidad, da la impresión de que su función de distribución se produjo en algún momento anterior a las últimas fases, ya que en estas todo el caudal que

N.º	Sector	Fase	Z*	Perímetro	Área (m²)	Observaciones
D1	1	1	533	71	343	Cubierto por la vegetación
D2	2.1	1	588	101	710	Cubierto por la vegetación
D3	1	5	692	77	430	Cubierto por la vegetación
D4	1	6	742	231	1689	Muy bien conservado
D5	1	6	744	93	600	Cubierto por la vegetación
D6	1	6	764	863	916	Entre 3.1.2.1 y 2
D7	2.1	4	687	136	852	Bien conservado
D8	2.1	6	710	167	1273	Bien conservado
D9	2.1	7	725	158	1246	Bien conservado
D10	2.2	1-2	700	124	799	Aislado sobre labores 2.2.4.2
D11	2.2	7	787	159	1425	Alterado por erosión
D12	3.4	2	812	143	453	Cubierto por la vegetación
D13	3.2	1	739	168	1193	Cubierto por la vegetación
D14	3.1	3	793	183	1456	Bien conservado
D15	3.1	3	745	122	782	Cubierto por la vegetación
D16	3.5	4-5	798	206	1315	Destruido en parte por T17 y T20
D17	3.5	4-5	775	80	251	Destruido en parte por 3.1.4.2
D18	3.5	5-6	803	264	2556	Bien conservado
D19	3.8 y 9	1-11	781	451	10 911	Muy bien conservado
D20	3.5	6	842	179	1344	Cortado por T11 y T16
D21	3.5	6	855	227	2712	Cortado por C20h
D22	3.7	12	856	279	1988	Bien conservado entre 3.7 y 3.8
D23	3.8-11	5-28	1240	160	1850	Muy alterado por cultivo
D24	3.9	14	933	269	1668	Cortado por 3.9.16.3
D25	3.8	10-14	935	86	308	Destruido en parte por 3.8.14.1
D26	3.9	14-16	943	312	2338	Bien conservado
D27	3.9	18	945	128	561	Cortado por 3.9.18.2
D28	3.8-11	5-28	975	40	80	Difícil de delimitar
D29	3.8	13-14	952	153	494	Cortado por 3.8.14.1 y 3.9.15.1
D30	3.8	14	958	253	1226	Cortado por 3.9.15.1
D31	3.8	14-15	974	136	727	Bien conservado
D32	3.8 y 9	16-19	962	248	1431	Cortado por 3.8.18.1 y 3.9.18.2
D33	3.8	16-19	973	152	800	Cortado por 3.8.19.1
D34	3.11	18-19	974	655	5586	Muy bien conservado
D35	3.11	19-20	973	97	567	Destruido en parte por 3.11.19.2
D36	3.11	16-26	937	388	6558	Muy bien conservado
D37	3.10	24-27	931	187	1199	Bien conservado
D38	3.10	24-26	879	69	299	Cortado por 3.10.26.1
D39	3.10-11	24-28	939	537	6724	Muy bien conservado
		Datos estimados o aproximados por escasa información disponible				
		Parcialmente afectado por el desarrollo de la explotación				

Z* La altura indicada se corresponde con la entrada del canal de abastecimiento en el depósito

Tabla 19. Depósitos de agua de la red hidráulica de Las Médulas.

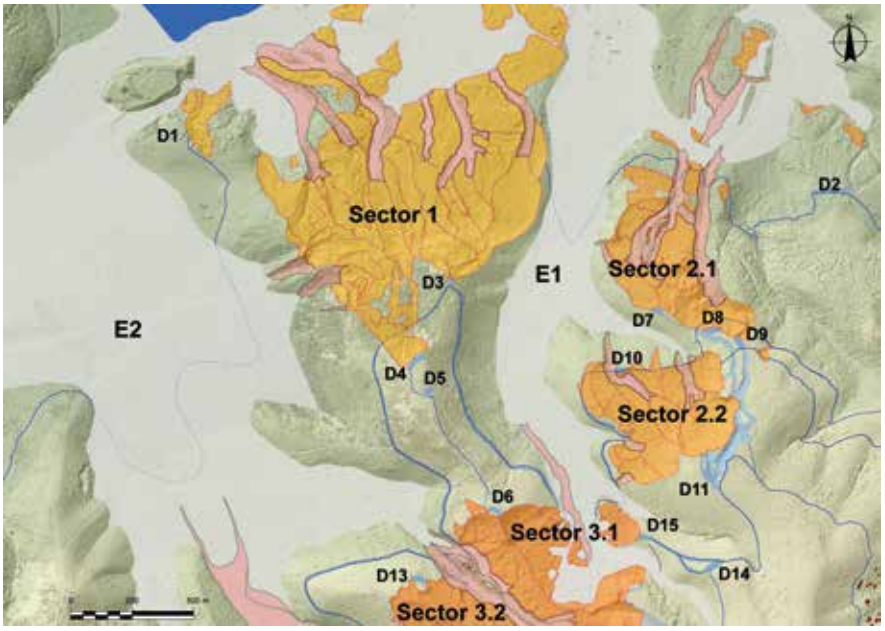


Figura 83. Depósitos de los sectores 1, 2.1, 2.2, 3.1 y 3.2.

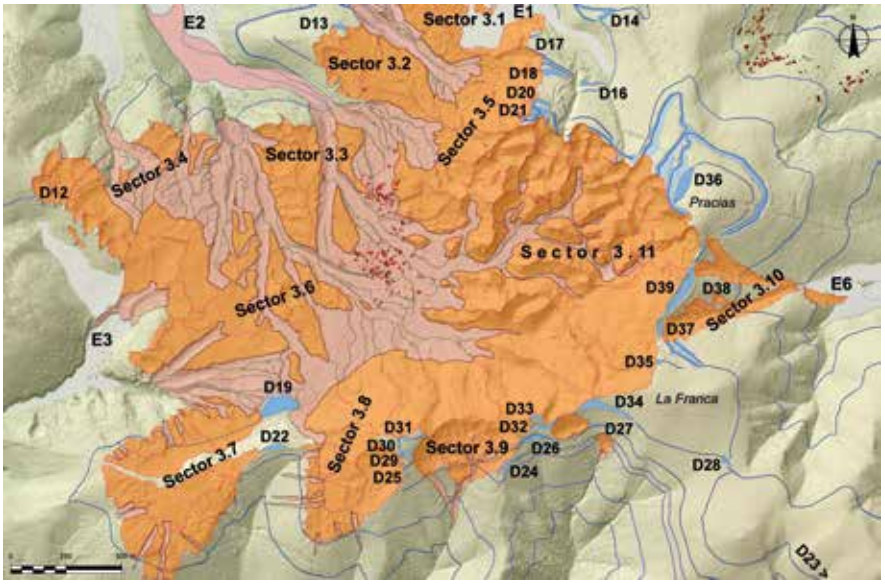


Figura 84. Depósitos de los sectores 3.2 a 3.11.

pasaba por D5 iba a D4. Por otra parte, no podemos precisar con claridad su extensión a causa de las malas condiciones naturales del terreno en el que se halla.

Al depósito D2, abastecido por C2 y ya en el sector 2.1, le pudo corresponder una función mixta, de extracción directamente de conglomerado para hacer los fosos del castro del Cabuerco de Valdelobos y de distribución para enviar parte del agua hacia las labores de las primeras fases en el Sector 1 y luego en el propio sector 2.1.

Son también depósitos de distribución D14 y D16 en relación con los sectores 3.1 y 3.5 del sector 3. Pero en estos casos, como en el anterior, se trata de funciones de distribución muy próximas a las zonas de explotación.



Figura 85. Foto aérea desde el oeste de la situación que ocupa el depósito de agua D19 de Chaos da Cruz.



Figura 86. Muro o encachado del borde septentrional del depósito D19 de Chaos da Cruz.



Figura 87. Fotogrametría LiDAR (con vegetación) del depósito D39 de La Horta, situación del sondeo realizado en 2022 y de las zonas 1 y 2 donde se hicieron las limpiezas y el sondeo (1) en 1994.

Un caso distinto es el de los dos depósitos de distribución más importantes de Las Médulas. El primero de ellos es el depósito D23 de Peña Aguda (Corporales, Truchas), situado a gran distancia de la mina y que reunía en su vaso el agua procedente de los canales C26, que captaba en el río Ería, y C27, que captaba su agua en la cuenca alta del río Truchillas, afluente por la izquierda del mismo Eria. En D23 nacía a su vez el canal C25, uno de los principales en las últimas fases de explotación de la mina de oro. La red formada por estos tres canales y D23, junto al canal C32, es la que supuso el primer transvase de agua entre cuencas hidrográficas (Duero-Sil/Miño) de la historia de la península ibérica.

El otro depósito de distribución más relevante es el situado en Campo de Braña, el D28, receptor de las aguas del mencionado transvase y de las del canal más alto de la Valdueza, el C28. Este depósito de distribución sirvió para abastecer las últimas fases de explotación en la mina de oro, a través del canal C29 en dirección al oeste y de los canales C30 hacia el norte. Su abandono está por tanto ligado al final de las labores mineras. Por ello se han programaron unas intervenciones en él a lo largo del año 2023, para documentar mejor su estructura, muy difícil de precisar por hallarse en una zona de pastos tradicionales que ha podido ser alterada continuamente a lo largo del tiempo, y para obtener muestras para análisis diversos.

Los depósitos de explotación conservados han llegado hasta la actualidad en diverso estado de conservación (ver tablas 19 y 23). Por supuesto, muchos de los que en su momento tuvieron que existir fueron totalmente eliminados con el avance de las labores mineras.

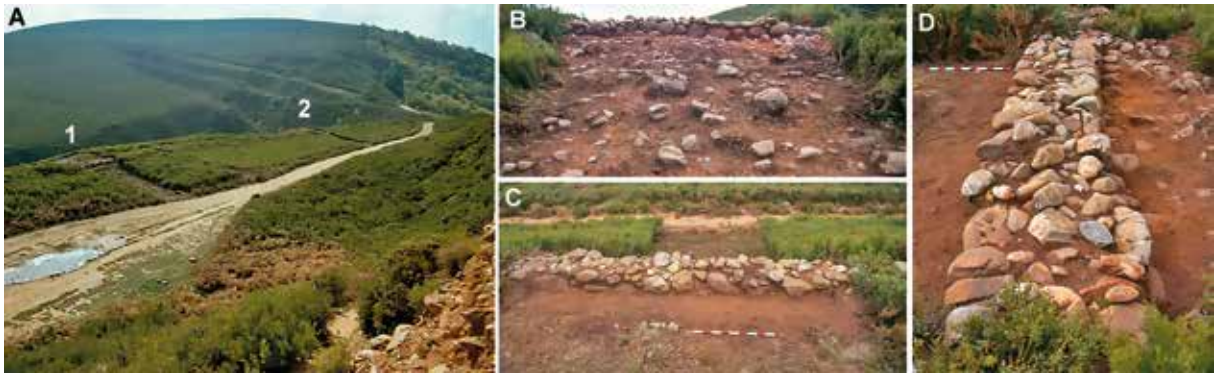


Figura 88. Depósito D39 de La Horta: A) situación de las limpiezas realizadas en 1994, en la zona 1 se llevó a cabo un sondeo, B, C y D) vistas del muro o encachado del borde superior en la limpieza de la zona 2.

El más grande de todos, el depósito D19 de Chaos da Cruz (casi 11 000 m^2 y con una capacidad sin duda superior a 20 000 m^3), lo es por una razón bastante sencilla: en él se acumuló el caudal que debió de ser utilizado, en buena medida a la par, en la mayoría de las labores llevadas a cabo en los sectores 3.1 a 3.6, en especial en todas aquellas situadas por debajo de su cota máxima de 780 m (fig. 85).

El depósito D19 fue alimentado sin duda desde la vertiente meridional por el segundo canal más largo, el C18, pero también lo pudo ser desde la septentrional por el cuarto más largo, el C8. Así pues, es uno de los depósitos más importantes de Las Médulas, que además se conserva en un excelente estado. Por ello, fue objeto de una intervención en el año 2022, para documentar su estructura y obtener muestras analíticas que informasen acerca de buena parte del contexto en que se produjo el desarrollo de la minería.

Como se ha comprobado en otros depósitos de Las Médulas y de otras zonas mineras del noroeste, el talud que define al vaso presenta en su cima, al menos en el borde septentrional sondeado de D19 y en el borde externo oriental de D39, un pequeño recubrimiento de piedra a modo de muro que actúa como encachado protector de esos bordes frente a posibles erosiones (figs. 86, 87 y 88).

De los demás depósitos, solo hay tres que destaquen por sus dimensiones. Son el D34 de la ladera oeste de La Franca, el D36 de Pracias y el D39 de La Horta. Los tres superan los 5500 m^2.

En el caso de La Horta (figs. 87 y 88), los estudios realizados ya en la década de los 1990 permitieron establecer una capacidad para él de 16 000 a 18 000 m^3 y los otros dos debían de tener una capacidad muy próxima a esa. Tanto D36 (fig. 89), como D39, estuvieron sin duda relacionados con la realización de cortas de minado o *ruinae montium* en el gran sector 3.11 y el D34, por su posición, también pudo participar.

Independientemente de la interpretación del procedimiento de la *ruina montium,* para lo que remitimos al partado 8.3 de este libro, lo que sí es evidente es que su puesta en marcha implicaba una mayor remoción de conglomerado, con lo que ello conlleva de mayor uso de agua en la labor de arrastre y lavado del material y, sobre todo, de evacuación del estéril. Y esa fue seguramente la razón por la que los depósitos vinculados a este procedimiento poseen una capacidad notablemente mayor.

Pero la importancia de los depósitos no radica solo en su función minera, sino que, además, como se ha indicado al hablar de D19, son auténticos archivos del contexto en el que esa actividad se produjo. Sin duda, permiten determinar las características de su construcción, de su uso y de su abandono. Pero, asimismo, la lenta deposición de los sedimentos arrastrados hasta ellos ha hecho que en sus diversas unidades estratigráficas hayan quedado las huellas paleo-ambientales del momento en que funcionaron, así como diversos materiales que



Figura 89. Foto aérea (2022) del depósito D36 y la red hidráulica inmediata en la ladera noroeste del monte Pracias, sobre los frentes de explotación del sector 3.11.

informan, tanto de su composición mineralógica, como de la flora del entorno y, por lo tanto, a través de su material orgánico, permiten establecer dataciones por métodos radiocarbónicos. Por ello, también se realizó un sondeo en el depósito D39 de La Horta, el último en ser utilizado. Su relleno estratigráfico es un buen ejemplo de esa riqueza documental acumulada entre los sedimentos depositados (ver apartado 6.3.5).

5.2. PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN LOS DEPÓSITOS DE LAS MÉDULAS

Marcos Antonio Martínez Segura
Pedro Martínez Pagán

Dentro del proyecto ZAMRedH y durante los años 2022 y 2023, el grupo de investigación Geofísica Aplicada Somera (GEODE) de la Universidad Politécnica de Cartagena llevó a cabo una serie de prospecciones geofísicas en la red hidráulica de Las Médulas. Consistió en investigar mediante tomografías eléctricas (ERT) 2D y, cuando fue posible, con georradar (GPR) 3D varios depósitos de agua, D19, D22, D28 y D39 (fig. 84). El objetivo esencial era determinar la profundidad y geometría de los depósitos en el contexto particular de cada una de las zonas de estudio.

5.2.1. Metodología

Dentro de la amplia gama de equipos y técnicas disponibles para este tipo de trabajos, sobresalen, por la característica física que van a medir, su versatilidad, fiabilidad en los resultados, rapidez de puesta en el terreno, etc., los equipos encuadrados en los métodos de exploración geoeléctricos, más concretamente los equipos de tomografía eléctrica (Reynolds 1997). Esta técnica combina en un solo perfil la técnica de sondeos eléctricos verticales (SEV) y la técnica de calicatas eléctricas, de forma que soluciona en gran medida los problemas en la fiabilidad de la interpretación de los resultados que aparecen en los SEV cuando se presenta contraste geológico lateral (cambios laterales de facies, presencia de fallas, etc.).

El dispositivo que se ha seleccionado en función de la resolución vertical requerida y de la profundidad de investigación que se debía cubrir, ha sido el dispositivo dipolo-dipolo.

La configuración dipolo-dipolo (fig. 90) es sensible a variaciones laterales de resistividad, por lo que es idónea para hallar estructuras verticales que



Figura 90. Distribución de los dispositivos Dipolo-Dipolo.

presenten las siguientes características: poco ruido de fondo, un resistivímetro de alta sensibilidad y un buen contacto entre electrodos y el subsuelo. Por ejemplo, a la hora de hallar plumas de contaminación, cavidades, volúmenes, etc. Después del tratamiento de los datos almacenados con el software especializado (*EarthImager* 2D), se obtiene la representación gráfica de los valores de resistividades denominado *seudosección eléctrica 2D,* que constituyen los documentos que hay que interpretar con ayuda de la información obtenida por otras vías con el fin de evitar ambigüedades en los resultados, mediante sondeos, análisis químicos u otras técnicas geofísicas.

En la etapa de campo, la colocación de los perfiles de tomografía eléctrica ha seguido los siguientes criterios:

- Obtener perfiles que cubran toda la amplitud de la zona de estudio.
- Obtener la mayor resolución posible para profundidades máximas de 6 metros debido a las características de los depósitos.

El equipo de geofísica empleado ha sido el resistivímetro *SuperStingTM Wi-Fi* de la casa *AGI Advanced Geosciences, Inc.*, el cual dispone de un cable multinodo con 56 conexiones y permite la medida de cuatro en cuatro electrodos, sobre los 56 electrodos clavados simultáneamente. Cada uno de los electrodos ha sido georreferenciado a través de las lecturas tomadas con un equipo GPS *Leica Zeno 20* con una precisión de ± 1 cm.

La etapa de gabinete ha consistido en un preprocesado de las medidas almacenadas en ficheros, filtrado de las medidas para eliminar valores anómalos y en la corrección estática que normaliza las variaciones de la resistividad debidas a la diferencia de cota entre electrodos. A continuación, se ha procedido a la etapa de procesamiento de los datos propiamente dicha donde se ha abordado cada una de las secciones empleando algoritmos estadísticos de inversión (Edwards 1977) en concreto utilizando el método inversión por mínimos cuadrados (Loke y Barker 1996).

Los perfiles 2D obtenidos se presentan en gráficos que se dividen en dos zonas, el perfil y la paleta de colores:

- Los perfiles son representaciones en 2D con escalas vertical y horizontal indicadoras de las profundidades y las distancias respectivamente. También se indica el número de electrodo o la distancia de medida en metros.
- La paleta de colores representa el valor de resistividad de las distintas formaciones geológicas o de las estructuras existentes. Los valores de menor resistividad son representados por colores azules y los de mayor resistividad por colores rojos. Hay que tener en cuenta que la conductividad se define como el inverso de la resistividad. Así, valores altos de resistividad serán valores bajos de conductividad y viceversa.

La técnica de prospección georradar permite averiguar, de forma indirecta, la estructura del subsuelo a partir de la transmisión de impulsos electromagnéticos y de la posterior recepción de las reflexiones generadas por discontinuidades presentes en el subsuelo. En términos físicos, la técnica es sensible a todas aquellas variaciones de conductividad, permitividad eléctrica y permeabilidad magnética que pueden producirse en un medio, sean debidas bien a cambios litológicos o bien por la presencia de estructuras enterradas.

Para la realización del estudio mediante georradar se ha utilizado el equipo *GS8000PRO* multifrecuencia, marca *Proceq Screening Eagle* (Suiza), que es un dispositivo georradar de penetración en el suelo ligero y fácil de usar para la localización de

servicios públicos y arqueología. El equipo presenta las siguientes características:

- Rango de frecuencia modulada: 40 Hz - 3440 MHz2 ancho de banda efectivo.
- Tamaño mínimo del objetivo detectable: 1 cm.
- Máxima profundidad de penetración en condiciones más optimas: 10 metros.
- Velocidad máxima de adquisición: 80 km/h.
- Receptor GNSS (sistema global de navegación por satélite): GPS multibanda con precisión 3D entre 1-5 cm.
- Autonomía de batería de hasta 8 horas.

Este equipo permite la visualización de los datos en 2D y 3D en tiempo real en la pantalla de un *Ipad Pro* (*Apple*), así como la posibilidad de exportar y enviar en tiempo real la posición de los servicios detectados en distintos formatos georreferenciados (KML y DXF).

El *GS8000* ofrece una claridad de datos superior y una penetración en profundidad mejorada, gracias a la exclusiva antena de frecuencia escalonada. Está optimizado para objetivos cercanos y profundos por igual.

El software de procesado es el *GPR-Insights 3*. Se trata de un *software* de procesado de georradar diseñado para la creación de imágenes del subsuelo en 2D/3D con una amplia variedad de aplicaciones; geotecnia, ingeniería y arqueología.

5.2.2. Depósito D19 de Chaos da Cruz

A) Tomografía eléctrica del depósito D19 (figs. 84-86, 91-93 y tabla 20)

Para abarcar de forma representativa toda la extensión del depósito de Chaos da Cruz, D19, se han realizado un total de cuatro perfiles, uno que abarca casi toda su longitud de oeste a este y tres más en sentido transversal de norte a sur. El número de electrodos, con 1 m de separación entre ellos, varió lógicamente en función de la extensión de cada perfil: 140 en P1, 56 en P2 y P4 y 75 en P3. Para alcanzar la longitud total en los perfiles P1 y P3, que son más largos, se realizó la técnica *roll-along*, consistente en ir desplazando segmentos del cable desde los 56 electrodos iniciales hasta la longitud final requerida.



Figura 91. Foto aérea (2022) del depósito D19 de Chaos da Cruz con los perfiles realizados.

En la figura 92 se presentan las seudosecciones geoeléctricas procesadas y corregidas de todos los perfiles, con sus valores correspondientes. En los perfiles P1 y P2 su error absoluto se considera alto para los estándares de la tomografía eléctrica, pero se mantienen las seudosecciones a pesar de ello, después de haber intentado sin éxito su corrección.

El error puede ser debido a que las características de los materiales del depósito hacen forzar el proceso de inversión aumentado los errores de ajuste. En todos los perfiles, la sección eléctrica presenta un mapa de resistividades coherentes con la información aportada previamente, cuya geometría tendida horizontalmente se encuentra de acuerdo a lo esperable para la zona de estudio. Las seudosecciones presentan los diferentes materiales según valores de resistividad eléctrica, a los cuales se le asignan colores según la escala que aparece en la parte derecha de la figura 92.

Esas seudosecciones eléctricas 2D interpretadas presentan una distribución más o menos homogénea, en cuya secuencia destacan siempre dos capas o zonas:

- Una primera capa superficial regular más resistiva, que presenta profundidades entre los 1,5 y 2 m en P1 y entre 1,5 y 3 m en los demás, si bien es claro que las profundidades

Perfil				Capa superior = relleno del depósito		Sustrato natural Ohm.m***
N.º	longitud (m)	prof*	error**	espesor	Ohm.m***	
P1	139	13	15,08 (8ª)	1,5 – 2 m	>1200	<1200, hasta 25
P2	55	13	16,09 (6ª)	1,5 – 3 m		
P3	74	9,7	7,91 (5ª)	1,5 – 3 m	>1000	>1000 hasta 25
P4	55	13	12,10 (7ª)	1,5 – 3 m	>1200	<1200 hasta 25

*prof = profundidad en metros del perfil / **error = % de error absoluto (después de x número de iteraciones de ajuste) / *** Ohm.m de resistividad

Tabla 20. Descripción resumida de los perfiles realizados en la tomografía eléctrica del depósito D19 de Chaos da Cruz (Las Médulas) (fig. 91).

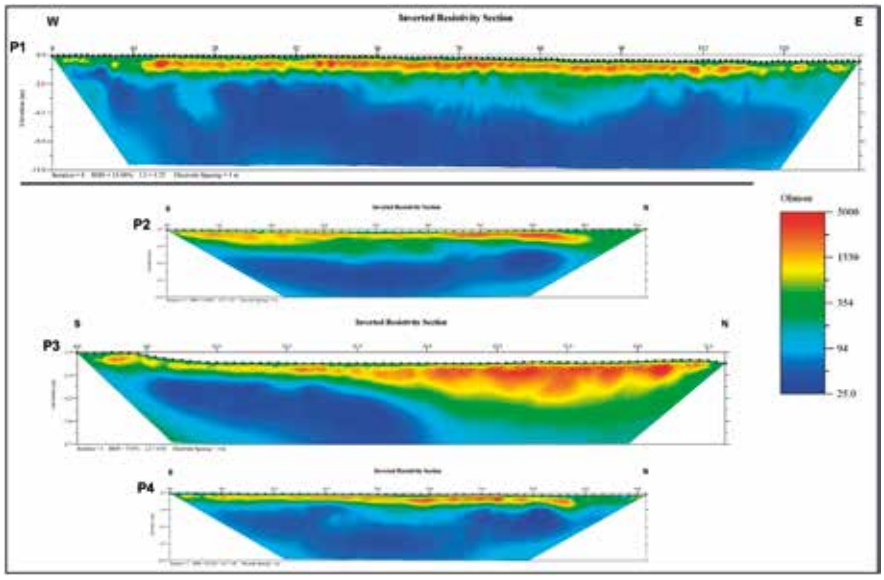


Figura 92. Perfiles (pseudosecciones geoeléctricas procesadas y corregidas) del Depósito D19 de Chaos da Cruz. Perfil longitudinal P1 de W a E y perfiles transversales P2 a P4 de S a N.

máximas solo se alcanzan en la zona más al norte del depósito. Esta zona es la formada por el relleno del depósito con valores de alta resistividad >1000/1200 Ω · m.

– Una segunda capa subyacente a la anterior donde se aprecia una reducción de los valores de resistividad, <1000/1200 Ω · m llegando hasta los 25 Ω · m. Puede interpretarse sin lugar a dudas con el substrato natural del terreno.

B) Modelo 3D del depósito D19

En la figura 93 se muestra la posición de los 4 perfiles realizados en el depósito D19. Se puede observar una distribución homogénea en todo el depósito, con valores resistivos superiores a los 1000/1200 Ω · m en los 2 primeros metros. Solo difiere algo el perfil 3, que aumenta la potencia de la capa más resistiva a partir de los primeros 40 m, es decir, en su mitad N, alcanzando unas profundidades máximas de 3,5 m a los 56 m del perfil.

En función de los resultados expuestos en los apartados anteriores, las conclusiones globales se pueden resumir en los siguientes tres puntos:

1. Los cuatro perfiles realizados cubren prácticamente toda la extensión de la zona de estudio, con la mayor resolución posible para profundidades máximas de 10 m, suficientes para interpretar las características del depósito.

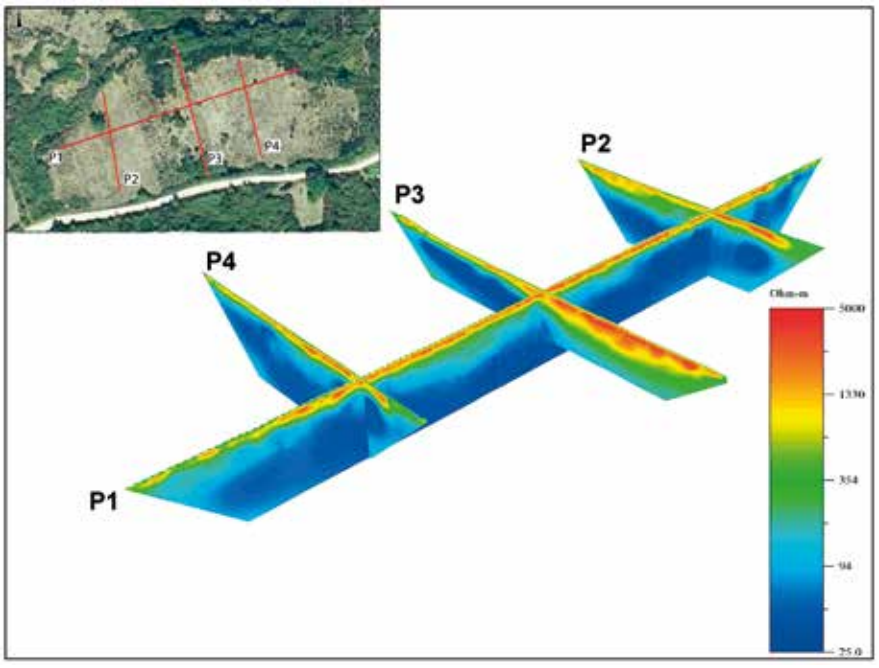


Figura 93. Modelo 3D del depósito D19 de Chaos da Cruz.



Figura 94. Foto aérea (2022) del depósito D22 de Las Pedrices con los perfiles realizados.



Figura 95. Depósito D22 de Las Pedrices, situación del equipo de medición en el perfil P1. En primer término el mirador y al fondo la pista o camino.

2. Se distinguen una primera capa superior uniforme (de 2/2,25 m de profundidad media y correspondiente a los rellenos del depósito) más resistiva, con valores por encima de los 1200 Ω · m, seguida del sustrato natural con valores que llegan a los 25 Ω · m.
3. El perfil 3 presenta en su parte final una mayor potencia de rellenos, llegando en algunos puntos a superar los 3 m. Para interpretar esta pequeña anomalía dentro del conjunto, ver los resultados del sondeo arqueológico realizado en este depósito D19 (apartado 6.2).

5.2.3. Depósito D22 de Las Pedrices

A) Tomografía eléctrica (ERT)
(figs. 84 y 94-96, tabla 21)

Se han realizado 9 perfiles de tomografía eléctrica (P1-P9) orientados de N a S, paralelos y separados 10 m entre sí. Todos los perfiles están formados por 4 tramos de cable de 7 electrodos cada uno (28 electrodos), con una separación entre electrodos de 1 m.

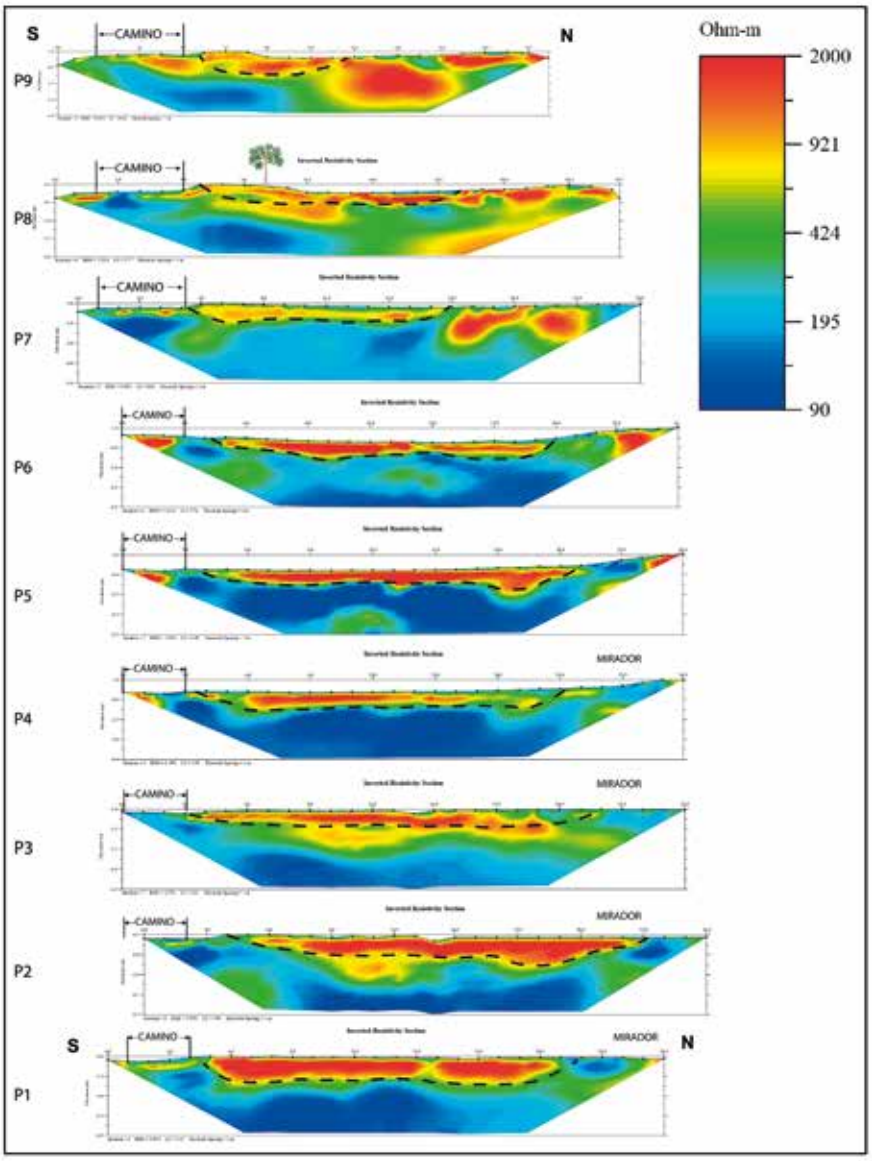


Figura 96. Depósito D22 de Las Pedrices, Todos los perfiles (pseudosección geoeléctrica procesada y corregida) ordenados desde el situado más al oeste (P9) hasta el situado más al este (P1).

Como es habitual, la profundidad de estudio depende de dos factores: la longitud del perfil y del dispositivo *(array)* utilizado. En este caso, la longitud de los perfiles estaba limitada por las dimensiones de la parcela, no pudiendo realizar perfiles con longitudes superiores a los 27 m. La posición de los perfiles se distribuyó de forma perpendicular a la longitudinal del depósito D22 (fig. 94).

El equipo de medida se situó para todos los perfiles en el electrodo 28, que corresponde a la zona sur, por donde transcurre la pista que sube hasta Campo de Braña (figs. 94 y 95). El *array* utilizado ha sido el dispositivo dipolo-dipolo ya señalado, con el que se alcanzó una profundidad de estudio de unos 6 m. En los perfiles P1 a P4, al otro extremo de la pista o camino, se sitúa el mirador de Las Pedrices (fig. 95).

En esta etapa era fundamental determinar qué tipo de escala se iba a adoptar a la hora de representar e interpretar los resultados. Por ello, se eligió una paleta de colores con una variación que va de 90 Ω · m (colores azules) a 2000 Ω · m (colores rojos) (fig. 96).

Perfil*				Capa superior = relleno del depósito			Sustrato natural Ohm.m**
N.º	m	prof	error	extensión	espesor	Ohm.m**	
P1	27	6,5	6,80 (6ª)	5 – 22 m	1,5 – 2 m	>1000	<1000
P2	27	5,7	5,29 (8ª)	4 – 24 m			
P3	27	6,5	4,27 (7ª)	3 – 20 m	1,5 m		
P4	27	6,4	3,30 (6ª)	3 – 22 m	< 1,7 m		
P5	27	6,2	7,61 (7ª)	4 – 22 m	1,5 – 2 m		
P6	27	6,2	7,21 (6ª)	4 – 21 m	1,5 m		
P7	27	6,4	9,43 (5ª)	5 – 18 m	1 m		
P8	26	5,6	7,21 (6ª)	7 – 18 m			
P9	22,5	4,8	9,92 (5ª)	12 – 14 m	1,5 m		

*m = longitud del perfil en metros / prof = profundidad en metros del perfil / error = % de error absoluto (después de x número de iteraciones de ajuste).
** Ohm.m de resistividad

Tabla 21. Descripción resumida de los perfiles realizados en la tomografía eléctrica del depósito D22 de Las Pedrices (Las Médulas) (fig. 99).

Todos los perfiles (tabla 21 y fig. 96) están formados por 28 electrodos con una separación de 1 metro, lo que supone una longitud de 27 metros. Las excepciones, por no disponer materialmente de más espacio hábil, fueron el perfil P8 que con 28 electrodos solo alcanzó 26 m y el P9, con 24 electrodos y 24,5 m. Con esta configuración se alcanzó una profundidad de estudio entorno a los 6,5 m, salvo en P8 (5,6 m) y P9 (4,8 m) y también en P2 (5,7 m).

En todos los perfiles, la sección eléctrica presenta un mapa de resistividades coherentes con la información aportada por el sondeo y cuya geometría tendida horizontalmente se encuentra de acuerdo a lo esperable para la zona de estudio. En las seudosecciones de la fig. 96 se presentan los diferentes materiales según valores de resistividad eléctrica, a los que se les asignan colores según la escala que aparece en la parte derecha de la misma figura.

En la figura 96 se presenta la seudosección geoeléctrica procesada y corregida de todos los perfiles y en la tabla 21 los diversos valores con los resultados obtenidos. En todos los casos el error absoluto indicado en la tabla después del Número de iteraciones de ajuste señalado se considera aceptable para los estándares de la tomografía eléctrica.

B) Georradar (GPR) (figs. 97 y 98)

Se han llevado a cabo unos perfiles continuos georreferenciados que abarcaran toda la zona. La distribución de las secciones generadas ha estado condicionada por algunos obstáculos naturales.

El depósito se ha dividido en cuatro subzonas con una superficie total de unos 2730 m². El conjunto de los perfiles realizados suma en torno a 3000 m lineales. Asimismo, en cada zona se han discretizado las anomalías según su modo de detección, obtenido medidas en alta frecuencia (HF) y en baja frecuencia (LF). La diferencia entre ambas consiste en que la HF se consigue un menor grado de penetración y mayor grado de resolución, mientras que la LF se obtiene mayor penetración y menor resolución.

Una vez representados la posición de los diversos reflectores,[1] se ha procedido a su procesado para la obtención de las secciones 2D y su posicionamiento en la zona de estudio. Estos resultados se

1 Tipo I: seguramente correspondientes al límite del depósito; Tipo II, sin ninguna respuesta y que debe corresponder al sustrato natural; Tipo III, reflectores que dan una respuesta caótica que debe corresponder a una presencia de suelo alterado y que deban relacionarse con el relleno del depósito.

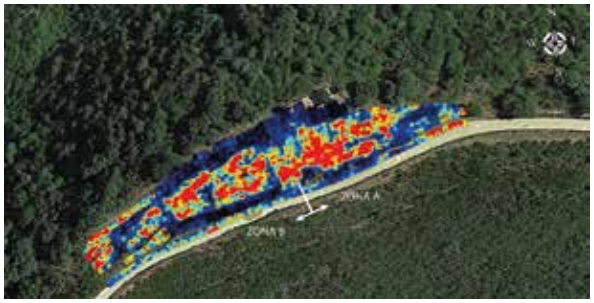


Figura 97. Sección de georradar (GPR) del depósito D22 a 1 m de profundidad.

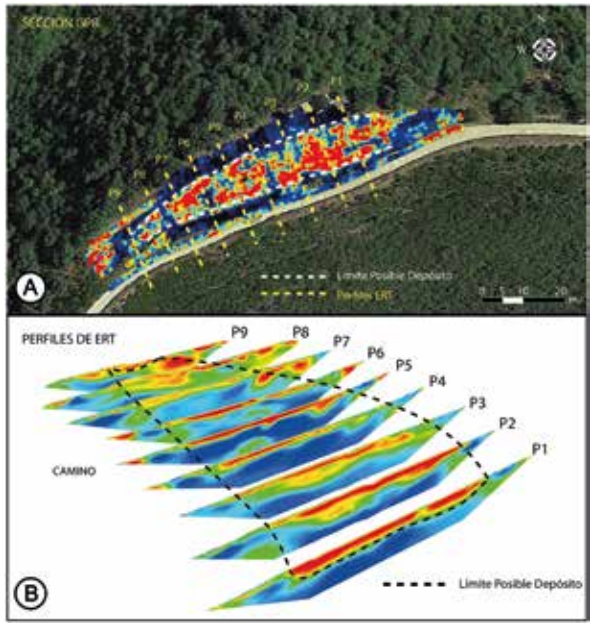


Figura 98. Comparativa de las secciones de georradar (GPR) y tomografía eléctrica (ERT) del depósito D22 de Las Pedrices.

muestran en figuras con una escala de colores que representa el grado de reflexiones obtenido, pasando de mayor grado (color rojo) a menor grado (color azul).

En la figura 97 se muestra la sección obtenida a 1 metro de profundidad. Los reflectores de tipo II (sin reflexión) corresponden a las zonas de color azul oscuro situadas, principalmente, en los laterales de la sección. Los reflectores de tipo I (posible límite del depósito) aparecen de color azul claro y rojo en la zona A. Los reflectores de tipo III (rojos, correspondientes a rellenos) aparecen más marcados en la zona B.

La figura 98 muestra una comparativa entre las dos técnicas utilizadas, georradar (GPR) y tomografía eléctrica (ERT). Se puede apreciar que existe una gran concordancia entre ambos resultados.

La sección del depósito (límite posible del depósito) empieza siendo más pequeña en el perfil P9. El situado más al oeste, y va ensanchándose en dirección hacia el este. Asimismo, se puede observar que la profundidad del depósito sigue el mismo patrón que la sección, es decir, aumenta en la dirección oeste-este, siendo más profundo, aproximadamente 2 m, en el perfil P1. Los perfiles P3 y P4 presentan al norte una peor diferenciación del depósito con el sustrato, siendo los perfiles P1 y P2 los que mejores resultados se han obtenido.

C) Comparación de los resultados obtenidos mediante GPR y ERT (fig. 98 y 99)

En función de los resultados obtenidos en los apartados anteriores se llega a las siguientes conclusiones:

- Las dos técnicas geofísicas, ERT y GPR, han cubierto toda la extensión del depósito y han profundizado suficiente (entre 4,8 y 6,5 m mediante ERT) para definir su vaso.
- En ambas técnicas los resultados presentan una gran concordancia en cuanto a forma y profundidad del depósito. Esta última, la mayor profundidad, se presenta en la zona de los perfiles más orientales, P1 y P2, si bien hay que tener en cuenta al respecto que el terreno presenta una ligera pendiente de este a oeste (fig. 99).
- En todos los perfiles se ha distinguido una primera capa superficial y uniforme más resistiva con valores superiores a los 1000 Ω · m, seguida del sustrato con valores que llegan a los 20 Ω · m. La profundidad del depósito se encuentra entre los 1 y 2 metros (1,5 m como media).
- Según los resultados de ERT entre los perfiles P1 y P6 existe una clara separación entre

depósito y sustrato, siendo más difícil esta diferenciación entre los perfiles P7 y P9, donde se detectan unas anómalas de mayor resistividad al norte del depósito, menos visibles, pero existentes en P6 y 95.

- Los resultados del GPR muestran una clara configuración del depósito, que es más estrecho al oeste y amplía su sección según se avanza hacia el este.
- En los perfiles P1-P3 existe una marcada contraste entre el depósito y el sustrato, algo que se manifiesta de forma especialmente clara en la zona próxima al camino o pista existente en la actualidad al sur del depósito.
- La anomalía de mayor resistividad según los resultados obtenidos por la técnica ERT en los perfiles más al oeste a partir de P5 y, sobre todo, en P7 a P9, podría responder a un primitivo trazado del canal C22, anterior seguramente a la construcción de D22 y que abastecería, quizás mediante un valgón más profundo, las primeras labores del sector 3.7 (figs. 96 y 97 y tabla 21).
- Como resumen de todo ello, en la figura 99 se muestra cual sería la interpretación del espacio ocupado por D22 y de su entorno inmediato.

5.2.4. Depósito D28 de Campo de Braña

A) Tomografía eléctrica (ERT)
(figs. 100-102, tabla 22)

En este depósito, se han realizado 4 perfiles de tomografía eléctrica (P1-P4), tres de ellos paralelos y separados 10 metros entre sí y un cuarto perpendicular al resto y en el sentido longitudinal del depósito D28 (fig. 100).

Todos los perfiles están formados por 8 tramos de cable de 7 electrodos cada uno (56 electrodos), con una separación entre electrodos de 1 m. La longitud de los perfiles ha sido de 55 metros y el *array* utilizado ha sido el dispositivo dipolo-dipolo, con el que se alcanzó una profundidad de estudio de unos 12 metros.



Figura 99. Interpretación del espacio que ocupa el depósito D22 y el mirador de Las Pedrices.



Figura 100. Perfiles para ERT del depósito D28 de Campo de Braña.



Figura 101. Colocación de uno de los perfiles para ERT en el depósito D28.

El equipo de medida se ha situado para todos los perfiles entre los electrodos 28-29, que corresponde a la zona central de los perfiles (fig. 101). Se

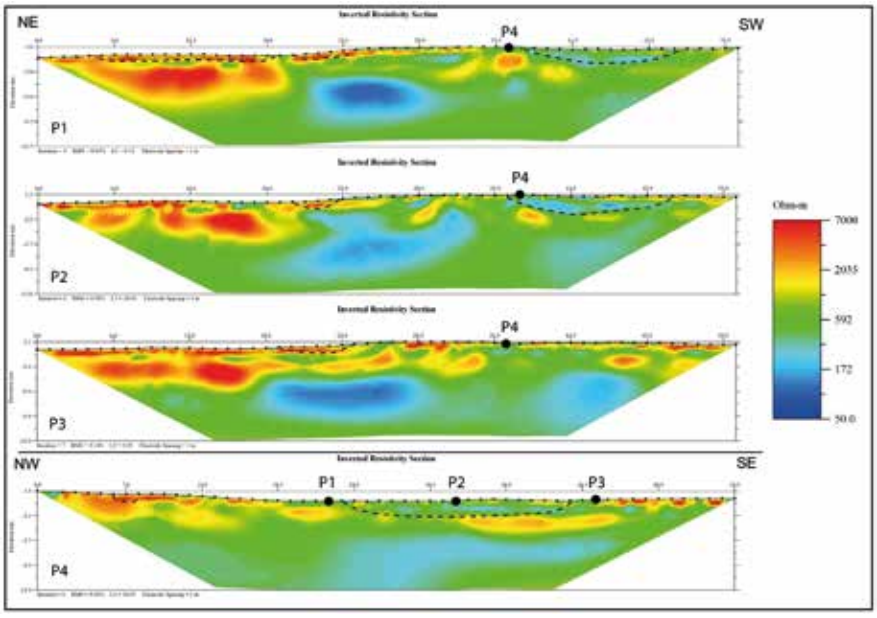


Figura 102. Depósito D28 de Campo de Braña, perfiles (pseudosección geoeléctrica procesada y corregida). En primer lugar, los realizados de NE a SW (P1 a P3) y, después, el orientado de NW a SE (P4).

Perfil				Capa más resistiva			Capa menos resistiva Ohm.m***
N.º	Long. (m)	prof*	Error**	situación	espesor	Ohm.m***	
P1	55	12,7	8,65 (6ª)	0 – 19 m	2,5 – 3 m	hasta 7000	<1000 = amarillo 500- 1000 = verde hasta 50 = azul
P2	55	12,8	9,92 (6ª)	0 – 19 m	2 – 2,5 m		
P3	55	12,9	9,14 (7ª)	0 – 34 m	2,5 – 3 m		
P4	55	12,9	9,65 (6ª)	0 – 18 m	1,5 – 2 m		

*prof = profundidad en metros del perfil / **error = % de error absoluto (después de x número de iteraciones de ajuste) / *** Ohm.m de resistividad

Tabla 22. Descripción resumida de los perfiles realizados en la tomografía eléctrica del depósito D28 de Campo de Braña (Las Médulas) (fig. 100).

ha elegido una paleta de colores que nos indica una variación de 50 Ω · m (colores azules) a 7000 Ω · m (colores rojos).

En la figura 102 se presenta la seudosección geoeléctrica procesada y corregida de todos los perfiles y en la tabla 22 los diversos valores con los resultados obtenidos.

En todos los casos el error absoluto indicado en la tabla después del número de iteraciones de ajuste señalado se considera aceptable para los estándares de la tomografía eléctrica.

Para hacer una adecuada interpretación de los perfiles obtenidos a través de la tomografía eléctrica, ha sido preciso tener en cuenta los resultados conseguidos mediante el georradar, como se indica a continuación.

B) Georradar (GPR) (fig. 103)

Una vez representada la situación de los reflectores obtenidos mediante GPR, se ha procedido a su procesado para la obtención de las secciones 2D y su posicionamiento en la zona de estudio. Estos resultados se muestran en las figuras con una escala de colores que representa el grado de reflexiones obtenido, pasando de mayor grado (color rojo) a menor grado (color blanco). En la figura 103 aparecen los resultados obtenidos a una profundidad de 0,70 metros. La figura 103A corresponde a todas

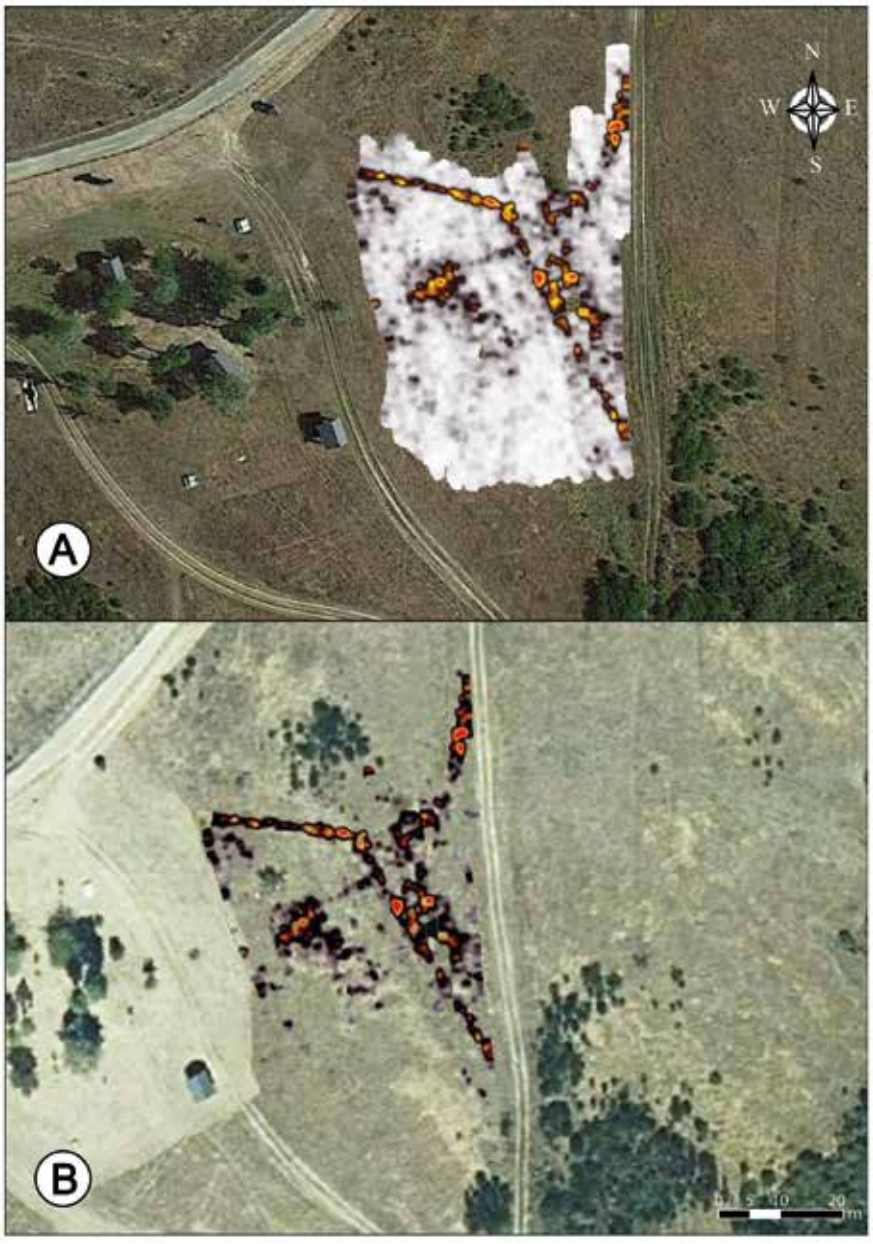


Figura 103. Sección de GPR del entorno del depósito D28 a 0,70 m de profundidad.

las medidas realizadas, las señaladas con color blanco (menor grado de reflexiones) corresponde a la zona del sustrato natural o suelo y con otros colores (mayor grado de reflexiones) aparecen las distintas estructuras hidráulicas encontradas a esa profundidad. La figura 103B representa únicamente las posibles estructuras, eliminando la zona de sustrato natural.

C) Comparación de los resultados obtenidos mediante GPR y ERT

En función de los resultados obtenidos con ambas técnicas se llega a las siguientes conclusiones:

- Las dos técnicas geofísicas, ERT y GPR, cubren toda la extensión del depósito D28 y su entorno a lo largo de 2767 m².



Figura 104. Panorámica aérea desde el sureste del entorno de Campo de Braña, con las estructuras hidráulicas de su entorno.

- Los 4 perfiles de ERT de 55 metros de longitud, tres de ellos paralelos y un cuarto perpendicular a los demás, alcanzan una profundidad de estudio de aproximadamente 13 metros. Sus resultados no muestran una gran diferenciación entre las posibles estructuras hidráulicas (canales, depósito) y el sustrato, por lo que se ha necesitado la interpretación del GPR para poder precisar las distintas anomalías.
- No obstante, en los 3 perfiles transversales de ERT se ha distinguido una capa más resistiva en la primera parte del perfil, hacia el noreste, con resistividades que alcanzan los 7000 Ω · m. A continuación de ella, se presentan unas zonas de mayor a menor resistividad, en la que se observan zonas con valores superiores a los 1000 Ω · m de color amarillo, entre 500-1000 Ω · m (de color verde) y unas zonas más conductoras (en azul) con valores que pueden llegar a los 50 Ω · m.
- Los resultados del GPR muestran de forma mucho más clara la configuración de las estructuras hidráulicas conocidas previamente y que se articulan en el collado de Campo de Braña (fig. 104).

En la figura 105 se sintetizan esos resultados, que pueden resumirse del siguiente modo:

- Existen dos canales de entrada, C25 desde el suroeste y C28 desde el sureste, que alimenta un depósito, D28a.
- También se identifican dos canales de salida desde D28a, uno hacia el noroeste, C29, y otro hacia el noreste, C30c.
- Más al oeste de D28a, se localiza otra depresión, más clara incluso topográficamente, que bien podría responder a otro depósito, D28b, utilizado de forma alternativa para enviar el agua hacia el oeste a través de C29, o bien podría ser una reutilización posterior, quizás moderna, para reaprovechar el agua que seguiría llegando al collado a través del cauce de los canales romanos ya abandonados, pero que seguirían haciendo de colectores.

Teniendo en cuenta que, como testimonia el mismo nombre del paraje, Campo de Braña, el collado ha sido utilizado tradicionalmente como zona de pastos de verano y que aún en la actualidad el agua que encauzan los antiguos canales facilita la existencia de un pequeño manantial (encañado y convertido

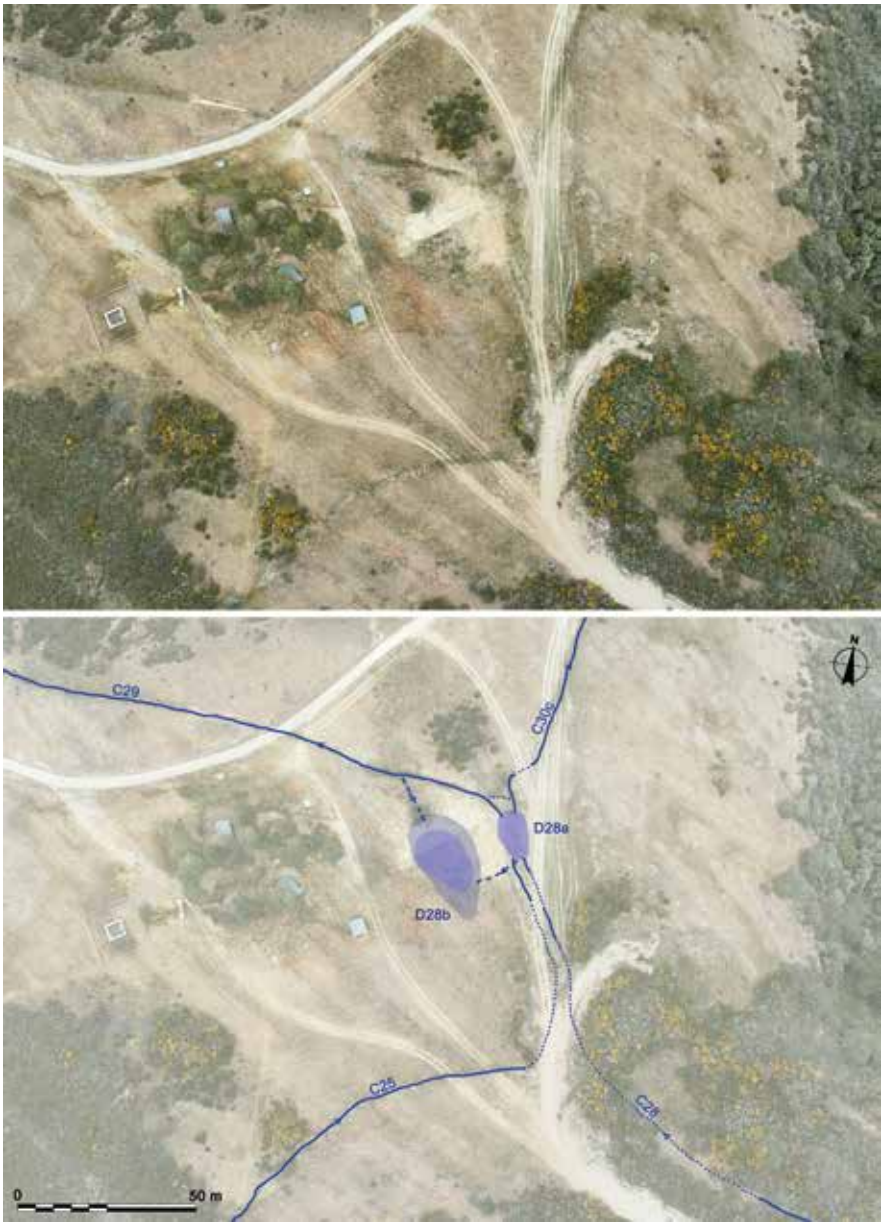


Figura 105. Fotointerpretación del entorno del depósito D28 a partir de los datos obtenidos en la tomografía eléctrica (ERT) y con el georradar (GPR).

en fuente) casi permanente, la versión de una reutilización del agua embalsada en el antiguo depósito de distribución romano parece ser lo más verosímil. Aunque también podrían haberse dado las dos circunstancias, que el depósito D28b existiese ya desde época romana y se hubiese reutilizado en tiempos posteriores. Esta reutilización es la que explicaría mejor la clara depresión topográfica que hoy se aprecia en el lugar que ocupa. Hay que hacer notar que este hecho no es único en Las Médulas, existen bastantes ejemplos más. Por ejemplo, estos dos: en Las Cavenes de El Cabaco, al pie de la Peña de Francia (Salamanca), la Fuente de la Mora tiene un origen similar (Sánchez-Palencia 2014b); igualmente, el agua embalsada en el collado que hoy ocupa el Puerto del Palo (Allande, Asturias) tiene su origen en un depósito de distribución de una red hidráulica romana (Sánchez-Palencia y Suárez Suárez 1985, 228 y 240).

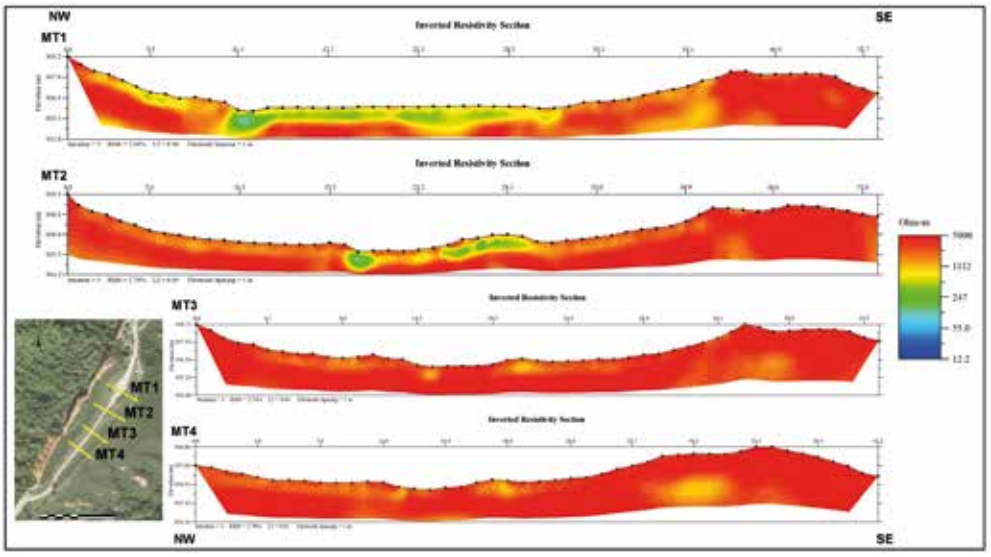


Figura 106. Depósito D39 de La Horta, perfiles (pseudosección geoeléctrica).

5.2.5. Depósito D39 de La Horta

A) Tomografía eléctrica (ERT) (fig. 106)

En este depósito, se han realizado varios perfiles de tomografía eléctrica, pero su procesamiento no ha podido ser completado según estaba previsto.

Cuatro cortaban transversalmente el depósito de noroeste a sureste a una distancia de 40 m entre ellos.

Los cortes MT1 y MT2 alcanzaron algo más de 53 m de longitud, mientras que MT3 y MT54 solo llegaban a poseer 43 m.

En todos ellos no se pudo alcanzar una profundidad suficiente. Por ello no se pudo realizar el correspondiente procesamiento y corrección de datos para obtener una diferenciación por resistividad entre el relleno del depósito, formado por sedimentos de arcillas, limos y gravas arrastrados hasta el embalse durante su uso y abandono, y los materiales que formaban el sustrato natural, es decir, el conglomerado de la Formación Las Médulas, mucho más compacto que los rellenos.

Así pues, la única información que de momento podemos extraer de estos sondeos es constatar la forma del propio depósito de agua, dejando por los sondeos arqueológicos los datos sobre su estructura y la naturaleza de los rellenos acumulados en su fondo.

5.3. CAPACIDAD DE EMBALSE Y TIEMPO DE LLENADO DE LOS DEPÓSITOS

Elena Martín Ortega
F. Javier Sánchez-Palencia
Marcos Antonio Martínez Segura
Pedro Martínez Pagán

5.3.1. Capacidad de embalse de los depósitos[2]

A raíz de los trabajos llevados a cabo en 1994, ya se pudo realizar una estimación sobre la capacidad de embalsamiento que poseía el depósito de La Horta (Sánchez-Palencia y Pérez 2000a, 200-201), cifrado entonces entre 16 000 y 18 000 m^3.

Como se verá en el apartado 6.3, el sondeo realizado en La Horta, D39 (figs. 220 y 221), lleva a pensar que la sección del agua almacenada podría tener entre 2,8 y 3,4 m de potencia máxima, que es la correspondiente al punto donde se realizó ese sondeo. Su planta fusiforme irregular indica que tenía un perfil en forma de U en la parte más ancha y en forma de V en las zonas más estrechas de los extremos. De

2 Todas las cantidades que se dan en la estimación de la capacidad de embalsamiento de los depósitos de agua están redondeados al múltiplo de cinco más próximo.

N.º	Sector	Z*	Peri-metro.	Área (m^2)	Capacidad media (m^3)	Observaciones
D4	1	742	231	1689	2535	Muy bien conservado
D7	2.1	687	136	852	1280	Bien conservado
D8	2.1	710	167	1273	1910	Bien conservado
D9	2.1	725	158	1246	1870	Bien conservado
D10	2.2	700	124	799	1200	Aislado sobre labores 2.2.4.2
D14	3.1	793	183	1456	2185	Bien conservado
D18	3.5	803	264	2556	3835	Bien conservado
D19	3.8 y 9	781	451	10 911	24 550	Muy bien conservado
D22	3.7	856	279	1988	2980	Bien conservado entre 3.7 y 3.8
D26	3.9	943	312	2338	3505	Bien conservado
D31	3.8	974	136	727	1090	Bien conservado
D34	3.11	974	655	5586	8590	Muy bien conservado
D36	3.11	937	388	6558	10 085	Muy bien conservado
D37	3.10	931	187	1199	1800	Bien conservado
D39	3.10-11	939	537	6724	10 335	Muy bien conservado

Z* La altura indicada se corresponde con la entrada del canal de abastecimiento en el depósito

Tabla 23. Capacidad de embalse, depósitos de agua de la red hidráulica de Las Médulas.

forma que una estimación a partir de esos datos y de los 6724 m^2 de superficie del depósito (tabla 19) daría una capacidad de 9410 a 11 260 m^3 como capacidad del depósito D39 o, si se prefiere, una capacidad media de 10 335 m^3. La diferencia con respecto a los datos obtenidos en 1994 se debe en esencia a que entonces se estimó que la lámina de agua del depósito podría llegar hasta los 4 m.

Otro depósito de agua en el que hemos podido hacer una estimación a partir de los recientes trabajos es el D22 de Chaos da Cruz. El único problema con que nos encontramos aquí es la anomalía detectada en el perfil P3, donde la potencia del relleno detectada superaría en su extremo norte los 3 m. Pero si solo se aplican los valores medios, entre 1,5 y 3 m de agua embalsada, sobre el área total de D22, de 10 911 m^2 (tabla 19), se obtendría una capacidad entre 16 365 y 32 735 m^3, con una media de 24 550 m^3.

Pero estos dos depósitos son los dos más grandes de la red hidráulica de Las Médulas. La estimación de su capacidad solo es aplicable a otros dos. Por un lado, el D34, situado sobre El Barreiro (sector 3.9) y sobre El Souto (sector 3.11) y abastecido a través del canal C29 desde D28 en Campo de Braña. Por otro lado, el D36 de la ladera noroccidental del monte Pracias, abastecido por el canal C31a que quedó cortado a la altura del mirador de Orellán por la ultima labor en el sector 3.11. Para hacer una estimación de estos dos depósitos, lo más lógico es partir de parámetros semejantes al que posee D39, ya que su extensión es muy parecida. Así, D34, con sus 5586 m^2 tendría una capacidad de entre 7820 y 9355 m^3, con una media de 8590 m^3. Por su parte, D36, con una superficie de 6558 m^2 cubicaría entre 9180 y 10 985 m^3, con una media de 10 085 m^3.

Para el resto de depósitos de la red hidráulica de Las Médulas cuya conservación permite una delimitación de su perímetro total, es decir, otros 11 depósitos además de los cuatro ya señalados, es necesario acudir a los parámetros que pueden obtenerse de los recientes trabajos en el depósito D22 de Las Pedrices, cuya extensión total es de 1988 m^2. Si se considera que la potencia del relleno de D22 solo alcanza los 2 m en su extremo oriental y en el occidental se

reduce hasta 1 m, puede estimarse que su sección media sería de 1,5 m, lo que supondría una capacidad media de 2980 m^3. Los otros 10 depósitos que restan tienen una extensión que oscila entre los 727 m^2, de D31, situado entre Llagua de Yeres (sector 3.8) y Reirigo (sector 3.9) y los 2556 m^2 de D18, situado en la ladera septentrional de pico Gallegos, sobre el sector 3.5. La capacidad que tendrían estos depósitos, aplicándoles los parámetros del depósito D22, se indica en la tabla 23.

5.3.2. Estimación del caudal de los canales y del llenado de los depósitos

Para hacer una estimación del cálculo se va a partir de las siguientes hipótesis simplificadoras del problema:

- El caudal de los canales se estimará suponiendo un movimiento uniforme con flujo permanente (sin transitorios).
- La forma geométrica de la sección de la lámina de agua a lo largo de todo el canal se considera igual a un rectángulo de anchura W y profundidad de lámina de agua h con la siguientes dimensiones mínimas y máximas, respectivamente:
  - W = 1,5-1,8 m
  - h = 5-10 cm = 0,05-0,10 m
- La pendiente del canal se tomará como constante e igual a 0,23 %, que es la pendiente media de los canales de Las Médulas (capítulo 4, tabla 17a).
- El flujo se supondrá en régimen totalmente rugoso, es decir, se asumirá que el factor de fricción es dependiente exclusivamente de la rugosidad relativa de la pared interna del canal.

Con estas hipótesis de partida, el caudal volumétrico Q que circula por el canal se calcula con la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A}{n} r_h^{2/3} S^{1/2} \qquad (1)$$

En esta ecuación (1), n es el coeficiente de Manning, que se asume dependiente exclusivamente de la rugosidad absoluta k de la pared del canal:

$$n \sim \left(\frac{k^{\frac{1}{3}}}{g} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

El coeficiente de Manning tiene dimensiones de tiempo/longitud$^{1/3}$. En el sistema internacional de unidades, para los acabados superficiales de canales excavados en roca, el valor típico del coeficiente de Manning viene indicado en la siguiente tabla:

Coeficiente de Manning $n\left[\frac{s}{m^{1/3}}\right]$	Mínimo	Normal	Máximo
Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050

Tabla 24. Coeficientes de rugosidad de Manning para canales excavados en roca.

En la ecuación (1), r_h es el radio hidráulico de la sección del canal e igual a $r_h = A/P$, siendo el área A del agua en el canal igual a $W \times h$ mientras que P es el perímetro del canal en contacto con el agua, es decir, $P = 2h + W$. Finalmente S es el seno del ángulo de inclinación de la superficie libre de la lámina de agua con el plano horizontal, siendo en este caso

$$S = \sin\alpha \sim \frac{pendiente[\%]}{100} = 0{,}0023.$$

Resumiendo, el caudal, en m^3/s, se podría estimar como:

$$Q\left[m^3/s\right] = \frac{Wh}{n}\left(\frac{Wh}{2h+W}\right)^{2/3} 0{,}0023^{1/2}$$

Para el ejemplo anterior, calculando con las áreas mínima y máxima contempladas,

$$A_{min} = W_{min} h_{min} = 1.5 \times 0.05 \text{ m}^2 = 0{,}075 \text{ m}^2,$$

$$A_{max} = W_{max} h_{max} = 1.8 \times 0.10 \text{ m}^2 = 0{,}18 \text{ m}^2,$$

y teniendo en cuenta los valores mínimo y máximo del coeficiente de Manning de la tabla 24, 0,025 y 0,050, respectivamente, el valor del flujo de caudal estimado es el siguiente (tabla 25):

	$n = 0.025$	$n = 0.050$
$QA_{min}[m^3/s]$	0.0187	0.0094
$QA_{max}[m^3/s]$	0.0693	0.0347

Tabla 25. Valores estimados de caudal volumétrico para distintas secciones y coeficientes de rugosidad del canal.

Finalmente, suponiendo un llenado constante a lo largo del tiempo con estos valores de caudal, el tiempo de llenado (en horas) de un depósito hasta contener un volumen de agua igual a V, es el siguiente:

$$t_{llenado}[h] = \frac{1}{3600}\frac{V[m^3]}{Q[m^3/s]}$$

Con estas estimaciones, un volumen de agua de $V = 1000$ m^3 tardaría en llenarse las horas indicadas en la tabla 26:

	$n = 0.025$	$n = 0.050$
$T_{Amin}[h]$	14.85	29.70
$T_{Amax}[h]$	4.01	8.01

Tabla 26. Estimación del tiempo (en horas) para llenar un volumen de 1000 m^3.

Por tanto, en el escenario de máximo caudal de agua, un depósito como el de Chaos da Cruz, D19, el más grande de todos, con una capacidad de 24 550 m^3 tardaría en llenarse entre 4,1 y 8,2 días. En el caso del depósito D22 de Las Pedrices, con un volumen de 2980 m^3, se llenaría entre 0,5 y 1 día. Y si tomamos como ejemplo el último depósito en uso en la mina, el D39 de La Horta, con 10 335 m^3 de capacidad, se llenaría entre 1 día y 18 horas y 3 días y medio.

Evidentemente, el valor de caudal depende mucho de la rugosidad de la pared interior del canal, que es difícil de calibrar, así como de la anchura del canal y de la altura de la lámina de agua, que en este estudio se ha tomado como un valor constante a lo largo del mismo. En cualquier caso, se trata de estimaciones que solo permiten realizar un acercamiento cuantitativo a la realidad de los hechos.

6 *Sondeos en la red hidráulica de Las Médulas*

Almudena Orejas
Instituto de Historia del CSIC

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Yolanda Álvarez
Terra-Arqueos S. L.

Luis F. López
Terra-Arqueos S. L.

Brais X. Currás
Instituto de Historia del CSIC

Damián Romero
Instituto de Historia del CSIC

Con el fin de obtener algunos datos más precisos sobre canales y depósitos (*corrugi* y *piscinae* o *stagna* respectivamente, según la denominación de Plinio, *HN,* XXXIII 74-75), se han efectuado 15 intervenciones arqueológicas. Se trata de pequeños sondeos y limpiezas, destinados, fundamentalmente, a la documentación de las soluciones que se emplearon para su construcción y al registro de los niveles de colmatación, que han proporcionado, además, muestras de sedimentos y de materia orgánica. Estás últimas aportan una rica información sobre la evolución de la vegetación en la zona (ver capítulo 10.2) y la posibilidad de obtener dataciones absolutas. Como se verá, estos datos resultan complementarios de los alcanzados mediante técnicas no destructivas, que ya se han expuesto.

Nuestro equipo había realizado ya estudios de este tipo tanto en Las Médulas, como en otras zonas mineras del noroeste peninsular, en la red hidráulica de las labores de Las Cavenes de El Cabaco (Salamanca),

en las de minas del valle de Ancares (León), del Ibias (Asturias) y en Penamacor (Portugal) (Sánchez-Palencia 2014b; Orejas *et al.* 2018; Orejas *et al.* 2024).

En este capítulo se presentan los objetivos específicos de estas excavaciones, la metodología empleada, los resultados logrados en cada canal y depósito y, finalmente, una síntesis de estos datos, incluyendo la serie de dataciones ^{14}C obtenidas.

6.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METODOLOGÍA

Se han efectuado diez sondeos en canales y cinco en depósitos de la red hidráulica que abasteció las labores mineras de Las Médulas. En todos los casos, se ha tratado de intervenciones selectivas, en un doble sentido. Por un lado, porque se han escogido canales y depósitos vinculados a distintos momentos de la explotación; por otro lado, porque los trabajos invasivos se han realizado en superficies muy limitadas, las estrictamente necesarias para cumplir los objetivos planteados, o únicamente limpiando perfiles en tramos en los que se habían efectuado excavaciones previas (fig. 107).

Para no contribuir al deterioro de los canales y depósitos documentados, todos los sondeos han quedado cubiertos de nuevo, empleando para ello los mismos materiales extraídos durante la intervención arqueológica.

Como se ha indicado en las páginas previas (ver capítulo 4), solo una parte del trazado original de los canales es en la actualidad visible, bien sobre el terreno, bien empleando teledetección. Tanto los tramos visibles, como una parte de los tramos no visibles se han conservado protegidos por los sedimentos acumulados tras su abandono y por la cobertura vegetal, que han actuado salvaguardando las estructuras y niveles antiguos de agentes erosivos naturales y antrópicos.

La situación de la mayor parte de ellos en laderas, en algunos casos de pronunciadas pendientes, ha facilitado su deterioro, que ha llegado a ser importante en algunos segmentos. Algunas acciones antrópicas históricas también han actuado sobre ellos, en particular cuando han sido utilizados para circulación de personas o ganado, otorgándoles en la zona la frecuente denominación de *carriles*.



Figura 107. Proceso de limpieza del canal C26 (Corporales, Truchas).

Recientemente las agresiones a estas estructuras se han incrementado y han sido más importantes, en relación con canteras y con algunas actuaciones destinadas a dejar al descubierto canales con fines turísticos.

En el caso de los depósitos, al ubicarse en zonas con topografías más llanas, han sufrido menos los efectos erosivos, y las afecciones se relacionan, sobre todo, con el uso agrario de las tierras o la circulación de vehículos.

Teniendo todo esto en cuenta, y con la intención de aunar la obtención de un registro arqueológico riguroso y la preservación de estas estructuras, se planificaron las actuaciones con los siguientes objetivos complementarios.

En primer lugar, documentar rasgos morfológicos y técnicos relacionados con su construcción y mantenimiento, que informan sobre su funcionalidad específica dentro de la red. Gracias a intervenciones previas y al registro de superficie, se conocían ya las diversas soluciones adoptadas para la construcción de los canales (afloramientos rocosos tallados, abancalamientos, construcción de muros, túneles, tramos aéreos) (Domergue y Hèrail 1978, 257-259; Domergue 1990, 472-473; Sánchez-Palencia y Pérez García 2000, 191-202). Mediante las excavaciones ahora planteadas, se ha pretendido precisar aspectos sobre: sus dimensiones, los sistemas empleados para formar la caja de los canales y la altura de la lámina

de agua que circulaba. En los depósitos, se ha buscado concretar datos sobre sus dimensiones, operaciones realizadas para excavar sus vasos y zonas de entrada y salida del agua.

En segundo lugar, es fundamental documentar la estratigrafía de sus rellenos, tanto de niveles correspondientes a su uso, como relacionados con los primeros momentos de abandono, o los identificados como niveles de colmatación más recientes. Reiteradamente se ha comprobado que no se trata de rellenos indiferenciados, sino de un rico registro que, analizado desde la geoarqueología, la palinología y la antracología, proporciona valiosos datos que cubren prácticamente dos milenios.

En tercer lugar, y siempre de manera coherente con el registro estratigráfico, estas intervenciones han permitido la extracción sistemática de dos tipos de muestras. Por una parte, geoarqueológicas (fig. 108), que permiten definir los procesos y condiciones de sedimentación y erosión (caracterización geoquímica y muestras para estudio de micromorfología mediante láminas delgadas de secuencias sedimentarias parciales y análisis mineralógicos, ver cap. 7). Por otra parte, informaciones paleoambientales (fig. 109), gracias al registro arqueobotánico (palinológico y antracológico), que se trata en el capítulo 10. Algunos de estos restos botánicos, contextualizados estratigráficamente e identificados, han sido seleccionados para obtener dataciones ^{14}C, optando siempre que ha sido posible por especies de vida corta o por ramas jóvenes, de pequeño porte.

De acuerdo con estos objetivos, la selección pretende resultar significativa tanto en términos funcionales, como cronológicos. Según los datos obtenidos en el estudio de la secuencia relativa de los sectores y frentes de explotación de Las Médulas, pertenecen a distintas fases de las labores. Además, ejemplifican elementos con diversas funciones dentro de la red: canales de conducción, canales emisarios, depósitos de regulación, de distribución y de explotación.

En cuatro casos se han elegido estructuras en las que se habían efectuado trabajos previos, de forma que ha resultado suficiente la recuperación de perfiles, retranqueándolos unos centímetros y la limpieza manual de tramos de entre 1 y 2 metros. Así se han documentado el canal emisario de La Frisga, el canal C30c en Pena Escribida, el canal C25 en Peña Aguda y el C29 en Campo de Braña.

En los depósitos, se han planteado sondeos en forma de trinchera, con el fin de comprobar las secciones de las estructuras y las formas de acondicionamiento del terreno para embalsar el agua, así como la secuencia de niveles que los rellenan. Se ha comprobado el interés de combinar este tipo de excavaciones selectivas con estudios no destructivos (geofísica, datos LiDAR) para la caracterización morfológica de estas estructuras.



Figura 108. Depósito de La Horta (D39). Muestras tomadas para la realización del estudio micromorfológico.



Figura 109. Depósito de La Horta (D39). Columna muestreada para análisis polínico en los sedimentos que colmatan el vaso del depósito.

Canal	Intervención realizada	Localización	Registro documentado	Muestreos
C1	Sondeo y limpieza de perfil	Castroquilame y Pombriego (Pte. de Domingo Flórez, Benuza)	Colmatación (5 UE*) y caja del canal	Polen, flotación, geoquímica, carbones
C5	Sondeo y limpieza de perfil	Orellán (Borrenes)	Colmatación (4 UE) y caja del canal	Polen, flotación, geoquímica
C18	Sondeo y limpieza de perfil en tramo ya parcialmente excavado	Llamas de Cabrera (Benuza)	Colmatación (5 UE) y caja del canal. Tramo de canal previamente descubierto	Polen, flotación, geoquímica
C25	Limpieza de perfil en tramo ya excavado	Peña Aguda (Corporales, Truchas)	Colmatación (7 UE) y caja del canal	Polen, flotación, geoquímica
C26	Sondeo y limpieza de perfil	Canal bajo de Corporales (Truchas)	Colmatación (6 UE) y caja del canal	Polen, flotación
C29	Limpieza de perfil en tramo ya excavado	Campo de Braña (Las Médulas, Carucedo)	Colmatación (4 UE) y caja del canal	Polen, flotación, geoquímica
C30c	Limpieza de perfil en tramo ya excavado	Pena Escribida (Orellán, Borrenes - Las Médulas, Carucedo)	Colmatación (3 UE) y caja del canal	Polen, flotación, geoquímica, carbones
C32	Sondeo y limpieza de perfil	Canal alto de Corporales (Truchas)	Colmatación (3 UE) y caja del canal	Polen, flotación, geoquímica,
CDC	Sondeos y limpieza de perfil	Canal de La Debesa (Corporales, Truchas)	Colmatación (5 UE) y caja del canal	Polen, flotación, geoquímica
CEF	Limpieza de perfil en tramo ya excavado	Canal emisario de La Frisga (Orellán, Borrenes)	Colmatación (4 UE) y estructura del emisario	Polen, flotación, geoquímica,
CET **	Sondeo y limpieza de la estructura	Canal emisario de Tiseiro Largo (Las Médulas, Carucedo)	Documentación de la estructura	

* UE = unidad estratigráfica. ** Sólo se encontró el basamento del emisario, que no cuenta en este punto con una caja definida. Por ello, no se pudo muestrear

Tabla 27. Sondeos en los canales de la red hidráulica de Las Médulas.

6.2. INTERVENCIONES EN CANALES

En la tabla 27 se sintetiza la información acerca de los canales en los que se han realizado intervenciones, así como el tipo de trabajo realizado: su localización, el registro documentado y las muestras recogidas. A continuación, se describe cada uno de los sondeos. Para la información general sobre cada uno de ellos y su contexto en el conjunto de la red hidráulica, se remite al capítulo 4. Al final de cada descripción, se incluyen las dataciones radiocarbónicas obtenidas; en el apartado 6.4 se volverá sobre estos datos de manera conjunta.

6.2.1. Canal C1, entre Castroquilame (Puente de Domingo Flórez) y Pombriego (Benuza) (C1/CCP/2022)[1]

C1 es el primer canal de abastecimiento a Las Médulas, forma parte de la red meridional y alimentó el depósito D1, vinculado a las labores más tempranas del sector 1 (fig. 110). Se conserva en especial buen estado dentro de los términos municipales de Puente de Domingo Flórez y Benuza, particularmente entre los pueblos de Castroquilame y Pombriego (fig. 111). Se

1 Tras la denominación de cada canal o depósito se indica la sigla empleada en el registro estratigráfico y en muestreos.

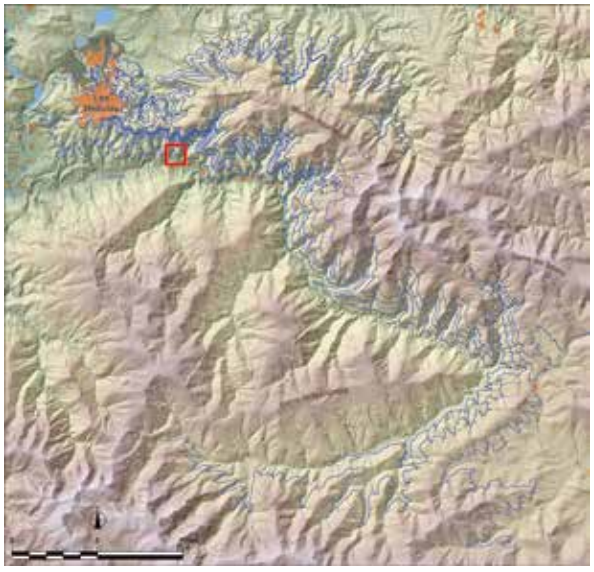


Figura 110. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del sondeo llevado a cabo en el canal C1.



Figura 111. Tramo del canal C1 apreciable en la ladera entre Castroquilame y Pombriego. La flecha indica el lugar en que se realizó la intervención.



Figura 112. Sondeo efectuado en el canal C1. Se aprecia a la izquierda de la imagen la roca tallada (este) y a la derecha el talud recubierto con arcilla endurecida (oeste).

accede hasta él por la pista que desde Pombriego se dirige a la planta transformadora de pizarras, situada en la margen izquierda del arroyo de Las Fuentes. Frente a ella, sobre la margen derecha, se llevó a cabo un pequeño sondeo que corta el canal en dirección este-oeste. Se intervino en una longitud de 4,5 m en el trazado del canal, con una anchura de 1,1 m (figs. 112-114).

Se han documentado cinco unidades estratigráficas, con paquetes de sedimentos diferenciados, que rellenan la caja del canal, y se han podido determinar las características de la caja, diferenciando otras tres unidades estratigráficas (figs. 111-113). Queda delimitada al este por la roca, que alcanza una altura de 1,60 m, pero que solo está cortada en vertical en sus 30 cm inferiores (UE8); por encima de ellos el afloramiento rocoso está muy alterado y ha sufrido desprendimientos de lajas. El cierre del canal por el oeste se realizó mediante un bancal de pizarra (UE7) al exterior y una superficie de arcilla endurecida y ataludada hacia el interior (UE6), que alcanza 80 cm de altura. Para acondicionar el fondo, se cortó la pizarra, nivelando la superficie, en la que se aprecia con claridad la erosión causada por la circulación del agua, pero solo en algunos puntos debido a alteraciones posteriores (UE8). Tiene, en este segmento, una anchura de 1,30 m.

La documentación de los niveles de colmatación del canal tras su abandono ha permitido establecer cinco unidades estratigráficas, que se describen brevemente.

La UE1 es el nivel superficial húmico, con tierra ligera y aireada (tipo tierra de brezo), de color pardo, con raíces y algunas lajas de pizarra centimétricas (1-4 cm). Su potencia es de 2 a 5 cm. Debajo de ella, la UE2, de entre 35 y 50 cm de potencia (más potente hacia el este), consta de una matriz de arena muy suelta, color ocre oscuro, con grava y pequeñas lajas de pizarra (centimétricas de hasta 6 cm y subcentimétricas). La UE3 es semejante a la UE2, ocre, pero con la grava más fina y abundante y forma un paquete horizontal en su techo en toda la sección, de entre 46 y 56 cm de espesor. Hacia el oeste se apoya en la estructura de delimitación y se adelgaza hasta alcanzar 10-15 cm. Claramente es un nivel de rellenos posteriores al

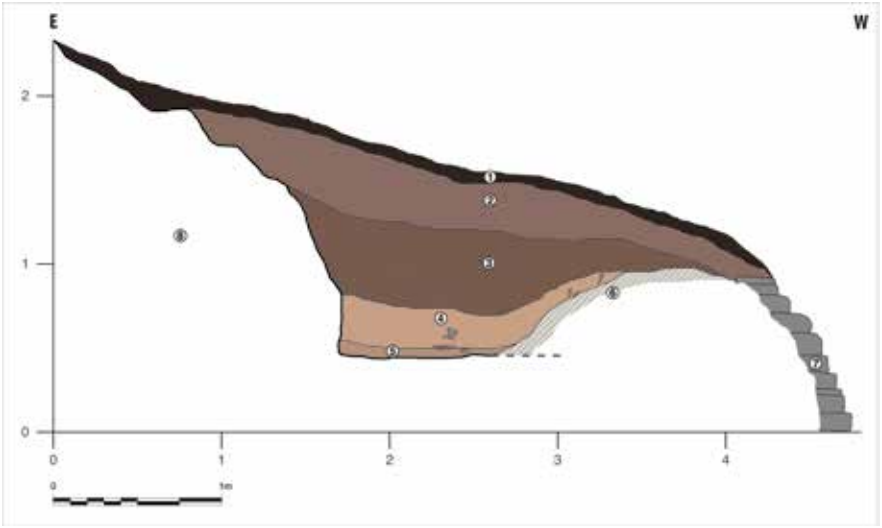


Figura 113. Estratigrafía de los niveles de colmatación documentados en la sección del canal C1.



Figura 114. Detalle del canal C1: bancal de pizarra de sustentación del canal (UE7).

cese del funcionamiento del canal y contiene materiales deslizados por la ladera, que pudieron depositarse a lo largo de un periodo prolongado. UE2 y UE3 constituyen las unidades estratigráficas que componen la mayor parte de la colmatación, superando en conjunto 1 m de potencia en algunos puntos. Se atribuyen al abandono del canal y a sucesivos aportes formados por la tierra y pizarra alterada. La UE4, con una potencia de hasta 30 cm hacia el este de la sección y 24 cm en el oeste, está compuesta por limos, de color ocre-amarillento. Hacia el centro hay una pequeña acumulación de lajas de pizarra (de hasta 12 cm) desprendidas de la roca del lateral. De esta UE4 se extrajeron muestras diferenciadas en tres subniveles (superior, medio e inferior). Esta unidad pudo formarse inmediatamente después del abandono del canal, marcando la primera fase de colmatación del mismo. La UE5 es muy semejante a la anterior en composición, pero está más oscurecida por la abundancia de materia orgánica. Forma un nivel de apenas 1 cm que se distribuye irregularmente sobre el suelo del canal y puede corresponder a los últimos momentos en los que circuló agua o cuando quedaron materiales depositados en el fondo aún en condiciones húmedas. Por último, el fondo del canal (UE8) presenta la roca muy descompuesta, con una tonalidad blanquecina-amarillenta. En la tabla 28 se presentan las dataciones obtenidas en el canal C1.

6.2.2. Canal C5, Orellán (Borrenes) (C5/CDL/2022)

Este canal de la red septentrional está relacionado con las labores de los sectores 1 (depósito D3), 2.1. y 2.2. (depósitos D7 y D10) (fig. 115). Se aprecia en un segmento cercano a Orellán (Borrenes), en una zona de ladera suave, cubierta actualmente por vegetación de monte bajo, que impide seguir bien en superficie la continuidad de su trazado. Un camino discurre, en este tramo, casi paralelo al canal.

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
C1/CCP/2022/5	19_C1_CCP _UE5_Fab	5	*Fabacea*	1930± 30	28-45 d. C. (7,6%) 58-130 d. C. (57,1%) 145-154 d. C. (3,5%)	22-206 d. C. (95,4%)
C1/CCP/2022/4inf	20_C1_CCP _UE4I_Eri	4inf	*Erica*	1930± 30	28-45 d. C. (7,6%) 58-130 d. C. (57,1%) 145-154 d. C. (3,5%)	22-206 d. C. (95,4%)

Tabla 28. Fechas ^{14}C del canal C1.

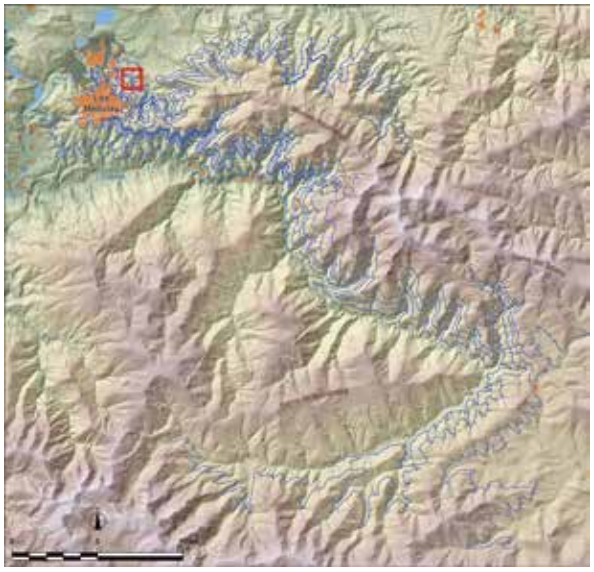


Figura 115. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas con ubicación del sondeo efectuado en el canal C5.

Se excavó un sondeo en dirección norte-sur, de 1,50 m de longitud, con el ancho de la caja del canal, 1,10 m, en el tramo descubierto (figs. 116-118). Está labrado en la roca, en la que se aprecian marcas de picadas. La pared que presenta menor cota (la sur) es más irregular, ya que la exfoliación de la roca ha alterado la morfología original. Bajo el potente nivel superficial (UE1) (figs. 119 y 120), que alcanza 35 cm en la parte septentrional de la sección norte, se ha identificado la UE2, una capa de colmatación con matriz arenosa anaranjada, suelta y lajas de pizarra, más potente hacia el norte, con un espesor de 18 cm. La UE2 cubre la UE3, con similar matriz y abundantes lajas de roca desprendida de la caja del canal y con un espesor máximo de 22 cm. Ambas responden a procesos de relleno en condiciones secas. Bajo ella, la UE4 es limosa, reflejando la presencia de materiales decantados, depositados en el lecho del canal aún en condiciones húmedas. Esta UE4 puede relacionarse con el último uso del canal o el primero periodo de su abandono. UE5 es el fondo y paredes del canal labrados en la roca (figs. 117 y 118). Se han podido datar muestras correspondientes a las unidades estratigráficas 2 y 4 (tabla 29).

Figura 116. Tramo del canal C5 en el que se realizó el sondeo.







Figuras 117 y 118. Sondeo del canal C5, vista general desde el sur y perfil este. Se aprecia la roca tallada para formar la caja, el fondo erosionado por el paso del agua y las diversas unidades estratigráficas detectadas.

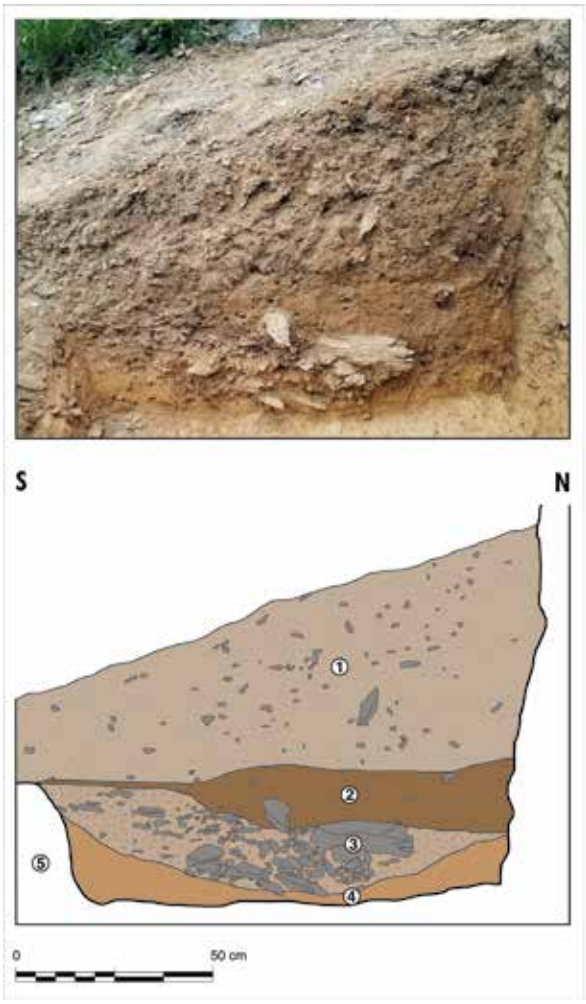


Figura 119 y 120. Sección del canal C5 y niveles de relleno identificados.

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
C5/CDL/2022/2	23_C5_CDL _UE2_Leg	2	*Leguminosa*	1790±30	235-255 d. C. (23,2%) 285-325 d. C. (45,1%)	206-353 d. C. (95,4%)
C5/CDL/2022/4	15_C5_CDL _UE4_Que	4	*Quercus* (rama de pequeño porte)	1890±30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)

Tabla 29. Fechas ^{14}C del canal C5.

6.2.3. Canal C18, Llamas de Cabrera (Benuza) (C18/CLC/2022)

El canal C18, sobre la margen izquierda del arroyo de Valdecorrales, en el valle Airoso o Lleiroso, es uno de los tramos más conocidos de la red de canales de Las Médulas, ya que es visible en varios kilómetros de su recorrido debido a su uso tradicional para el paso de ganado (fig. 122). Forma parte de la red meridional

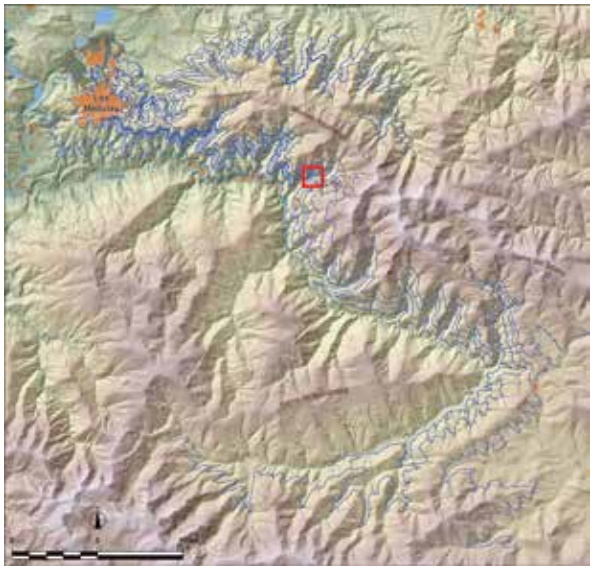


Figura 121. Plano general de la red con ubicación del sondeo realizado en el canal C18.

y abasteció al depósito D19, permitiendo la explotación de los sectores 3.1 a 3.6 (fig. 121).

El sondeo se planteó en una zona donde aún se conserva una potencia importante de relleno, unos 150 m antes de que el canal atraviese el túnel que está cercano al arroyo de Valdecorrales. Se aprovechó un escalón en el relleno para llevar a cabo una limpieza, retranqueando dicho escalón 1,50 m y limpiando a continuación el frente que quedó así visible (perfil norte). Las dimensiones del sondeo fueron de 1,60 de longitud por 1,50 m de anchura.

La intervención se efectuó en una zona próxima a la seleccionada en 2003 para trabajos de excavación, ejecutados por la empresa Terra-Arqueos S. L. por encargo del Consejo Comarcal del Bierzo (López González *et al.* 2003). Dicha actuación tenía como finalidad acondicionar un recorrido por el canal, desde Llamas de Cabrera hasta el túnel ya mencionado, con el retorno por una canal a cota superior (C24) y por un camino hasta el núcleo de Llamas. Además, se instalaron carteles informativos y se escogió un punto como mirador, actualmente muy deteriorado (figs. 123-126).

Figura 122. Tramo visible del canal C18 al noreste de Llamas de Cabrera.



Los trabajos entonces desarrollados consistieron en la limpieza y el desbroce a lo largo de aproximadamente 1400 m de la canalización de agua, en los puntos más afectados por aguas de escorrentía superficial (mediante drenajes bajo el muro de contención), el acondicionamiento de tramos con acceso complicado





Figuras 123 y 124. Señalización general en la zona de acceso instalada en 2003 y primer tramo del recorrido.



Figura 125. Tramo del C18 tras el desbroce y limpieza para facilitar el paso por el tramo rehabilitado en 2003.



Figura 126. Señalización instalada en 2003 sobre inscripción del canal C18.

o bloqueado y la restauración de parte de los muros ataludados en mal estado. Además, se señalizó y reprodujo una inscripción romana que se conserva en la pared del canal (fig. 126) (ver capítulo 11 y anexo III). La intervención no afectó ni al fondo del canal ni a la caja, con la intención de proteger los niveles arqueológicos inferiores y otros elementos significativos, como marcas de talla en la roca de las paredes y del fondo o evidencias de erosión por agua (figs. 132 y 133).

Se documentó que, en las zonas donde la caja no se pudo cortar en la roca, se construyeron tramos de muros de contención de hasta 8 m de altura, empleado las lajas de piedra, procedentes de los cortes hechos en la roca para abrir el canal (figs. 127 y 128). Se trata de obras sólidas, con aparejo concertado y arcilla para trabar la piedra, en las que se detectan mechinales y abancalamientos para facilitar la construcción con andamiaje y asegurar la contención del terreno en esta pronunciada pendiente. También se levantaron lienzos de muros contra la ladera, en la parte interior del canal, para protegerlo de arrastres y desprendimientos. En la actuación de 2003, en tres tramos de muros, de 5, 10 y 15 m respectivamente, se emplearon las mismas lajas caídas de ellos, se recrecieron entre 60 y 90 cm, y se indicó el nivel de intervención con pequeñas lajas de pizarra serrada. El





Figura 127 y 128. Estructuras de contención del canal C18.

tramo más largo en el que se intervino tiene 29 m y más de 8 m de altura.

Los trabajos llegaron hasta dos túneles, abiertos a dos cotas distintas: el que está a cota más alta forma parte del trazado del canal C18, mientras que el que se ubica a una cota inferior se ha interpretado como un aliviadero, para evacuar el exceso de agua en momentos de crecida del arroyo de Valdecorrales (fig. 129). Posiblemente, este elemento se completaba con una pequeña represa y compuertas. Se limpió y se liberó el paso tanto al acceso al túnel del canal, bloqueado por derrumbes, como al aliviadero. En esta zona se recuperaron los fragmentos de un caldero o cubo metálico, en los niveles de materiales deslizados por la ladera, es decir, en posición secundaria (figs. 130 y 131).

En el tramo previo al túnel que forma parte del canal, se realizó una excavación arqueológica (en una longitud de 12 m), ya que parte del muro de contención había caído hacia el exterior y había cedido la base del canal, de manera que el paso no era practicable. En algunos puntos la potencia del derrumbe que lo cubría alcanzaba 3 m. En aquella ocasión se registraron hasta cinco unidades estratigráficas que colmataban el canal. La UE1 es la capa superficial,



Figura 129. La flecha de arriba indica la entrada del canal en el túnel, mientras que la de abajo indica la salida del túnel inferior perteneciente al aliviadero. Durante la limpieza de esta zona se recuperó el caldero o cubo metálico.



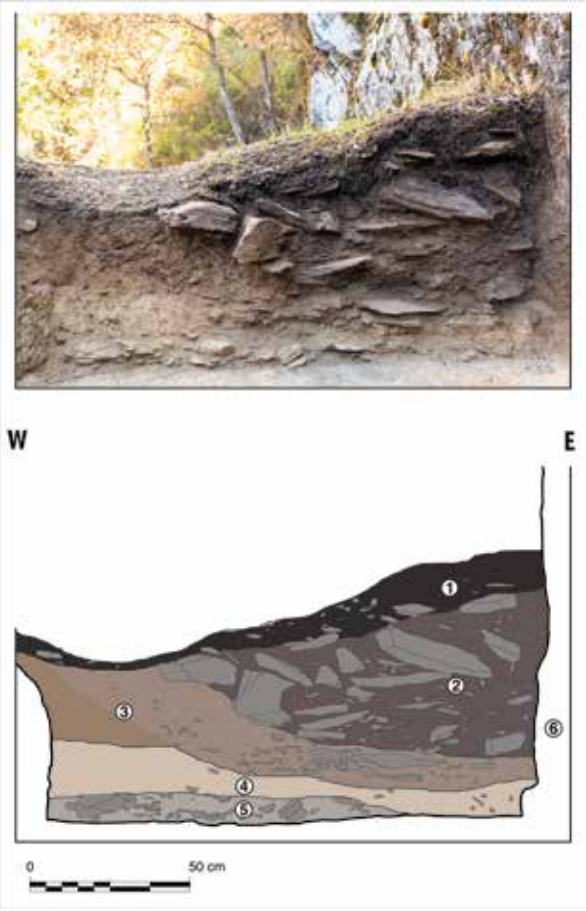
Figuras 130 y 131. Foto de los restos del caldero de metal localizado en el derrumbe y dibujo de su reconstrucción.



Figura 132 y 133. Excavación arqueológica efectuada en 2003 y detalle del perfil estratigráfico.

con piedra pequeña, como parte de la adecuación como camino. La matriz es tierra suelta, con poca piedra, de color oscuro; refleja la colmatación con los materiales arrastrados procedentes de los laterales. Tiene una potencia media de 50 a 60 cm. Bajo ella, la UE2 está constituida básicamente por materiales de derrumbe del muro interior: piedras grandes y medianas, caídas hacia el interior del canal, y bolsadas de tierra suelta con gravas. Tiene una potencia media de 40 cm y buza hacia el exterior. La UE3 es una capa de 25-30 cm de potencia, con arcillas que proceden del lavado de los muros originales, trabados con argamasa anaranjada. La UE4 es un delgado nivel de arcilla, con lajas y cantos pequeños, que se localiza sobre la capa más profunda de sedimentos y el fondo. Esta última capa, de 10-15 cm, situada sobre el fondo rocoso del canal, no fue excavada para evitar que quedara al descubierto el suelo y se deteriorase.

El sondeo que se ha realizado en 2022 ha permitido descubrir una sección completa de la caja del canal y los niveles de colmatación, mediante una limpieza en la zona excavada en 2003. La anchura de la caja en el fondo alcanza 1,60 m en su fondo y ambos laterales fueron labrados en la roca (figs. 134-135). La potencia máxima de la roca cortada (UE6) en el este es de 1,80 m, aunque solo 9-10 cm aparecen



Figuras 134 y 135. Sección del canal C18: unidades estratigráficas que reflejan el proceso de colmatación del canal.



Figura 136. Pared occidental del canal C18 tallada en la pizarra y fondo del mismo, con marcas de la erosión por el agua que circuló por él.

erosionados por el agua, y de 30 cm en el oeste, con 7-8 cm erosionados. Se recurrió a la construcción de un tramo de muro de contención con lajas de pizarra y esquisto, en un segmento en el que no había afloramiento rocoso para tallar los laterales (UE7).

Se diferenciaron cinco unidades estratigráficas en los rellenos del canal. El nivel superficial (UE1) tiene unos 10 cm de potencia hacia el este del perfil y unos 5 cm hacia el oeste de la sección. Se trata de tierra aireada y oscura, que soporta actualmente vegetación herbácea poco densa. Bajo el superficial, la UE2 está formada por sucesivas acumulaciones de lajas de pizarra (que llegan a tener 20 cm de largo y 10 cm de grosor), con una matriz de tierra oscura suelta y gravas de pizarra. Solo aparece en la parte central y este del perfil, donde alcanza una potencia máxima de 52 cm, de manera que no llega a la roca que cierra por el oeste el canal. Se debió de formar a lo largo de un periodo dilatado, con posterioridad al abandono total del canal. La UE3 está debajo de las UE2 (hacia el este) y UE1 (hacia el oeste); tiene una matriz fina, arcillosa, de color ocre, con escasos y menudos fragmentos de pizarra (3-5 cm); llega a tener 26 cm de potencia hacia el oeste y solo 2 cm hacia el este. Debió de formarse con el canal ya en desuso, como denota su irregularidad.

La UE4 es un nivel limoso, de color ocre claro a amarillento con pequeñas lajas de pizarra (1-2 cm), con 14 cm de potencia en el lado oeste y 8 cm en el este. La UE5 tiene igualmente matriz limosa, de un tono ocre oscuro, pero con abundantes fragmentos laminares de pequeñas lajas de pizarra de 3 a 5 cm, y algunas de hasta 10 cm. Tiene una potencia máxima de 5 cm hacia el oeste y 3 hacia el este. Debe de tratarse de un nivel coetáneo al uso del canal o del primer momento de su abandono, con algunas lajas de pizarra sobre el fondo, caídas de las pendientes laderas. UE6 corresponde al suelo del canal, con la roca lateral claramente erosionada por el paso del agua entre 7 y 10 cm (fig. 136). Se han podido datar muestras correspondientes a las unidades estratigráficas 2 y 4 (tabla 30).

6.2.4. Canal C25, Peña Aguda (Corporales, Truchas) (C25/CPA/2022)

El canal C25 forma parte de la red meridional, nace en el depósito D23, cerca del alto de Peña Aguda, y llega al depósito D28, en Campo de Braña,

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
C18/ CLC/2022/4	22_C18_CLP _UE4_COR	4	*Corylus avellana*	2080± 30	119-46 cal BC (57,4 %) 150-133 cal BC (10,8 %)	175-26 a. C. (89,3%) 19 a. C. al 8 d. C. (6,1%)
C18/ CLC/2022/5	21_C18_CLP _UE5_Tax	5	*Taxus baccata*	3770± 30	2278-2254 a. C. (15,4 %) 2207-2140 a. C. (52,9 %)	2291-2131 a. C. (87,2%) 2088-2047 a. C. (8,3%)

Tabla 30. Fechas ^{14}C del canal C18.

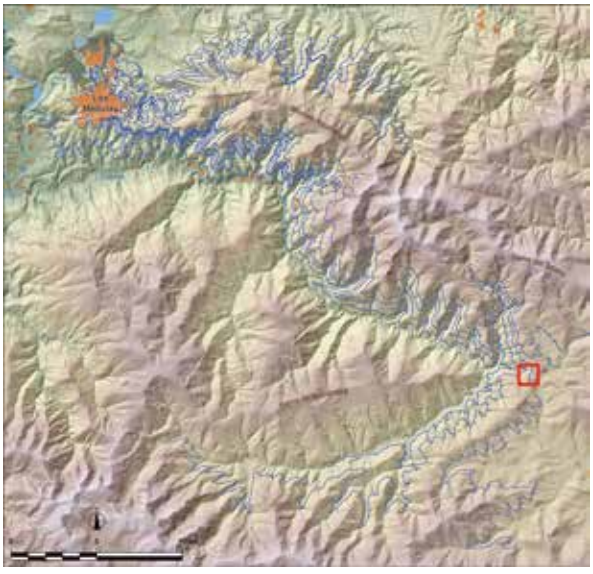


Figura 137. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del sondeo realizado en el canal C25.





Figuras 138 y 139. Parte del canal C25 que había sido previamente excavado en extensión y tramo del mismo en el que se realizó la limpieza de un perfil.

relacionado con las últimas fases de trabajos en el sector 3 (fig. 137). Este canal fue objeto de una amplia limpieza, que en buena medida ha alterado su morfología original y ha contribuido a su deterioro (fig. 138) (Matías 2020). En el marco de este proyecto, se ha procedido a limpiar uno de los perfiles resultantes de dicha intervención. Esto ha permitido documentar una sección estratigráfica de este tramo de canal y la toma de muestras contextualizadas en las unidades arqueológicamente significativas. Se encuentra próximo al alto de Peña Aguda (fig. 139), y está

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
C25/CPA/2022/4a	18_C25_CPA_ UE4a_Leg	4a	Leguminosa	1930±30	28-45 d. C. (7,6%) 58-130 d. C. (57,1%) 145-154 d. C. (3,5%)	22-206 d. C. (95,4%)
C25/CPA/2022/5	17_C25_CPA_ UE5_Eri	5	*Erica* sp	Negativa		

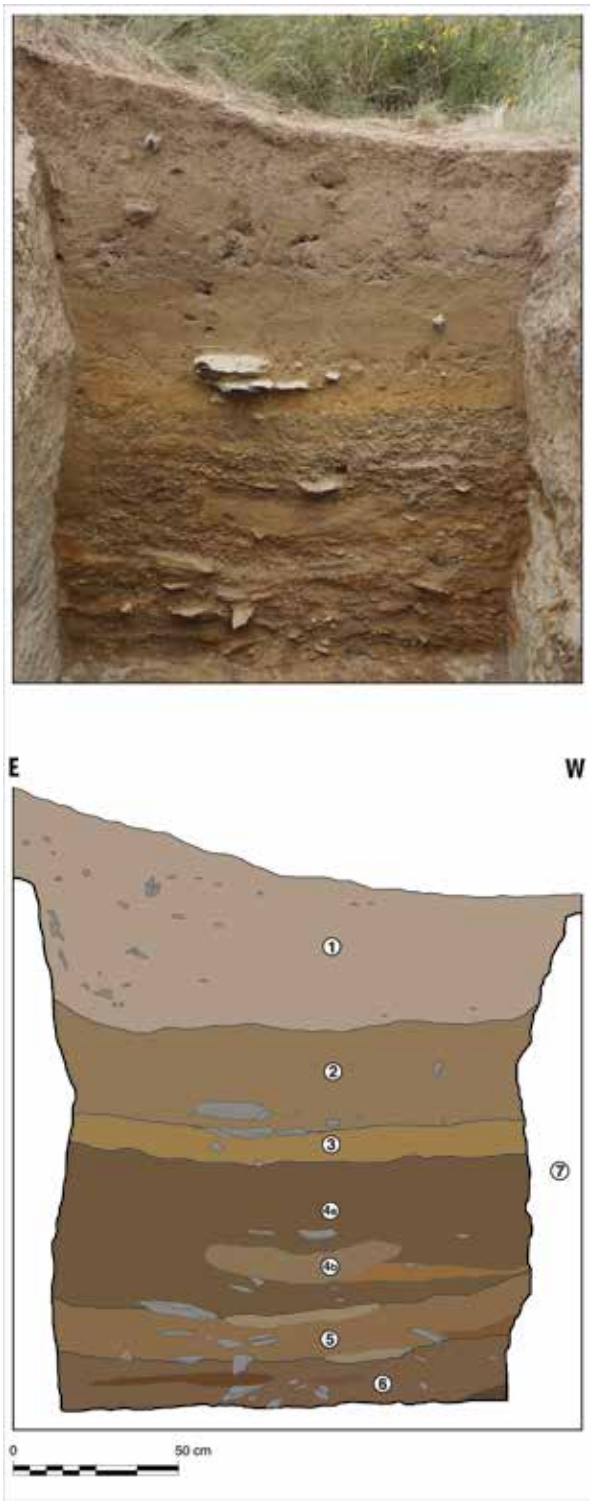
Tabla 31. Fechas ^{14}C del canal C25.



Figura 140. C25, caja del canal y niveles de colmatación.

cortado por la carrera LE-191-19. La actuación se ha llevado a cabo en el tramo del canal previamente excavado inmediatamente al sur de dicha vía (fig. 140).

Se han determinado seis unidades estratigráficas sedimentadas (figs. 141 y 142). El nivel superficial (UE1) tiene una matriz arenosa, suelta, de color ocre y más limosa hacia la parte inferior de la unidad; contiene fragmentos de roca desprendidos de los laterales de la caja del canal y soporta vegetación herbácea. Su potencia es de 30-50 cm. La UE1 cubre la UE2, que es un paquete de hasta 30-35 cm de espesor, de matriz limosa más compacta que la UE1, de color ocre oscuro y con algunas lajas de pizarra en su base. La UE2 refleja etapas recientes de colmatación del canal en medio seco. Bajo ella, la UE3 es más limosa y compacta, con tono de ocre claro a anaranjado; es una capa horizontal, con una potencia de 25-28 cm; no contiene gravas ni piedra, salvo dos pequeños fragmentos hacia la parte central del perfil. La UE4 está formada por un potente paquete (40-47 cm de espesor), que incluye niveles interdigitados con granulometría variable y matriz limosa. Hay gravillas redondeadas y lajas centimétricas, organizadas en delgadas capas que se entrelazan con otras de matriz limosa, de colores pardos y anaranjados. Se ha dividido en dos subunidades: UE4a está formada por capas de gravillas, con una matriz arenosa de color ocre blanquecino donde se tomó una muestra para datación (tabla 31) y UE4b es una capa de limo fino ocre-anaranjado de 12-15 cm de espesor, que forma una bolsada.



Figuras 141 y 142. Sección del canal C25 con los niveles de colmatación registrados en el perfil.

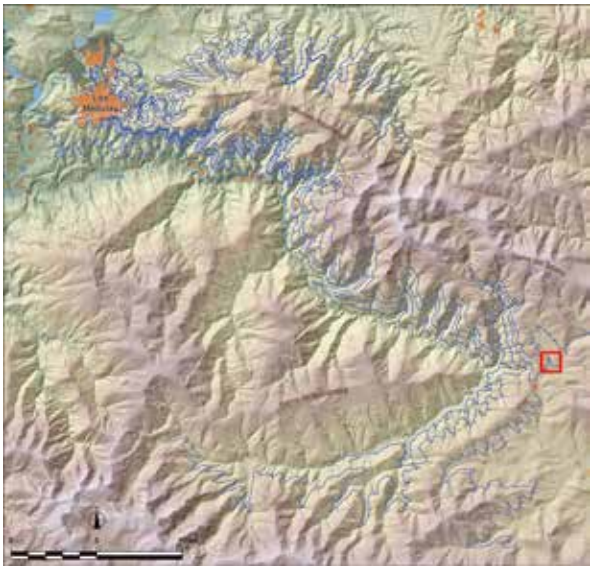
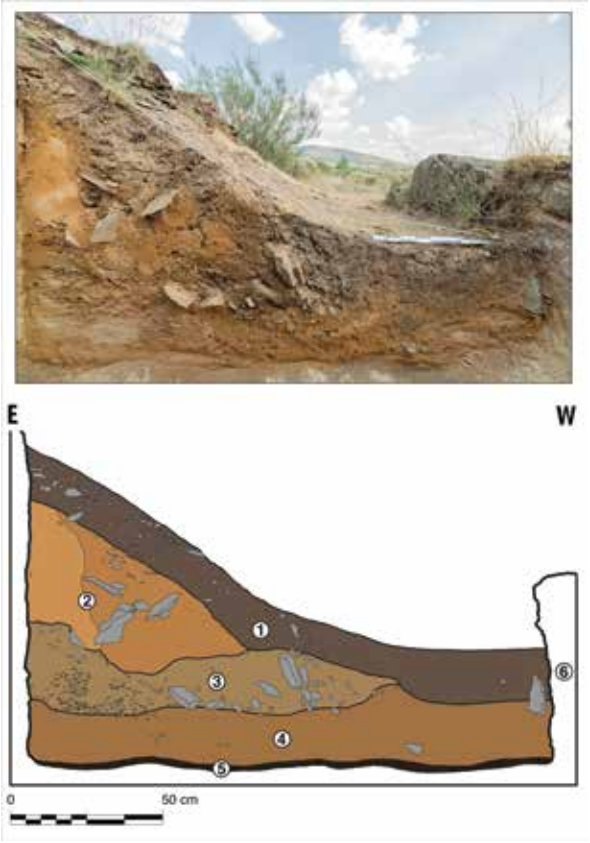


Figura 143. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del sondeo realizado en el canal C26.



Figura 144. Tramo del canal C26 próximo al punto en el que se efectuó el sondeo.

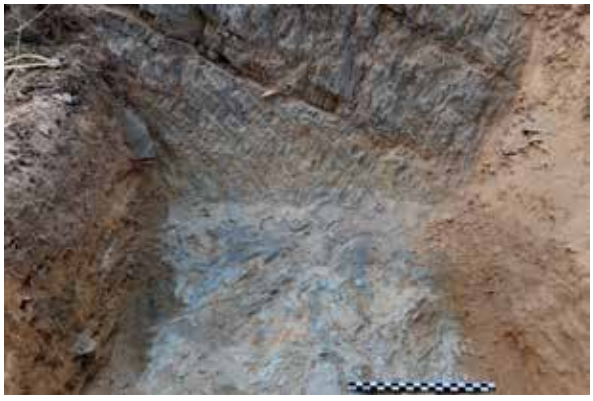


Figuras 145 y 146. Sección de C26: unidades estratigráficas identificadas en los rellenos del canal.

La UE5 es un nivel con gravas pequeñas y redondeadas y matriz arenosa de color ocre (arenas) y anaranjado-rojizo (gravillas). Es un nivel horizontal que tiene un espesor de 18-25 cm; puede responder a un momento temprano de abandono del canal. Su techo y su base contienen algunas lajas de mayor tamaño que marcan el contacto con UE4a y con UE6 respectivamente. La UE6, de entre 10 y 14 cm de espesor, se localiza inmediatamente sobre el suelo del canal tallado en la roca (UE7). Contiene limos muy decantados que forman distintos niveles laminares, propios de acumulación en condiciones de humedad; algunos son totalmente limosos, otros contienen pequeñas gravas. En la base es de tonalidad rojiza oscura (oxidación) y posee alguna laja desprendida de las paredes del canal (UE7). La UE6 se encuentra directamente sobre el suelo del canal, por lo que puede relacionarse con una sedimentación en los primeros momentos del cese del uso del canal o los últimos de su funcionamiento como canal minero. La anchura del canal en este punto es de 1,15 m.

6.2.5. Canal C26 o canal bajo de Corporales (Truchas) (C26/CBC/2022)

Este canal forma parte de la red meridional de Las Médulas y desemboca en el depósito D23, en Peña Aguda, del que salía el canal C25 tratado en el punto anterior. En el barrio de Pedrosa (Corporales),





Figuras 147 y 148. Detalles de la caja del canal C26 y del fondo con evidencias de la erosión causada por el agua.

con una diferencia de cota de apenas 3 m, hay dos tramos de canales que pertenecen a dos redes hidráulicas diferentes: el canal C26 abastecía las labores de Las Médulas (fig. 143), mientras que el canal situado a cota ligeramente inferior abastecía las labores de La Debesa de Corporales (ver apartado 6.2.9). En ambos casos se ha procedido a limpiar un perfil y tomar muestras. C26 actualmente aparece muy tapado por la vegetación, lo que dificulta seguir su trazado en superficie (fig. 144). Hace algunas décadas resultaba más fácilmente detectable (fig. 67).

En C26 se ha seleccionado un segmento del canal excavado en la roca en el que se aprecia el afloramiento que sirvió de pared oeste al canal, que conserva marcas de labra y 0,75 m de altura. Cortada en el mismo afloramiento, la pared este alcanza 1,15 m. El ancho de la caja llega a 1,7 m. La marca de la erosión del agua en las paredes se sitúa a 8-10 cm del fondo del canal. El límite este en superficie presenta abundante laja de pizarra suelta porque el afloramiento ha sufrido una importante exfoliación.

Se han identificado cinco unidades estratigráficas en la colmatación del canal, en el perfil documentado (perfil sur) (figs. 145 y 146). Bajo la cubierta vegetal (herbáceas y leñosas) se ha identificado un nivel superficial, UE1, de entre 15 y 8 cm de espesor, formado por tierra aireada con muchas raíces y algunas pequeñas pizarras. Bajo esta unidad, hay un paquete de materiales junto a la pared este del canal, UE2, que por su aspecto heterogéneo parece fruto de remociones del terreno, quizás para recuperación de arenas finas. Junto a la roca hay una bolsada de limos muy finos y, adyacente, otra bolsada más heterogénea, con tierra suelta, limosa, pardo-oscura y con abundantes pizarras pequeñas y lajas más grandes (10-15 cm)

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
C26/CBC/ 2022/4M	16_C26_CBC UEm_pin	4med	*Pinus nigra-sylvestris*	2170±30	351-290 a. C. (38,8%) 209-167 a. C. (29,4%)	360-273 a. C. (42,8%) 265-242 a. C. (3,3%) 236-103 a. C. (48,3%)
C26/CBC/ 2022/4I	11_C26_CBC UE4I_Eri	4inf	*Erica* sp.	1980±30	32-17 a. C. (9,5%) 7-77 d. C. (58,7%)	43 a. C.-120 d. C. (95,4%)
C26/CBC/ 2022/5	11_C26_CBC UE4I_Eri	5	Leguminosa	2000±30	40-10 a. C. (26,5%) 1-31 d. C. (26,5%) 40-60 d. C. (15,3%)	51 a. C.-84 d. C. (91%) 96-116 d. C. (4,4%)

Tabla 32. Fechas ^{14}C del canal C26.

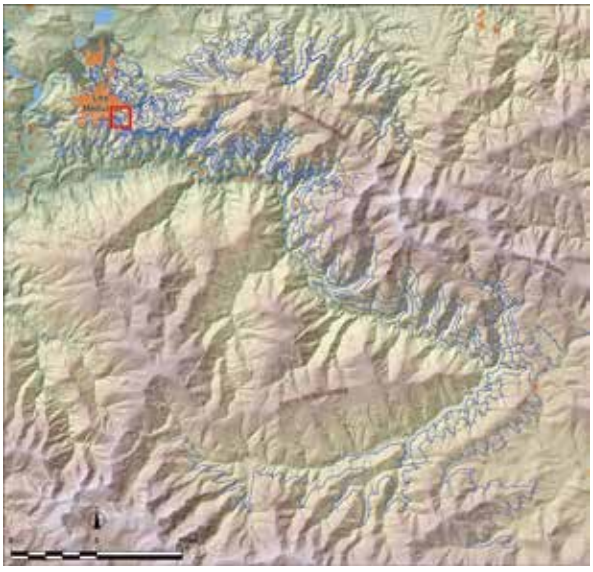


Figura 149. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con la situación del sondeo realizado en el canal C29.



Figura 150. Limpieza en el sector occidental de la excavación llevada a cabo en el trazado del canal C29 en los años noventa del pasado siglo.

desordenadas; tiene hasta 28 cm de espesor. La UE3 contiene lajas caídas y rellenos posteriores al abandono del canal, incluyendo algunas pizarras planas, de unos 10 cm, en la base de la unidad. Se aprecian raíces y su potencia es de 18-19 cm. La UE3 cubre la parte este de la UE4, que forma un paquete de varios nivelillos de relleno del canal, con 43 cm de potencia hacia el este del perfil y 10 cm hacia el oeste. Las capas alternas son casi horizontales, tienen similar matriz, pero distinta coloración y contenido de gravas. Hacia el oeste de la sección, UE4 está inmediatamente debajo del superficial (UE1). En el tramo superior (UE4 Sup.) y junto a la pared este hay niveles con arenas finas y gravas en una matriz arenosa y grisácea, que alternan con nivelillos de limos; este paquete tiene 28 cm de potencia en la parte oriental y desaparece en forma de cuña hacia el oeste. En la parte inferior (UE4 Inf.) hay nivelillos de limos interdigitados, sin gravas, laminares, sedimentados en condiciones húmedas, con coloraciones de ocre claro a anaranjado y algunos niveles más grisáceos; entre ellos cambia el contenido de arena y este paquete UE4 Inf. tiene en conjunto una potencia de 13 a 17 cm (de oeste a este). La UE5 es una capa delgada, de 1 a 7 cm de espesor, de color negruzco, sobre el fondo del canal, cuya superficie irregular rellena; puede corresponder al uso o a un primer abandono. El fondo del canal, UE6, fue excavado y nivelado en la roca (figs. 147 y 148).

6.2.6. Canal C29, Campo de Braña (Yeres, Puente de Domingo Flórez) (C29/CDB/2023)

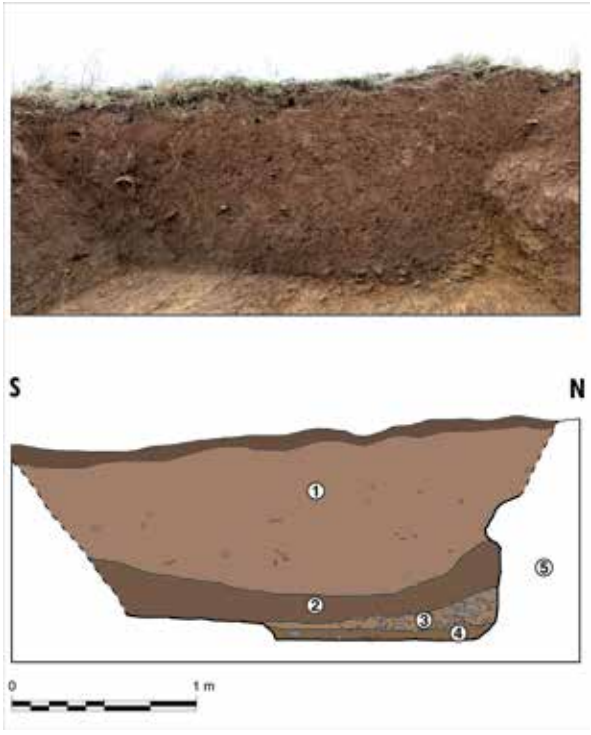
El canal C29, perteneciente a la red meridional, tiene un recorrido relativamente corto, ya que sale del depósito de distribución de agua D28, en Campo de Braña, y abastece al depósito D34, sobre los subsectores 3.8, 3.9 y 3.11. (fig. 149).

Se optó por despejar el perfil de la excavación efectuada en este canal a comienzos de la década de 1990 (figs. 72, 73 y 150). Las dimensiones de la zona de intervención fueron de 2,70 m de anchura y 1,46 m de altura. El perfil se retranqueó 40 cm. El objetivo ha sido recuperar el perfil oeste, documentar la estructura de la caja del canal y los rellenos de colmatación.

En el lado norte de la caja se conserva más altura del afloramiento labrado en la roca y la sur presenta un resalte más marcado, pero de menor altura, sobre el que pudo haber otra estructura, quizás formada por lajas del esquisto local en el que se talló el canal, ya que aparecen algunas caídas en los niveles de relleno. Para acondicionar el fondo, se niveló la roca, que se encuentra muy disgregada (UE5).

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
C29/CDB/2023/3	24_C29_CDB	3	*Erica* sp	1910±30	28-48 d. C. (2,9%) 58-215 d. C. (92,6%)	28-44 d. C. (2,9%) 58-215 d. C. (92,6%)
C29/CDB/2023/4	25_C29_CDB	4	*Erica* sp	1980±30	43 a. C.-120 d. C. (95,4%)	43 a. C.-120 d. C. (95,4%)

Tabla 33. Fechas ^{14}C del canal C29.



Figuras 151 y 152. Sección del canal C29 y de sus niveles de colmatación.



Figura 153. Detalle del fondo y caja del canal C29.

Se documentaron cinco unidades estratigráficas en la colmatación del canal (figs. 151 y 152). Hay un potente nivel superficial (UE1) cuyo espesor oscila entre los 54 y los 80 cm; está compuesto por tierra pardo-oscura de matriz arcillosa suelta. Soporta la vegetación herbácea actual. Tiene abundantes raíces y escasos cantos angulares de un máximo de 10 cm. Bajo él se encuentra un nivel de relleno posterior al abandono del canal (UE2), que hacia el sur está por encima de la caja tallada en el esquisto. Es tierra pardo-oscura, de matriz arcillosa similar a UE1 pero más oscura, sin cantos, solo con alguna pequeña grava. Su espesor varía entre 18 y 36 cm. La UE3 es un nivel con abundantes lajas caídas, de hasta 25 cm, desordenadas y con disposición planar. Llegan a constituir el 90 %. La matriz es ocre, arcillosa y hacia el centro algo más oscura. Su potencia media es de 8 cm. La UE4 es el nivel del fondo del canal, con matriz ocre arcillosa, pequeñas lajas y color algo más oscuro; rellena los huecos entre la roca que forma el suelo del canal. Su espesor es de 4-6 cm.

Por último, la UE5 es la caja y fondo labrados en el esquisto, muy alterado (fig. 153). Se acondicionó el fondo nivelándolo y los laterales generando resaltes, más claro el meridional. La anchura máxima de la caja es 1,15 m. La altura del límite norte tallado en la roca alcanza 75 cm y el meridional 18 cm.

6.2.7. Canal C30c, Pena Escribida (Orellán, Borrenes) (C30c/CPE/2022)

Se trata de un canal de la red septentrional relacionado con las últimas fases de explotación de Las Médulas, próximo a los frentes más recientes de los sectores 3.10 y 3.11 de la mina. Nace en D28 (Campo de Braña) (fig. 154) y se han identificado tres ramales,

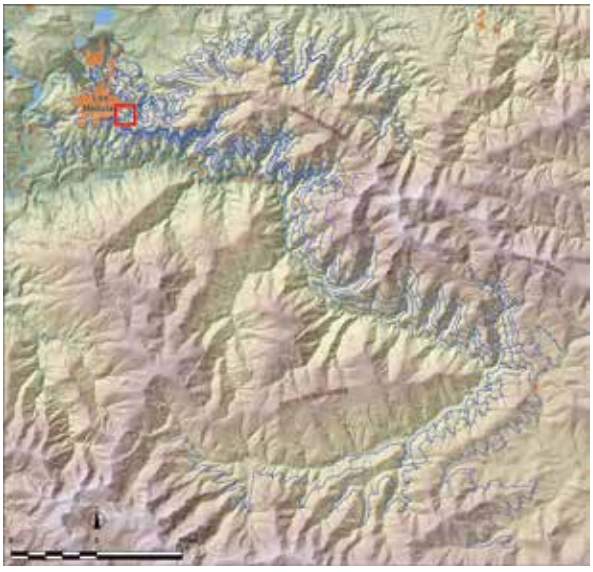


Figura 154. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del sondeo realizado en el canal C30c.



Figura 155. Tramo descubierto del canal C30c (Pena Escribida). Al fondo de la imagen, el perfil recuperado para su documentación actualizada.

30a, 30b y 30c. La intervención se ha efectuado en este último, que conducía el agua hasta el depósito D39, en La Horta. Este canal había sido ya objeto de excavación por nuestro equipo y de él es actualmente visible un tramo, señalizado y accesible para visitantes (fig. 155). Se ha procedido únicamente a limpiar un pequeño segmento (de 2,20 × 1,50 m, orientado oeste-este), con el fin de despejar un perfil, documentar con mayor precisión la estratigrafía del relleno y tomar muestras. La estructura, dimensiones y erosión por agua de la caja del canal ya habían sido registradas (Sánchez-Palencia y Pérez García 2000a, 196 y 200). Su anchura oscila entre 1,50 y 1,80 m.

La potencia máxima de la estratigrafía documentada es de 0,87 m (figs. 157 y 158). El nivel superficial (UE1) está formado por materiales de arrastre de la ladera, tierra pardo-oscura y pequeños fragmentos de pizarra centimétricos; la cobertura vegetal es básicamente brezo. Su potencia va de 48 cm (junto a la pared tallada en roca al oeste) a 25 cm en el este.

Bajo la UE1 se ha identificado una capa de relleno y colmatación del canal (UE2), con matriz de tierra suelta de color ocre claro, con abundantes lajas de pizarra de 5 cm de media y alguna aislada de mayores dimensiones. Este nivel se estrecha hacia el este y tiene 31 cm de espesor máximo. UE2 cubre un nivel limoso (UE3) de color ocre claro-amarillento, con escasas gravas de pizarra y 30 cm de potencia media. UE3 está situado inmediatamente sobre el suelo del canal (UE4) en el que se aprecian fragmentos de lajas de pizarra de hasta 8 cm desprendidas de las paredes (fig. 156). La intervención ha permitido documentar de nuevo las huellas de la erosión provocada por el agua en la roca, en el fondo del canal y en su pared oeste, confirmando la circulación de una lámina de agua de no más de 10 centímetros (figs. 159 y 160).

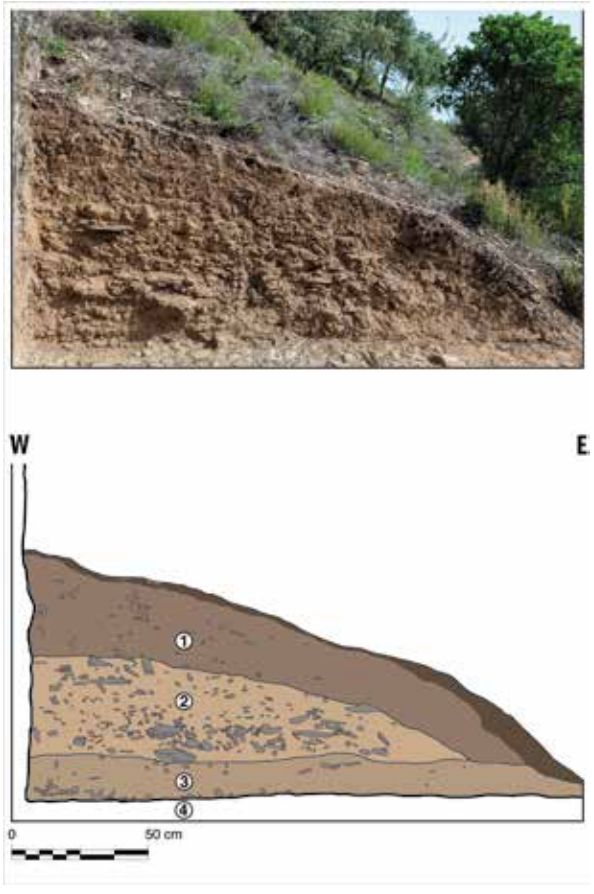
En el tramo descubierto del canal, actualmente visible, se aprecia que la roca labrada forma la pared oeste de la caja del canal, mientras que en la delimitación este se alterna la roca labrada, cuando hay afloramiento, con otros elementos, hoy desaparecidos,

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha Calibrada 1 sigma	Fecha Calibrada 2 sigmas
C30c/ CPE/2022/3	12_C30c_CPE _UE3_Eri	3	*Erica*	1800± 30	222-254 d. C. (33,5%) 288-322 d. C. (34,8%)	165-188 d. C. (2,1%) 202-264 d. C. (45,5%) 275-346 d. C. (47,8%)

Tabla 34. Fecha ^{14}C del canal C30c.



Figura 156. Perfil del canal C30c documentado, caja del canal labrada en el esquisto y fondo del canal acondicionado.



Figuras 157 y 158. Sección del canal C30c y niveles de colmatación identificados.





Figuras 159 y 160. Marcas de erosión causada por el agua en el fondo y paredes del canal C30c. Escalones labrados en la roca para construir el muro de cierre exterior de C30c con lajas de pizarra (limpieza de 1994).





Figuras 161 y 162. Tramos detectados en superficie del canal C32 en su parte alta, próximo al Eria.

para cerrar la caja. La existencia de escalonamientos tallados en la roca hacia el exterior (este), puede responder a la presencia original de tramos construidos con lajas de pizarra u otros materiales, ya que el cierre de la caja precisó algún tipo de estructura por ese lado (fig. 160).

6.2.8. Canal C32 o canal alto de Corporales (Truchas) (C32/CAC/2022)

Se ha intervenido en el tramo más alto de este canal de la red meridional, cercano a la zona de captación del agua (fig. 163). Está próximo al lugar conocido como El Pontón sobre el río Eria y discurre paralelo a la carretera de Corporales a Ponferrada por el puerto de El Morredero (LE-CV 192/21). El canal se aprecia en las laderas en varios tramos, aunque de manera discontinua (figs. 161 y 162). C32 desemboca en el depósito D28, en Campo de Braña, y se relaciona, por lo tanto, con las últimas fases de la explotación minera.

Se limpiaron superficialmente unos 30 m, con el fin de documentar su anchura y las características de la caja (fig. 164) y se excavó un tramo de 2 m del canal, con la anchura de la caja tallada en la roca. Se seleccionó un punto en el que ambas paredes de la caja resultaban visibles; en la cara norte se conservan huellas de las picadas para cortar la pizarra (fig. 168).

En este tramo limpiado, la anchura de la caja llega hasta 0,95 m y en la zona excavada es de 0,8 m.

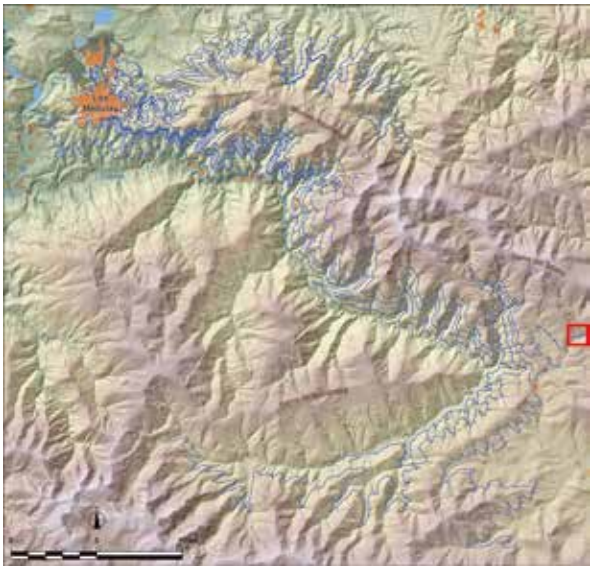


Figura 163. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del sondeo realizado en el canal C32.

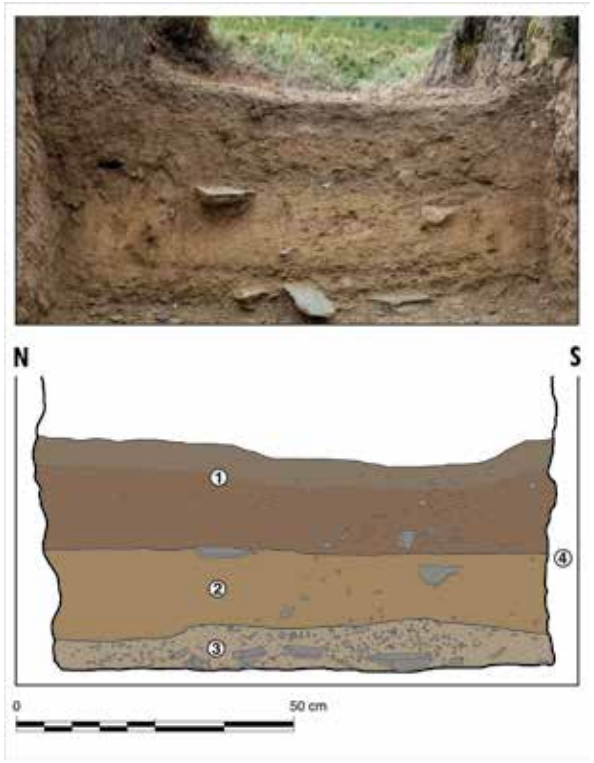
En la parte más meridional del segmento despejado hay un escalón con un desnivel de 45-50 cm con la superficie de la roca erosionada por el agua (fig. 165).

La altura del perfil excavado es de 36 a 42 cm y en él se han determinado cuatro unidades (figs. 166 y 167). La UE1 corresponde al nivel superficial, con tierra parda suelta y abundantes raíces de la vegetación herbácea que la cubre. Su matriz es arenosa y se detectan escasas gravas (<10 %); se aprecia en ella un lentejón más arenoso y con más gravilla. Su





Figuras 164 y 165. Tramo limpiado superficialmente de C32 y escalón en el recorrido del canal, que implicaría un pequeño salto de agua



Figuras 166 y 167. Sección del canal C32 (perfil oeste) y unidades estratigráficas que muestran el proceso de colmatación.



Figura 168. Sondeo realizado en el canal C32.

potencia es de 15 a 22 cm y en su parte inferior contiene más gravas. Bajo la UE1, la UE2 es una capa horizontal de unos 13 a 15 cm de espesor, formada por rellenos limosos de color ocre amarillento, con algunas manchas anaranjadas de oxidación, que motean la unidad. El sedimento es compacto, con algunos cantos (de 6-7 cm como máximo) y gravas dispersas y escasas. Debajo, la UE3, tiene 6 a 11 cm de potencia, con similar matriz arcillosa a la de UE2,

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha Calibrada 1 sigma	Fecha Calibrada 2 sigmas
C32/CAC/2022/3	13_C32_CAC _UE3_Eri	3	*Erica* sp.	1910± 30	81-9 d. C. (13,3%) 109-172 d. C. (42%) 182-203 d. C. (13%)	28-44 d. C. (2,9%) 58-215 d. C. (92,6%)

Tabla 35. Fechas ^{14}C del canal C32.

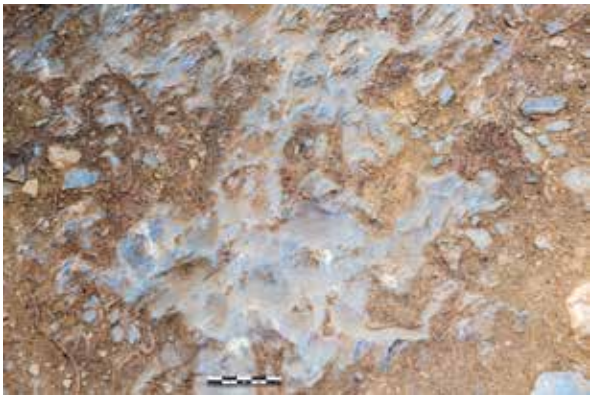


Figura 169. Canal C32, huellas del desgaste del fondo del canal por la lámina de agua que circulaba.

pero de color ocre más oscuro y mayor proporción de gravas y lajas pequeñas de pizarra (de hasta 5 cm), desprendidas de las paredes. En la parte superior las gravas son angulosas y subcentimétricas y en la parte inferior, sobre el fondo, algo más grandes. La proporción de grava es alta. Bajo esta unidad se encuentra el fondo del canal (UE4), rebajado en las pizarras, nivelado y con evidencias de circulación del agua. La parte inferior de las paredes del canal conserva marcas de las picadas para su tallado (fig. 168). Tanto el fondo como la parte inferior de las paredes muestran evidencias del desgaste causado por el agua, que en las paredes no superan los 10 cm desde el fondo (fig. 169).

6.2.9. Canal de La Debesa de Corporales (Corporales, Truchas) (CDC/2022)

La documentación de este canal pretende proporcionar un punto de referencia de otra red hidráulica que comparte el mismo espacio geográfico, pero que alimentaba otras labores, las de La Debesa de Corporales (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 159 y fig. 77) (fig. 170). Se encuentra en el barrio de

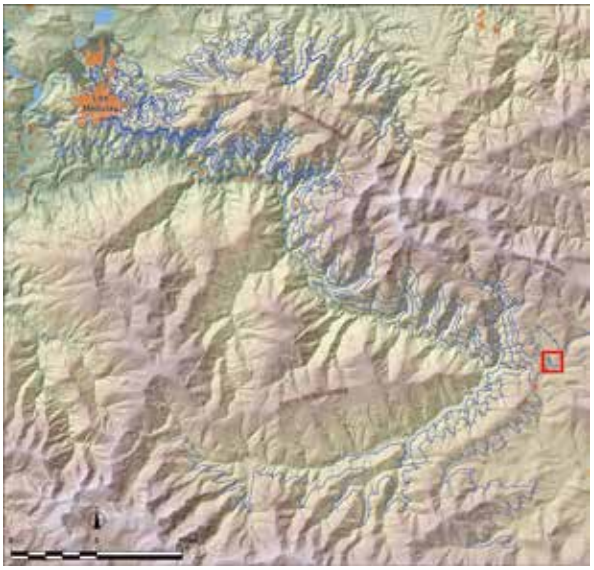


Figura 170. Plano general de la red hidráulica, con ubicación del sondeo realizado en el canal que abastecía las labores mineras de La Debesa de Corporales.

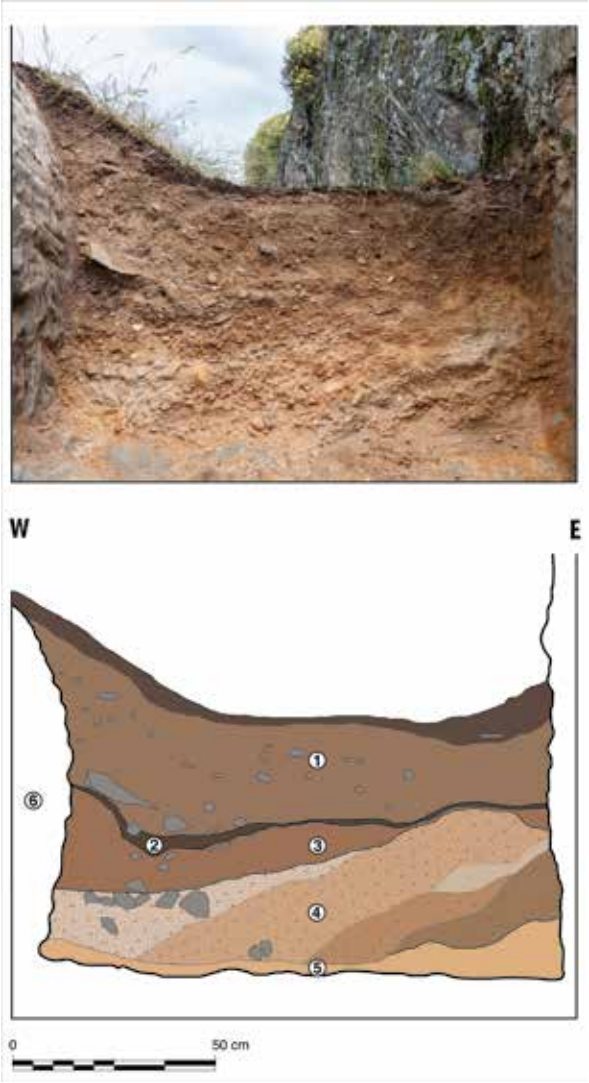


Figura 171. Canal de abastecimiento de las labores de La Debesa de Corporales y, a una cota algo más alta, el C26 de la red hidráulica de Las Médulas.

Pedrosa, en Corporales (Truchas), 3 m por debajo del C26 (fig. 171).



Figura 172. Tramo del canal CDC en el que se efectuó el sondeo.



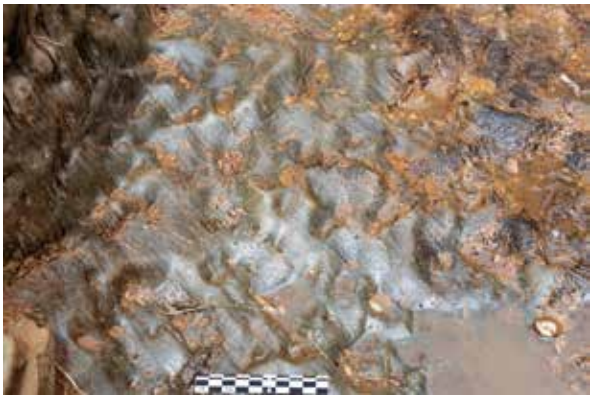
Figuras 173 y 174. Perfil norte de la sección del canal CDC y niveles de colmatación registrados.

El trazado del canal es visible en superficie de manera intermitente, siendo sobre todo claro en los puntos en los que se talló la caja en la roca (fig. 172). Se ha limpiado un segmento del canal de 1,5 m, con el objetivo de documentar una sección del mismo y las características de su caja, que tiene en este tramo una anchura de entre 0,88 y 1,13 m; en la sección registrada es de 1,05 cm (figs. 173 y 174). En superficie se aprecia como el canal se encaja en la roca cortada (en algunos puntos hasta 1,80 m). En la pared oeste del sondeo (UE6) el afloramiento de pizarra alcanza 70 cm, pero se interrumpe en este punto, por lo que se levantó un murete de pizarra (UE7) para cerrar la caja; se conservan 11 hiladas de lajas colocadas horizontalmente y a hueso y pudo tener dos hiladas más, teniendo en cuenta las piezas caídas (fig. 175). En el perfil norte se aprecia bien el derrumbe de las lajas y también en la esquina sureste del sondeo hay varias pizarras. El afloramiento que forma la pared oriental (UE6) alcanza 1,30 m. Se conservan marcas de desgaste hasta la parte superior de la pared oeste, lo que indica que en momentos posteriores circuló agua, pero no en toda la sección original del canal. No es descartable una reutilización de la conducción en momentos posteriores.

La excavación ha permitido documentar un perfil (el norte) con cinco unidades estratigráficas (figs. 173 y 174). El nivel superficial (UE1) tiene de 25 a 30 cm de potencia; su capa superior (1 a 5 cm) soporta vegetación herbácea y leñosa y es de tierra negruzca y aireada; el resto de la unidad tiene matriz arenosa y suelta, contiene lajas de pizarra (5-8 cm), gravas y alguna piedra más grande caída del muro de cierre del canal por el oeste.

Bajo el nivel superficial hay una capa delgada, la UE2, algo más ancha hacia el oeste, de color pardo-negruzco y de 1-2 cm de espesor; es posible que refleje un nivel que sufrió los efectos del fuego, ya que las gravas y pequeños cantos aparecen también





Figuras 175 y 176. Canal de La Debesa de Corporales: detalle de la caja del canal y huellas de la erosión en la roca provocada por la circulación de agua.

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha Calibrada 1 sigma	Fecha Calibrada 2 sigmas
CDC/2022/4inf	14_C_DBC _UE4I_Ang	4Inf	Angiosperma	1970±30	12-83 d. C. (57,5%) 97-113 d. C. (10,7%)	41-9 a. C. (11,9%) 1 a. C.-124 d. C. (83,6%)

Tabla 36. Fechas ^{14}C del canal CDC

ennegrecidos. Marca su límite superior una laja grande de pizarra; su textura es similar a UE3, por lo que podría ser su capa superior, pero el cambio de coloración lleva a considerarla una UE diferenciada. La UE3 es algo más compacta, con gravillas y una matriz arcillosa de color anaranjado; como UE2 es más delgada hacia el este. Tiene entre 10 y 15 cm de potencia. La UE4 contiene varias capas arenosas centimétricas y subcentimétricas, sedimentadas horizontalmente y algunas bolsadas con más gravas. El espesor total de esta UE es de 15 a 18 cm. Inmediatamente bajo UE3 hay un nivel más blanquecino, con algunos cantos de hasta 5 cm. Hacia la parte inferior, en el nordeste hay una bolsada con más grava y más anaranjada. La parte inferior, ya sobre el fondo del canal, es anaranjada oscura, más arenosa, con gravas y pizarras pequeñas depositadas sobre el fondo. La UE6 es el fondo del canal, formado nivelando las pizarras y claramente erosionado por la circulación del agua (fig. 176). En las irregularidades de las pizarras se han formado concreciones con limos finos y algo de grava, casi con aspecto de argamasa (UE5). En algunos puntos, por su coloración, parece quemado u oxidado.

6.2.10. Canal emisario de La Frisga (Orellán, Borrenes) (CEF/2022)

Los *emissaria* constituyen un tipo específico de canales que permitían conducir el agua desde los depó-

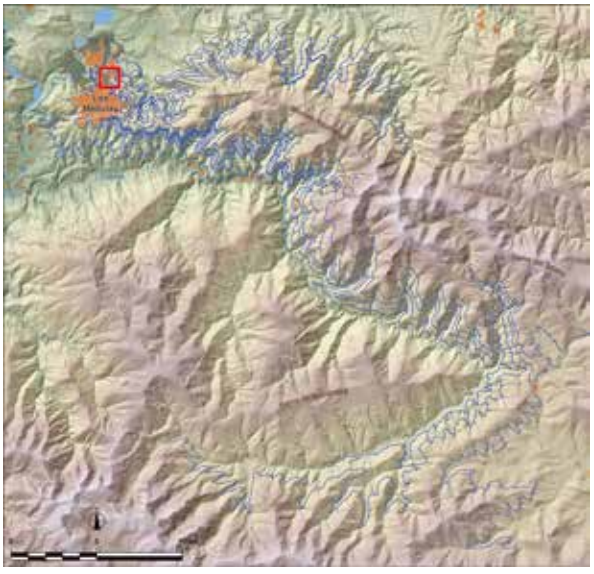
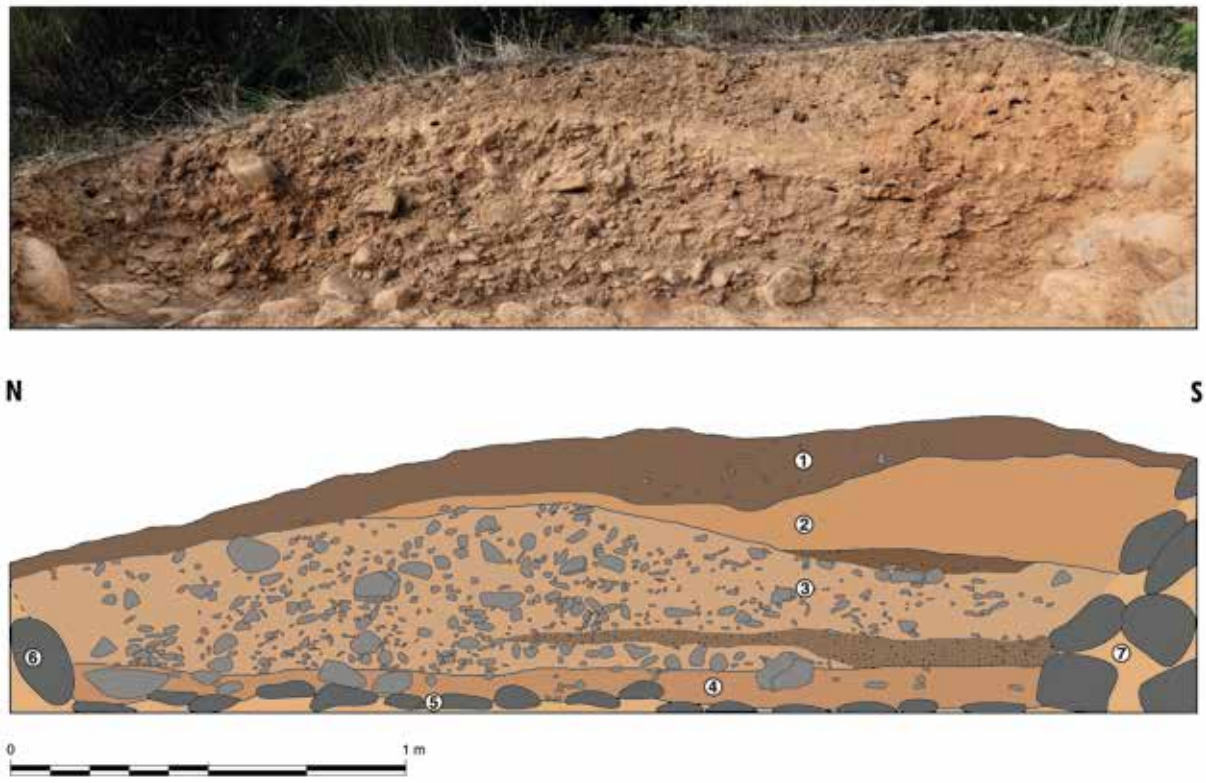


Figura 177. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del sondeo realizado en el canal emisario de La Frisga, en el sector 2.2.



Figuras 178 y 179. Perfil norte del sondeo efectuado en el canal emisario de La Frisga (sector 2.2 de Las Médulas).

sitos a los frentes de explotación (ver apartado 4.4). Plinio se refiere a estas estructuras y menciona que la salida del agua se regulaba por un sistema de esclusas u *opturamenta* (*HN,* XXXIII 75).

En este caso, se trata de las labores mineras del sector 2.2, La Frisga (ver apartado 3.1.2). El emisario recorre una de las series de surcos convergentes del sector (fig. 177). Se ha limpiado el segmento ya excavado (Sánchez-Palencia y Pérez García 2000, 207), con el fin de documentarlo con más detalle. Los trabajos previos permitieron determinar que el canal se realizó empleando los cantos rodados del conglomerado para acondicionar el fondo y los laterales (UE5, 6 y 7). Se instaló en una zona ataludada y a una cota más alta que las labores, ya que, desde las salidas abiertas en él, el agua se arrojaría sobre los surcos, arrastrando así el conglomerado aurífero para su lavado.

Se ha retranqueado el perfil de la anterior intervención y se ha documentado (figs. 178 y 179). La potencia máxima del relleno es de 0,69 m. La vegetación predominante es retama y matas de roble y encina. El nivel superficial (UE1) es de tierra ocre oscuro, con algo de grava; su potencia máxima es de 20 cm hacia el centro del corte y solo de 4 cm hacia el extremo este. Bajo la UE1 se identifican niveles limosos de relleno (UE2 y UE3). UE2 está formada por limos finos de color ocre claro con forma de bolsada irregular, con una potencia máxima de 12 cm hacia el extremo este, que desaparece antes de alcanzar el extremo oeste de la sección; parece un nivel de relleno ya tras el abandono del canal. UE3 tiene una matriz de tierra limosa ocre, con abundantes pequeños cantos rodados de cuarcita y alguno mayores (de hasta 10-12 cm) y muy escasa grava de pizarra. Morfológicamente está formado por bolsadas interdigitadas y su espesor va de 44 a 25 cm. Parece responder al primer relleno del canal una vez abandonado. La UE3 cubre una formación de limos muy finos (UE4), que pueden corresponder al uso o primer abandono de la estructura. Es de color ocre oscuro a anaranjado, sin nada de grava; su potencia máxima es de 9 cm hacia el





Figuras 180 y 181. Canal emisario de La Frisga, fondo y laterales acondicionados con cantos de cuarcita.

extremo sur de la sección, y no se llegó a formar en la parte norte. Está inmediatamente sobre el fondo del canal (UE5). Tanto los laterales del canal (UE6 y UE7) como el fondo se acondicionaron mediante cantos rodados de cuarcita, extraídos del propio conglomerado (figs. 180 y 181). La anchura del fondo es de entre 2 y 2,30 m y el alzado de los laterales conservado supera en algunos puntos los 60 cm. En esta ocasión no se ha recuperado materia orgánica datable.

6.2.11. Canal emisario de Tiseiro Largo (Las Médulas, Carucedo) (CET/2023)

Se trata también de un canal de explotación, o canal emisario próximo a Chaos de Mourán, entre los subsectores 7.3 y 9.2 dentro del sector 3.6 (ver apartado 3.2.1) (fig. 182). La estructura se aprecia en superficie a lo largo de varias decenas de metros, ligeramente elevada sobre el terreno circundante (fig. 183). Es posiblemente un emisario procedente del depósito D19 (Chaos da Cruz) y pudo contar con algún elemento intermedio para controlar el flujo de agua y mantener una cota adecuada.

Se efectuó una limpieza de su superficie interior y de las caras externas de los muretes que lo delimitan (figs. 184-186). La intervención ha permitido constatar, ante la ausencia de un fondo acondicionado, que debió de tratarse de una estructura sobre la que se apoyó un canal de materiales perecederos, muy posiblemente madera.

En el tramo visible en superficie se conservan las caras externas, levantadas con cantos rodados.

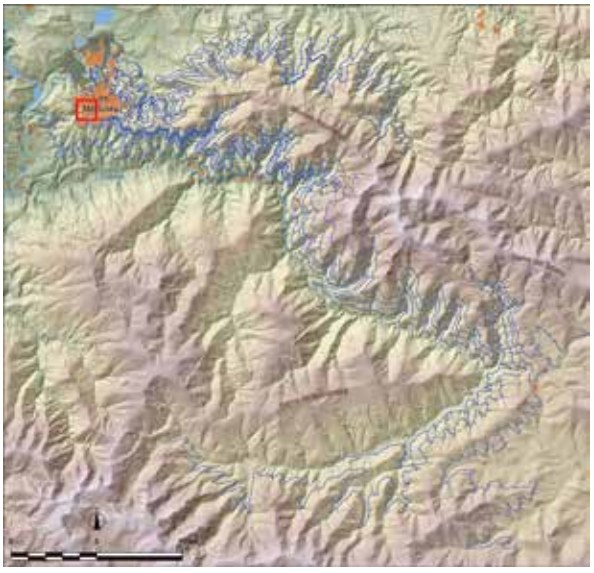
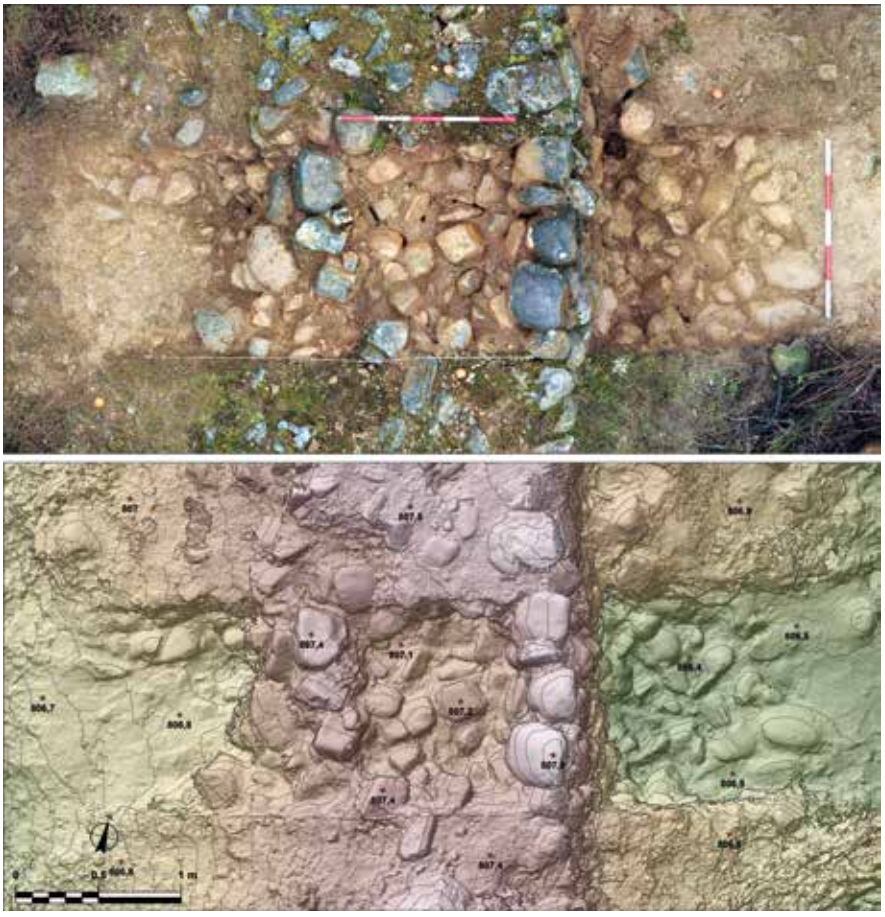


Figura 182. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas con ubicación del sondeo realizado en el canal emisario de Tiseiro Largo, en el sector 3.6.



Figura 183. Vista general del canal emisario de Tiseiro Largo (CET).

Figura 184. Ortofotografía y documentación planimétrica de la estructura del canal emisario del Tiseiro Largo (CET).







Figuras 185 y 186. Intervención de limpieza y exterior de la estructura para sustentar el canal emisario de Tiseiro Largo.

En la zona excavada se aprecian al exterior hasta ocho hiladas y 1,30 m de altura, pero su número varía, adaptándose al terreno para nivelar la estructura. Hacia el exterior del muro este hay un derrumbe, con una anchura de 1,5 m y no se descarta algún tipo de escalonamiento. La cara oeste de la estructura tiene menor alzado, con solo 2-3 hiladas.

El fondo es irregular y heterogéneo, de manera que no es posible pensar que por él circulase el agua; entre los cantos rodados hay huecos; no es, por lo tanto, viable suponer la existencia ni de un piso ni de una plataforma. Además, por un lado, es significativa la ausencia de cara interna en los muretes que delimitan la estructura y, por otro, su escasa anchura (1,5 m desde los paramentos externos y menos de 1 m de caja) no corresponde a la documentada en el emisario de La Frisga, pero es claramente adecuada para soportar algún tipo de canalización. Dada la falta de rellenos antiguos no se tomaron muestras.

6.3. INTERVENCIONES EN DEPÓSITOS

Como se ha visto en el capítulo 5, los depósitos eran elementos esenciales en la red hidráulica, cumpliendo distintas funciones imprescindibles para regular el flujo de agua en ciertos puntos del recorrido de los canales, para distribuirla hacia diversos sectores mineros o para acumularla sobre los frentes de explotación, hacia los que el agua era conducida mediante *emissaria*. De ahí que Plinio los mencione, denominándolos *piscinae* o *stagna* (Plin., *HN,* XXXIII 75).

En la tabla 37 se especifican los depósitos de agua en los que se han realizado intervenciones, así como el tipo de trabajo llevado a cabo, su localización precisa, el registro documentado y las muestras recogidas. Como en el caso de los canales, se han efectuado excavaciones limitadas a las áreas estrictamente necesarias para documentar la estructura de los depósitos, estimar sus dimensiones y obtener secuencias estratigráficas de los niveles de colmatación. Se ha constatado el interés de combinar este tipo de intervenciones con los estudios geofísicos (ver apartado 5.2).

Se trata de tres tipos diferentes de depósitos, representativos de diversas funciones en la red hidráulica: tres de ellos son depósitos de explotación (D19 Chaos da Cruz, D22 Las Pedrices y D39 La Horta), uno corresponde a una estructura de regulación (D23 Peña Aguda) y otro a un depósito de redistribución (D28 Campo de Braña).

6.3.1. Depósito D19, Chaos da Cruz (Las Médulas, Carucedo) (D19/CDC/2022)

El depósito de Chaos da Cruz se vincula a las primeras etapas del laboreo en el principal sector de Las Médulas, el 3, lo que justifica su selección para llevar a cabo en él una intervención (figs. 187).

Depósito	Intervención realizada	Localización	Registro documentado	Muestreos
D19	Sondeo y geofísica	Depósito de Chaos da Cruz (Las Médulas, Carucedo)	Colmatación (15 UE*) y sección parcial del depósito	Polen, flotación, geoquímica, carbones
D22	Sondeo	Depósito de Las Pedrices (Carucedo)	Colmatación (6 UE) y sección parcial del depósito	Polen, flotación, geoquímica, carbones
D23	Sondeo	Depósito de Peña Aguda (Corporales, Truchas)	Colmatación (6 UE) y sección parcial del depósito	Polen, flotación, geoquímica,
D28	Sondeo	Depósito de Campo de Braña (Puente de Domingo Flórez)	Colmatación (5 UE) y sección parcial del depósito	Polen, flotación, geoquímica
D39	Sondeo y geofísica	Depósito de La Horta (Las Médulas, Carucedo y Orellán, Borrenes)	Colmatación (9 UE), sección parcial del depósito y exterior del mismo	Polen, flotación, geoquímica, carbones

*UE = unidad estratigráfica

Tabla 37. Sondeos en los depósitos de agua de la red hidráulica de Las Médulas.

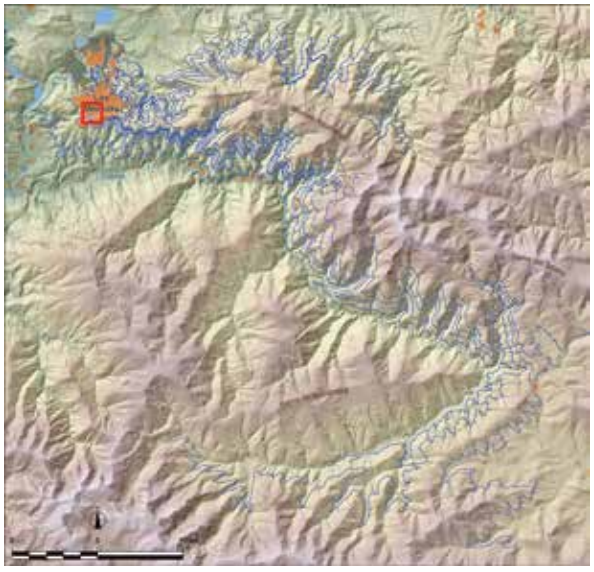


Figura 187. Plano general de la red hidráulica, con ubicación del sondeo realizado en el depósito de Chaos da Cruz (D19).



Figura 188. Depósito D19, Chaos da Cruz, topografía con la situación del sondeo realizado.

Se efectuó un sondeo de 2,50 × 11,50 (a los que hay que sumar 6 m auxiliares como rampa de acceso a los niveles inferiores) (figs. 188). La profundidad máxima alcanzó los 4 m (desde la coronación del borde de norte del depósito hasta el fondo en la parte sur del corte) y se documentó la secuencia estratigráfica de sus rellenos, aunque no se alcanzó en nivel geológico. Como en el caso de La Horta, la elección de la zona de excavación se determinó teniendo en cuenta los resultados preliminares del estudio geofísico

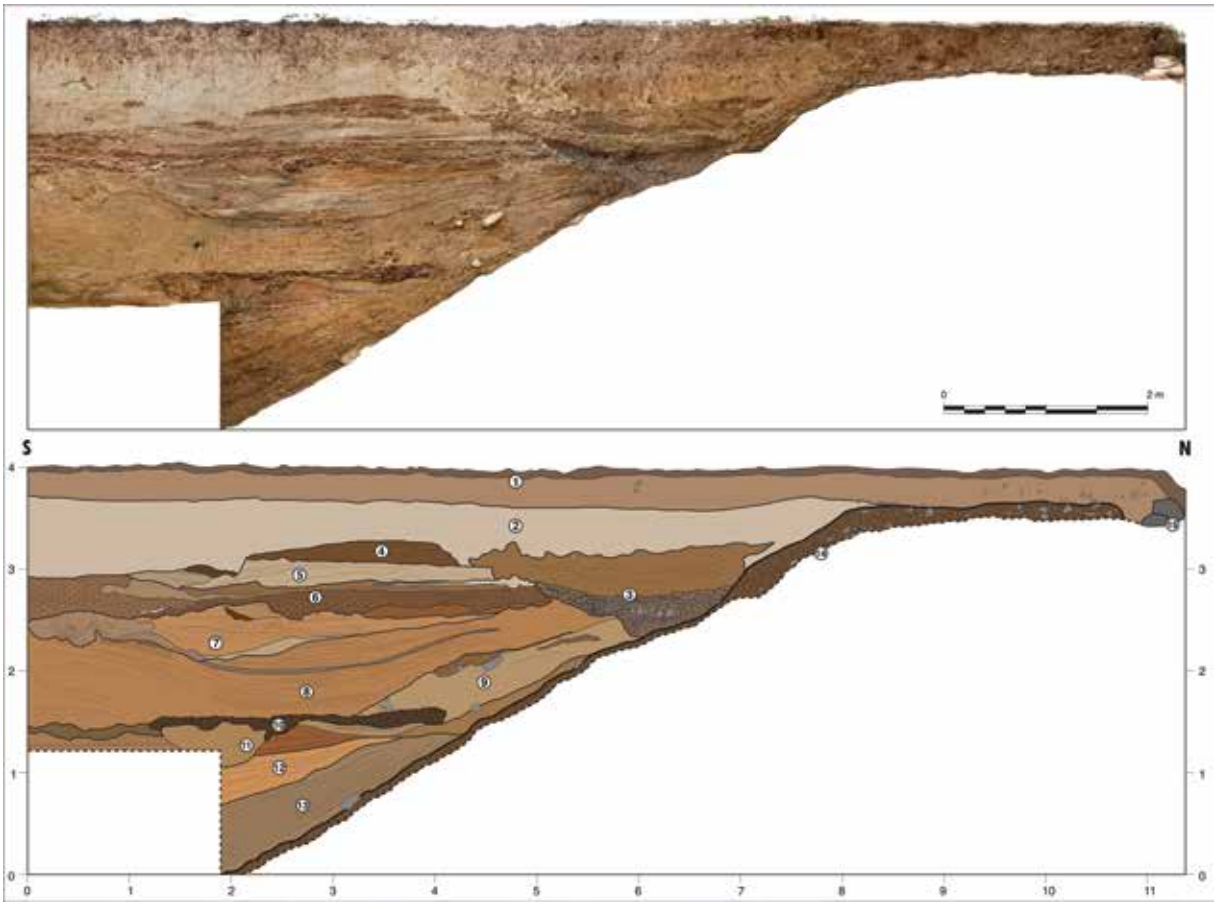


Figura 189. Vista general del sondeo efectuado en el depósito de Chaos da Cruz (D19). Al fondo de la imagen, la parte norte del sondeo.

llevado a cabo por Marcos A. Martínez Segura y Pedro Martínez Pagán (ver apartado 5.2.2).[2]

La secuencia estratigráfica documentada se caracteriza por la existencia de numerosos niveles de muy escasa potencia, prácticamente laminares, que se han agrupado en unidades estratigráficas que permitan explicar el proceso de uso, abandono y colmatación. Se han identificado en total 15 unidades estratigráficas y dos posibles fases de uso del depósito (figs. 189-191). Las UE1, 2 y 3 corresponden al nivel superficial y a procesos de relleno y nivelación recientes, en parte relacionados con el uso agropecuario del suelo. Suman una potencia media de 1,50 m. Las UE4, 5 y 6 responden a un proceso de sedimentación anterior, con episodios en los que variaron el grado de humedad y la energía en el momento de su formación. Su espesor conjunto medio es de unos 85 cm. Las UE7 y 8 pueden relacionarse con el fin del uso de la segunda fase de D19. Las UE9 y 10 marcan un cambio en el uso (entre la fase más reciente que se acaba de mencionar y la más antigua que ahora se verá), con el desprendimiento de materiales del talud (UE9) y la formación de un delgado nivel (5 a 10 cm). Las UE11, 12 y 13 responden a la primera etapa del uso del depósito de Chaos da Cruz

2 En las descripciones de los sondeos efectuados en depósitos, se presenta, en primer lugar, un resumen de la estratigrafía documentada y, a continuación, una descripción más detallada de las unidades estratigráficas.



Figuras 190 y 191. Sección documentada en el perfil oeste del depósito D19.

y están caracterizadas por numerosos nivelillos laminares (figs. 192-194). Donde alcanzan mayor potencia suman 1,70 m. De acuerdo con los datos obtenidos en esta intervención, el depósito fue excavado en el conglomerado (Formación Orellán y contacto de esta con la Formación Santalla) que se conserva en el talud que sirvió por el norte de cierre al vaso del depósito (UE14). Sobre él, en la parte más alta, se colocó un encachado de bloques de cuarcita para reforzar el borde (UE15). En la tabla 38 se recogen las dataciones de ^{14}C obtenidas en dos de las unidades correspondientes a la segunda fase de uso de D19.

La UE1 es el nivel superficial, cubierto por vegetación herbácea, que incluye una capa subsuperficial relacionable con un suelo de cultivo reciente. La matriz es arcillosa suelta, de color pardo oscuro y con abundantes raíces. Su potencia es de 30 a 35 cm. Bajo



Figura 192. Depósito de Chaos da Cruz (D19): niveles superficiales, de rellenos recientes y de colmatación en ambiente húmedo, correspondientes al abandono del uso del depósito (segunda fase de uso).

la UE1 hay dos paquetes que responden a la colmatación reciente (UE2 y 3) que suman de 1 a 1,20 m de





Figuras 193 y 194. Detalles de niveles laminares en D19.

potencia. UE2 es una nivel homogéneo y compacto, que consta de materiales finos, limosos, de color ocre a ocre amarillento, sin cantos ni gravas. Su espesor medio es de 45-50 cm, aunque en algunos puntos llega a los 60 cm. Es un nivel de colmatación, pero su base no es totalmente horizontal. La unidad UE3 hacia el norte del sondeo apoya directamente sobre el conglomerado (contacto entre Formación Orellán y Formación Santalla) y alcanza 70 cm de espesor; hacia el sur se estrecha en forma de cuña y apoya sobre UE4. Su límite superior es de tendencia horizontal y su base tiene un perfil ligeramente cóncavo. La matriz es arcillosa de color amarillento-blanquecino, con gravas y algunos cantos de hasta 5 cm. Es un nivel con granulometría heterogénea y nivelillos interdigitados. En la base de esta unidad hay mayor proporción de cantos y gravas y la matriz adquiere un tono pardo-oscuro a negruzco. Tiene una potencia de 15 a 20 cm.

Bajo estos niveles, hay varias unidades que responden a procesos de sedimentación con diferente energía y grado de humedad (UE4, 5 y 6). La UE4 presenta la morfología de un lentejón, con nivelillos más arenosos y sueltos, con gravillas y casi sin arcillas. Su color es ocre anaranjado. En su parte central tiene 30 cm de espesor y se estrecha hacia los extremos. La UE5 es un paquete compacto, formado por sedimentos finos, similar a la UE2, pero con matriz algo más arenosa y coloración amarillenta-blanquecina. Es muy homogéneo, sin gravas ni cantos, y de un espesor medio de 25 cm. Estratigráficamente, esta unidad está cortada por UE3 y cubierta por UE4 y hacia el sur por UE2. La UE6 es de aspecto similar a UE4; se alternan en ella nivelillos arenosos con otros más arcillosos y con mayor proporción de gravas. Su color es ocre-anaranjado y su espesor de 20 a 40 cm. En la parte superior hay interdigitación con UE5. Esto es indicativo de cambios lentos en la energía del proceso de sedimentación. Estratigráficamente está bajo UE5 y hacia el norte está cortada por UE3. La base de esta UE6 es bastante horizontal, aunque su cota se eleva algo hacia el extremo norte, dando lugar a un perfil ligeramente en cubeta.

La UE7 consta de varios niveles con perfil ligeramente cóncavo, que por sus características pueden responder al cese del uso de la estructura como depósito de agua. Su potencia va de 40 cm en la parte central del perfil documentado, a 10 cm en los extremos. Los nivelillos que componen esta unidad tienden a ser horizontales y son laminares (centimétricos o subcentimétricos). Se alternan capas de arenas finas, de coloraciones blanquecinas, grisáceas y anaranjadas. No contienen ni gravas ni cantos. Reflejan episodios de sedimentación con baja energía y en similares condiciones. Está limitado en su base por un nivel rojizo, más oxidado, con un perfil en artesa, de unos 10 cm de espesor. Hacia la parte sur, la formación de convolutas sugiere turbulencias en el momento de formación de estos estratos laminares (figs. 190-192).



Figura 195. Estructura de refuerzo en el límite norte del depósito D19, de Chaos da Cruz (UE15).

Todo ello puede ser indicativo del cese de uso de la estructura.

La UE8 es un potente paquete, más espeso hacia los extremos norte y sur del sondeo, entre 80-90 cm y 40 cm, porque su límite superior responde al mismo perfil en artesa identificado en la base de la UE7. Su base, sobre la UE10, es prácticamente horizontal. En términos generales, es un sedimento de matriz arcillosa compacta, de textura homogénea, sin gravas ni cantos. Incluye varias capas laminares, algunas superpuestas y otras interdigitadas, cuya coloración tiene diversas tonalidades grisáceas y anaranjadas. Por su textura y morfología se considera que UE8 responde a limos depositados en medio acuoso o muy húmedo. La UE8 se apoya sobre un paquete de materiales desprendidos del talud que delimita el depósito de Chaos da Cruz por el norte, la UE9. Se trata de arcillas, gravas y cantos de hasta 20 cm. Es una unidad heterogénea, en la que aparecen también mezclados limos de la colmatación depósito. Tiene forma de cuña, que hacia el norte se apoya en el conglomerado en el que se excavó el vaso del depósito (Formación Orellán) y al sur se estrecha y apoya sobre la UE10. Está formada por al menos tres paquetes cuya granulometría varía. Contiene dos cantos rodados de mayor tamaño, que pueden haberse desprendido de la estructura de contención que cierra por el norte el depósito (UE14).

La UE10 es un nivel bastante horizontal, ferruginoso. Su espesor es de 5 a 20 cm. Su matriz es

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
D19/ CDC/2022/4	05_CDC _UE4_Leg	4	Leguminosa	1840±30	133-140 d. C. (4,6%) 160-190 d. C. (20,1%) 201-242 d. C. (43,5%)	124-250 d. C. (91,8%) 295-311 d. C. (3,6%)
D19/ CDC/2022/6	08_CDC _UE6_Que	6	*Quercus*	1910±30	81-99 d. C. (13,3%) 109-172 d. C. (42%) 182-203 d. C. (13%)	28-44 d. C. (2,9%) 58-215 d. C. (92.2%)
D19/ CDC/2022/7S	04_CDC _UE7S_Eri	7sup	*Erica* sp.	2000±30	40-10 a. C. (26,5%) 1-31 d. C. (26,5%) 40-60 d. C. (15,3%)	51 a. C.-84 d. C. (91%) 96-116 d. C. (4,4%)
D19/ CDC/2022/7I	03_CDC _UE7I_Leg	7inf	Leguminosa	1980± 30	32-17 a. C. (9,5%) 7-77 d. C. (58,7%)	43 a. C.-120 d. C. (95,4%)
D19/ CDC/2022/8S	02_CDC _UE8S_Eri	8sup	*Erica* sp	1960± 30	23-84 d. C. (51,7%) 95-116 a. C. (16,6%)	42-8 a. C. (7,9%) 2-130 d. C. (87,5%)
D19/ CDC/2022/10	06_CDC _UE10_Eri	10	*Erica* sp	2020±30	48 a. C.-25 d. C. (68,3%)	98-70 a. C. (5,4%) 58 a. C.-78 d. C. (89,6%) 102-106 d. C. (0.4%)
D19/ CDC/2022/11	01_CDC _UE11_Que	11	*Quercus*	Negativa		
D19/ CDC/2022/12	07_CDC _UE12_Ang	12	Angiosperma	Negativa		

Tabla 38. Fechas ^{14}C obtenidas en D19.

arenosa, suelta, con gravas, algún canto centimétrico y algunos lentejones muy ferruginosos. Se considera que la UE10 indica un cambio en el uso del depósito. Bajo ella se suceden tres unidades que pueden ponerse en relación con una primera etapa del funcionamiento del depósito (UE11, 12 y 13). La UE11, bajo la UE10, está formada por dos paquetes de limos, con variaciones en la textura y coloración de la matriz. El paquete más meridional tiene coloración anaranjada, es arenoso y tiene una potencia de 20 a 30 cm. El paquete septentrional es más arenoso, con color gris claro. En el perfil este, en el paquete meridional se aprecia una capa de unos 10 cm de espesor, homogénea, arenosa, de color ocre claro y con restos de materia orgánica. Por debajo de ella hay una sucesión de niveles laminares (subcentimétricos) de tendencia horizontal y coloración de ocre claro a pardo oscuro. Suman una potencia de 15 cm.

La UE12 consta igualmente de varias capas centimétricas. Su límite superior es horizontal y el inferior buza, siguiendo el perfil del conglomerado cortado para formar el talud que delimita por el norte el depósito. Se compone de una secuencia de láminas que suman una potencia máxima de 40 cm y se estrecha hacia el norte, bajo el paquete más grisáceo de la UE11. Están formadas por arenas finas o muy finas y sueltas. La coloración varía entre tonos grises claros, ocres, anaranjados y pardos. Cambia la disposición de la sedimentación respecto a UE13, que se adapta claramente al perfil del talud. La UE13 está formada por una serie de nivelillos laminares de espesor centimétrico, con matriz arcillosa, con distinto grado de compactación. Son limos, sin gravas ni cantos y de coloraciones ocre-anaranjadas a gris-verdosas. Incluye algunos pequeños lentejones ferruginosos subcentimétricos o centimétricos (5-10 cm). Su potencia máxima, hacia el sur del sondeo, es de 1 m, y disminuye hacia el norte, donde los niveles se formaron contra el conglomerado acondicionado para formar el talud. Los niveles que componen la UE13 están orientados siguiendo la pendiente de dicho talud tallado en el conglomerado (UE14). En algunos de ellos se detecta materia orgánica.

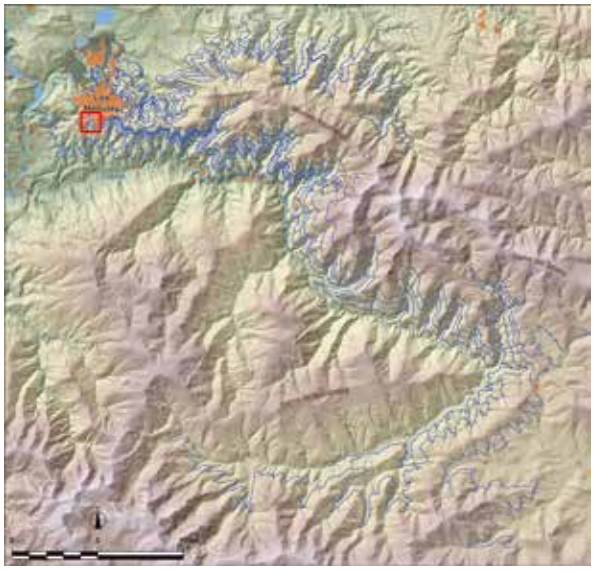


Figura 196. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del depósito de Las Pedrices (D22).

En la excavación del fondo no se alcanzó el contacto de los sedimentos antrópicos con el conglomerado, que sí se documentó en el talud que sirvió de límite septentrional al vaso (UE14). Se trata del conglomerado característico de la Formación Orellán. Como ya se ha indicado, apoyan en este talud varias de las UE sedimentarias descritas.

Al norte, directamente sobre el conglomerado, hay una estructura de grandes cantos de cuarcita irregulares y con disposición desordenada que pudo actuar como refuerzo (UE15) (fig. 195).

6.3.2. Depósito D22, Las Pedrices (Las Médulas, Carucedo) (D22/DLP/2023)

El agua acumulada en este depósito permitió la explotación sobre todo del sector 3.7 de la mina (figs. 39 y 196). Se ha realizado un sondeo de 2 m de anchura y 12,90 m de longitud, en el que se ha alcanzado una profundidad máxima de 2,30 m. Su orientación aproximada es norte-sur. En la zona elegida para efectuar la excavación se detectaba en superficie una elevación que parecía coincidir con el límite norte del depósito. El sondeo sigue el eje corto de la estructura. Simultáneamente, en la parte meridional del depósito, junto a la trinchera, se ha planteado

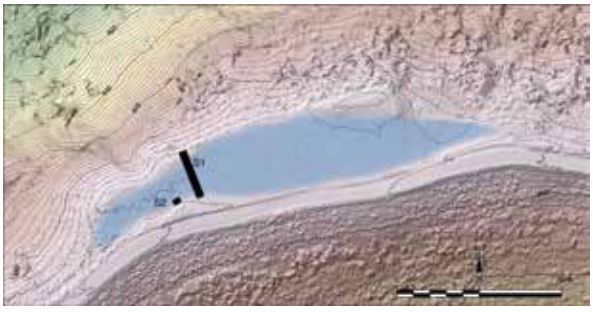


Figura 197. Topografía del depósito D22 de Las Pedrices con la situación de los sondeos realizados.

una pequeña limpieza del afloramiento rocoso para comprobar si fue cortado. Actualmente se encuentra cubierto por vegetación herbácea y leñosa (espinos, jaras) y algunas encinas (fig. 197). Como en el caso de D19, el estudio geofísico llevado a cabo en este depósito permite integrar ambos conjuntos de datos y conseguir una mejor caracterización morfológica de D22.

El análisis de la estratigrafía ha permitido determinar ocho unidades, seis de las cuales corresponden a la colmatación del depósito. Se ha podido documentar como se acondicionó el terreno para formar el vaso del depósito (figs. 198 y 199). Tanto el fondo como los límites norte y sur se tallaron en la roca (UE8). En el límite septentrional fue necesario recrecer el borde con un echadizo (UE2). Es posible que este relleno fuese cubierto parcialmente por una coraza de piedras para reforzarlo y estabilizarlo. La limpieza en el afloramiento de esquisto que limita por el sur el depósito ha dejado visibles las marcas de labra en la roca, en dirección contraria al plano de exfoliación, que la tallaron prácticamente en vertical (fig. 203).



Figuras 198 y 199. Sección del eje corto del depósito D22, Las Pedrices, y estratigrafía documentada en los rellenos.



Figura 200. Límite septentrional de D22, con la roca cortada para excavar el vaso del depósito y el borde recrecido.





Figuras 201 (arriba) y 202 (abajo). Niveles de colmatación de D22, con detalle de las unidades estratigráficas más profundas.

El vaso fue progresivamente colmatado (figs. 200, 201 y 202). En términos generales, bajo la capa superficial (UE1) se observa un primer paquete potente (hasta 1,10 m) y homogéneo de limos que corresponden a etapas recientes de la colmatación (UE3). Bajo él se han diferenciado tres capas caracterizadas por una importante secuencia de delgados niveles, casi laminares, en los que predominan las arcillas: la UE4, con hasta 70 cm de espesor y la UE6 con hasta 45 cm de potencia. Entre ellas, la UE5 (de 1-2 cm) marca un cambio en las condiciones. La UE7 es la más profunda de las identificadas en los rellenos de D22, con un máximo de 8-10 cm; corresponde a los últimos momentos de su uso o a la más temprana sedimentación tras su abandono (fig. 202). En la tabla 39 se incluyen las dataciones obtenidas en este depósito.

La UE1 corresponde al nivel superficial, de tierra pardo-oscura con escasos cantos de 2 a 10 cm y gravas. Soporta la cobertura vegetal y tiene abundantes raíces. Se aprecian en esta unidad los hoyos que se hicieron para una fallida plantación de castaños; su espesor máximo es de 70 cm. La UE2 es el paquete de rellenos acumulado sobre el afloramiento que cierra por el norte el depósito, está formado por materiales de la Formación Santalla, posiblemente extraídos del fondo del vaso, ya que el depósito de Las Pedrices fue excavado en el contacto entre la Formación Santalla y el zócalo de esquisto. Está formada por abundantes cantos rodados de granulometría muy variable, de hasta 50 cm, y sedimento de matriz arcillosa de color rojizo a anaranjado y compacto. El porcentaje de cantos llega a ser del 70-80 %. Tiene un perfil alomado, con talud hacia el interior y hacia el exterior. La identificación de varias losas y bloques sobre la parte superior y desplazados hacia el interior indica que pudo existir un refuerzo. Esta UE está directamente sobre el conglomerado de la Formación Santalla (con matriz más compacta y amarillenta) y sobre el esquisto. El espesor máximo es de 1,10 m y únicamente se tomó una muestra de una pequeña bolsada negruzca, con material más suelto, en la parte superior de la UE2, cercana al contacto con el nivel superficial.

La UE3 corresponde a un paquete de limos muy homogéneo. Se trata de un nivel reciente de colmatación del depósito, ya que apoya sobre UE2 hacia el norte del perfil, donde la capa se estrecha en forma de cuña. La separación con UE1 está marcada por



Figura 203. Afloramiento de esquisto que se labró para delimitar el vaso del depósito en el eje corto (sur).



Figura 204. Sección completa del eje corto de D22.

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
D22/ DLP/2023/4	04_DLP _UE4_Ang	4	Angiosperma	2010±30	43 a. C.-26 d. C. (65,1%) 50-54 d. C. (3,2%)	90-80 a. C. (1,5%) 54 a. C.-82 d. C. (92,1%) 98-110 d. C. (1,9%)
D22/ DLP/2023/5	03_DLP _UE5_Pin	5	*Pinus Nigra*	2080±30	150-133 a. C. (10,9%) 118-46 a. C. (57,4%)	175-26 a. C. (89,4%) 19 a. C.-8 d. C. (6,1%)
D22/ DLP/2023/6	02_DLP _UE6_Eri	6	*Erica* sp	Negativa		
D22/ DLP/2023/7	01_DLP _UE7_Eri	7	*Erica* sp	Negativa		

Tabla 39. Fechas ^{14}C obtenidas en el depósito D22, Las Pedrices.

algunos cantos grandes. No hay gravas ni cantos y muy escasas raíces. Es un nivel continuo, con una potencia máxima de 1,10 m, de coloración ocre-amarillenta con algunas manchas ocre-grisáceas o verdosas. El contacto con UE1 es bastante horizontal, no así la base del nivel, con ondulaciones. Hacia la parte sur del perfil, inmediatamente bajo el superficial, hay una bolsada con matriz más anaranjada, algún bloque grande (de hasta 50 × 40 cm), varias lajas de esquisto de hasta 20 cm, cantos de 5 a 10 cm y gravas; la acumulación de rocas es mayor en la parte más meridional, alcanzando el 30 %. Dada la potencia de esta UE, se ha subdividido en tres segmentos para la toma de muestras.

Bajo la UE3, la UE4 es un paquete con una potencia máxima de 70 cm que incluye numerosos nivelillos centrimétricos y subcentimétricos, que tienden a ser horizontales, aunque en algunos tramos se ondulan en la parte superior de la UE. Predomina una arcilla depurada. Alternan niveles ocres, con otros anaranjados, blanquecinos o verdosos. No son continuos a lo largo de todo el perfil, y su espesor varía de menos de 1 cm a 5 cm. No contienen ni gravas ni cantos, pero la UE4 incluye algunas láminas con matriz fina más arenosa. La base de la unidad es bastante horizontal y su espesor disminuye hasta los 10 cm hacia el sur del sondeo. Como en el caso de la UE3, se establecieron tres tramos para la toma de muestras.

LA UE5 es un delgado nivel, de 1 a 2 cm de espesor, de matriz más arenosa, con gravillas y color más oscuro. Es un nivel continuo que separa UE4 de otro paquete similar (UE6) y que puede indicar un cambio en las condiciones del proceso de colmatación. La UE6 está formada por una serie de niveles

centimétricos y subcentimétricos, similar a UE4. Tiene una matriz arcillosa ocre, con láminas intercaladas discontinuas, anaranjadas, blanquecinas o grisáceas. Su potencia máxima es de 45 cm y disminuye hacia el norte hasta los 15 cm. Como en UE4, hay algunas láminas más arenosas.

En el fondo del depósito se ha identificado un nivel, UE7, de 8 a 10 cm de espesor en la parte central y que disminuye hacia los extremos. Es oscuro, con gravilla y matriz más arenosa (similar a UE5). Contiene pequeñas lascas de la roca del fondo descompuesta. Por último, se denomina UE8 la caja del depósito labrada en la roca, con escalones tallados al norte y al sur (figs. 200, 203 y 204) y el fondo del vaso nivelado. Al sur, el corte de la roca deja un escalón de 135-140 cm y sobre él se encuentra directamente el nivel superficial (UE1). En el norte del sondeo el escalón tallado en la roca genera un desnivel de 90-100 cm, con la roca cortada casi en vertical. La diferencia de cota hizo necesario completar con un talud artificial el borde norte (UE2). En parte, sobre todo en la zona septentrional, se observa que la caja se excavó también cortando el conglomerado, del que solo quedan pequeños retazos.

6.3.3. Depósito D23, Peña Aguda (Corporales, Truchas) (D23/PAG/2022)

La elección de esta estructura se debe a que tuvo un papel diferente a los anteriores en el funcionamiento de la red hidráulica, ya que se trata de un depósito de regulación, alimentado por los canales C26 y C27 y del que sale el C25 (fig. 205). En superficie, antes de la intervención, se podía diferenciar el área ocupada por el depósito por crecimiento diferencial de la vegetación; en fotografías aéreas de diversos años se aprecia como su visibilidad en superficie varía (fig. 206). Se efectuó en él un sondeo de 2 × 15 m, con una profundidad máxima de 2,20 m. La secuencia estratigráfica revela un proceso de sedimentación claramente distinto a los documentados en los otros casos, pero también evidentemente antrópico. La ejecución de un pequeño sondeo de contraste a solo unos metros permitió constatar con nitidez esta diferencia (fig. 207).

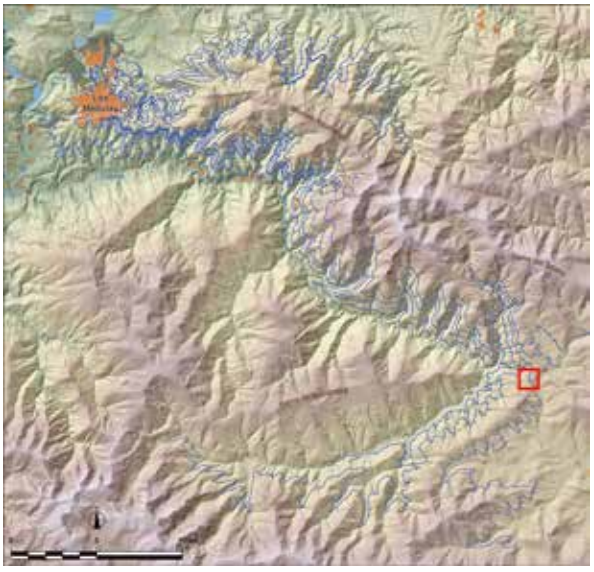


Figura 205. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del depósito de Peña Aguda (D23).

Todo indica que se aprovechó una parte más deprimida del terreno para embalsar el agua procedente de dos canales distintos (C26 y C27) hacia otro (C25), que se dirige al sector 3. Esta función no requería el mismo tipo de obra que la preparación de los vasos de los depósitos de explotación. Si bien el suelo se acondicionó, no se aprecian elementos artificiales de delimitación, aunque sí preparación del fondo, y las condiciones de formación de los niveles de colmatación resultan más variables. Se tomaron muestras de las unidades estratigráficas 3, 4, 5, 6 y 7, además de realizarse un muestreo para análisis micromorfológico, incluyendo el tramo inferior de UE5, UE6 y UE7, pero no se han detectado restos vegetales en los análisis antracológicos, por lo que carecemos de dataciones.

Se han identificado siete unidades estratigráficas (figs. 208, 209 y 210). Las UE1 y 2 responden a actuaciones contemporáneas, relacionadas con obras del cercano camino. La UE3 refleja varios episodios de colmatación recientes y engloba varios niveles que suman una potencia máxima de 60 cm. Las UE4, 5 y 6 responden al periodo de funcionamiento del depósito, desde las evidencias de sedimentación en medio acuoso a otras más heterogéneas y efectuadas con

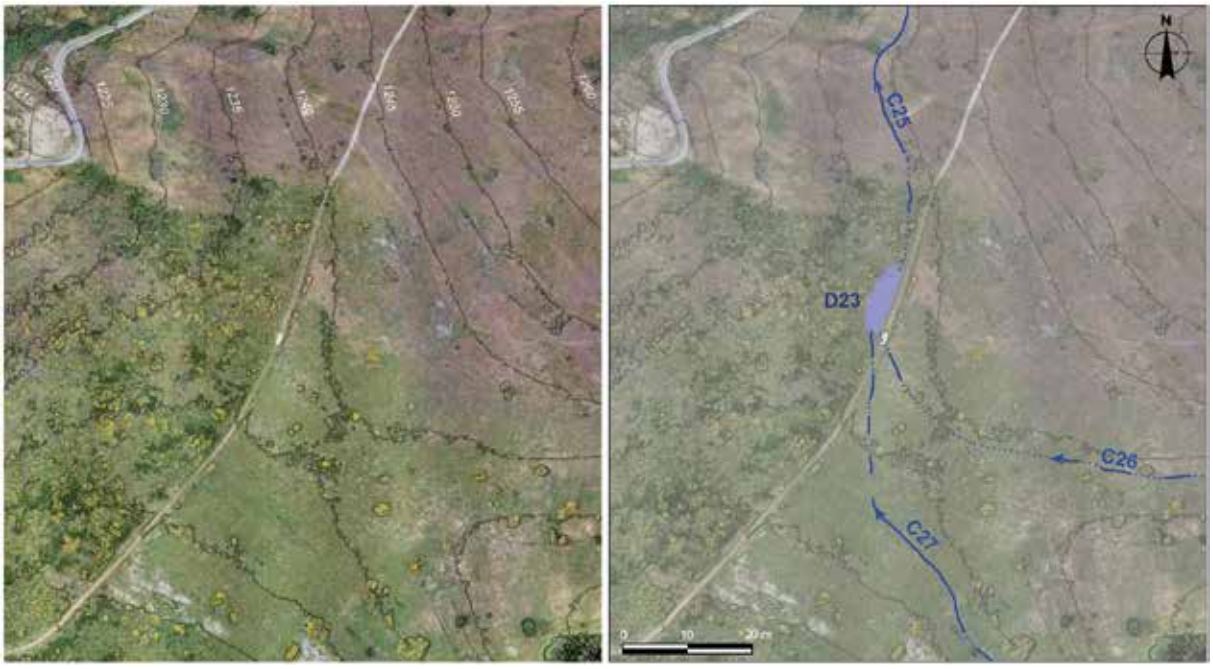


Figura 206. Ortofotograma (2022) e interpretación del entorno del depósito D23 en el Alto de Peña Aguda.

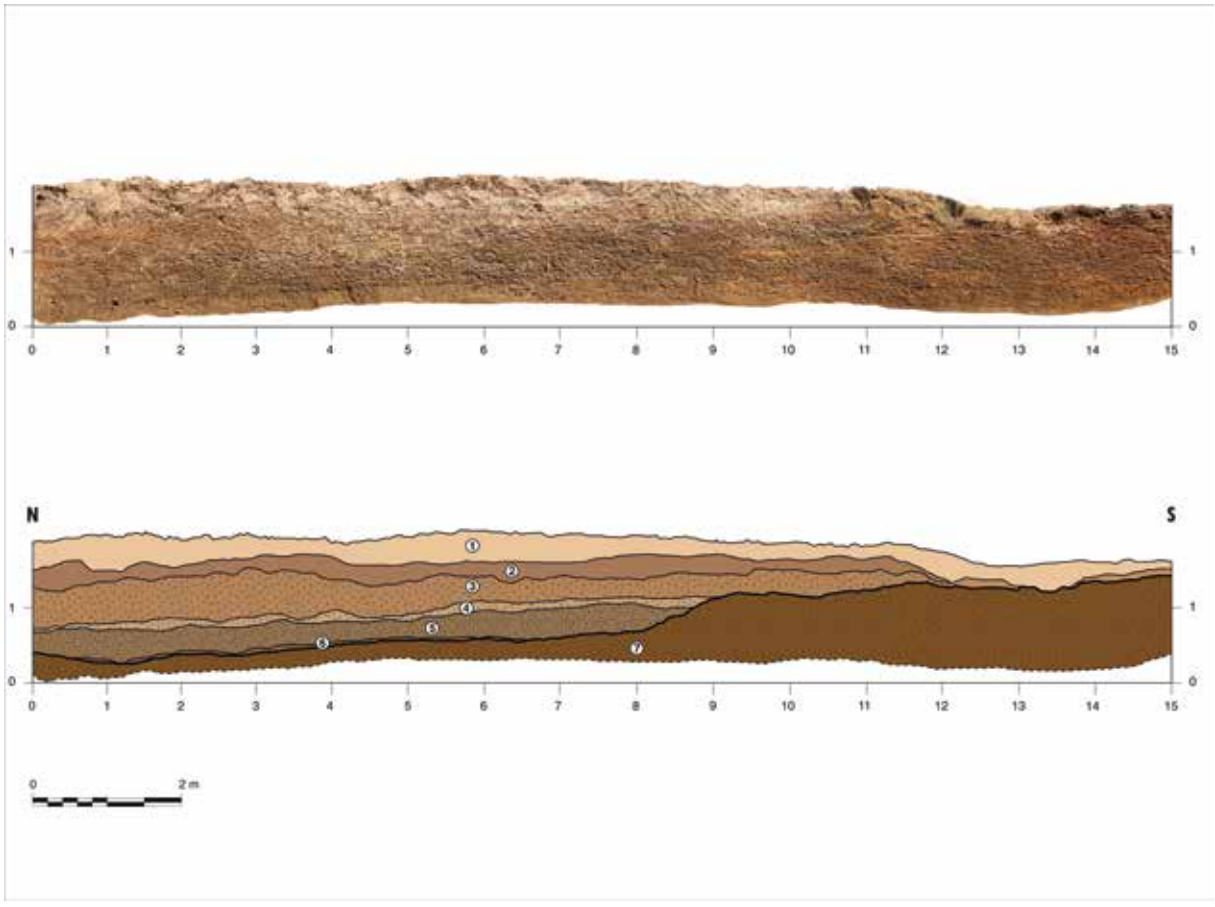


Figura 207. Depósito de Peña Aguda (D23). Vista general del sondeo efectuado en el depósito y del excavado en las proximidades (en la parte derecha de la imagen), que permitió comparar la sedimentación antrópica del depósito y los niveles geológicos de la zona.

distinta energía; la UE4 se interpreta como final del uso de D23. Las tres unidades conjuntamente tienen un espesor máximo de en torno a 70 cm. La UE7 es la roca nivelada como fondo del depósito.

La UE1 está formada por la acumulación de materiales extraídos en el curso de la apertura de la cuneta del camino adyacente. Su matriz es arena fina y suelta, ocre-amarillenta, con contenido orgánico removido. Incluye pequeños guijarros centimétricos y subcentimétricos. Es un nivel poco compacto, continuo, con una potencia de 15 a 40 cm y una base horizontal. La UE2 es el suelo que quedó enterrado bajo la UE1, es decir, el suelo vegetal activo cuando se acondicionó el camino. Es tierra ocre oscura muy compacta, con escasa grava y algunos cantos centimétricos dispersos. Hay abundante materia orgánica, sobre todo en la capa superior. Su potencia es de 15 a 20 cm.

Bajo estas dos unidades, que responden a actuaciones y suelos recientes, la UE3 refleja posiblemente la colmatación, en varios episodios, tras el cese de uso del depósito. Se trata de una unidad que hacia el centro del vaso (norte del sondeo) alcanza 60 cm de espesor. En el extremo sur (límite de depósito) es de 14-15 cm. Tiene matriz arcillosa de color ocre claro (posiblemente resultado de descomposición de las pizarras del entorno), con pequeñas lajas y gravas de pizarra (centimétricas y subcentimétricas). Engloba varios pequeños niveles, algunos con morfología de bolsadas, otros más laminares, en los que cambia el



Figuras 208 y 209. Sección documentada en D23, depósito de Peña Aguda.

color, la textura y la granulometría. Algunos poseen una coloración más rojiza, otros más grisácea y con mayor presencia de gravas y lajitas de pizarra y otros con arcillas ocre-amarillentas y sin gravas. Cambia la orientación de estas pequeñas capas, formando interdigitaciones con direcciones variables. La UE4 puede responder al final de su uso, con materiales arrastrados e importante acumulación de sedimentos depositados por el agua. Se trata de un nivel de aportes, con bastante gravilla y lajas de pizarra centimétricas, bastante abundantes en algunos tramos, en una matriz poco compacta. Tiene una potencia de 4 a 18 cm, disminuyendo hacia el centro del depósito donde llegaron menos arrastres.



Figura 210. Niveles de colmatación de D23, depósito de Peña Aguda.

Bajo la UE4, la UE5 es un paquete con abundantes nivelillos limosos sedimentados en medio acuoso, centimétricos, bastante horizontales y con composición variable: algunos solo contienen limos y otros incluyen grava menuda. Su coloración es ocre-

amarillenta, con intercalaciones de coloraciones parda, rojiza o grisácea. Responden a distintos episodios de sedimentación, con distinta energía. Su potencia es de 20 cm en la parte sur del sondeo y de 50 cm hacia el centro del mismo. La UE6 es el nivel de sedimentación de origen antrópico más antiguo. Comprende los materiales acumulados sobre la roca acondicionada para el fondo del depósito; se trata de una capa muy horizontal, de color pardo oscuro a negruzco, que contiene abundantes y pequeñas lajas y gravas de pizarra (de menos de 2 cm, la mayor parte subcentimétricas) y fragmentos de cuarzo. Su espesor es irregular y centimétrico (1 a 3 cm). La UE7 es la roca acondicionada para formar el vaso del depósito, que se ha nivelado. Este nivel geológico se organiza en capas horizontales y heterogéneas: desde roca descompuesta, sobre todo en la parte más superficial, a formaciones más compactas.

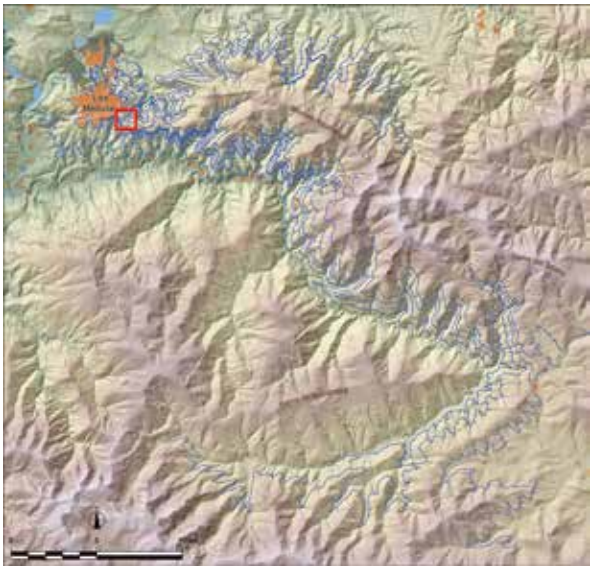


Figura 211. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas con ubicación del depósito de Campo de Braña (D28).

6.3.4. Depósito D28 de Campo de Braña (Puente de Domingo Flórez) (D28/DCB/2023)

En la zona conocida como Campo de Braña hay una estructura relacionada con la acumulación de agua para su distribución hacia los frentes de explotación de subsectores distintos del sector 3 (fig. 211). Está relacionada con las últimas fases de la explotación en Las Médulas. Hasta este depósito conducían el agua los canales C25 y C28 (sobre el que converge C32 a poca distancia de la mina) y de él salían los canales C29, hacia el oeste y C30, hacia el norte, en dirección a los sectores 3.9 y 3.11 y 3.10 y 3.11 respectivamente. Imágenes aéreas recientes muestran bien las zonas de entrada y salida de los canales (fig. 212). Se trata de un área fuertemente alterada, primero por su uso como braña (pastos de verano), recordado en el topónimo, y, más recientemente por sucesivas intervenciones para drenar el agua, que con frecuencia se acumula, y por la instalación de infraestructuras, como una zona recreativa. También aquí se aprovechó un terreno con cota más baja para acondicionar la estructura.

Como se ha propuesto en el capítulo anterior (5.2.4) es posible la existencia de dos balsas diferenciadas. La excavación se efectuó en la D28b.

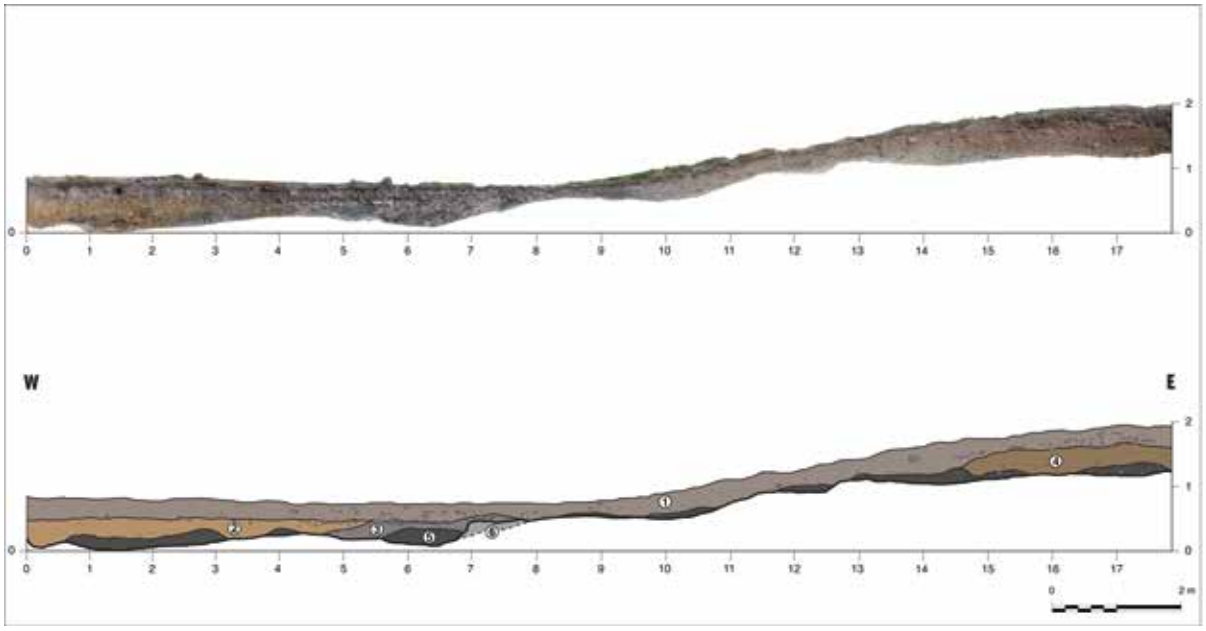
Se efectuó un sondeo con orientación aproximada noreste-suroeste de 19 m de longitud por 2,25 m de anchura, con el fin de documentar la sección del depósito. La excavación ha permitido identificar una serie de tres escalonamientos artificiales tallados en el esquisto, que constituyen el borde nordeste del depósito (fig. 215). En algunos puntos del perfil, en especial en el escalón inferior, se comprueba cómo se han tallado los resaltes artificialmente (UE6). El esquisto se encuentra muy exfoliado y solo en algunos puntos la roca aparece más redondeada, quizás por la erosión del agua.

Bajo el nivel superficial (UE1), de entre 20 y 40 cm, se encuentra el paquete de rellenos más potente, UE2, con un espesor de unos 60 cm, muy homogéneo y formado por limos. Su base está sobre el nivel discontinuo UE5, resultante de la alteración del esquisto del fondo. UE3 y UE4 responden a bolsadas que aparecen muy localizadas: UE3 relacionada con el escalonamiento inferior y UE4 en la parte más alta del escalonamiento (figs. 213, 214 y 216).

Cubre toda la secuencia un nivel superficial (UE1) de tierra grisácea, aireada, ligeramente más compacta en la parte inferior, que soporta vegetación herbácea. Contiene gravas y cantos de cuarcita de hasta 10 cm, desordenados. En algunos tramos, en el contacto con UE2, hay cuarcitas de hasta 25 cm, horizontales. Su potencia es de 20 a 40 cm. La UE2 es la



Figura 212. La zona del depósito de Campo de Braña en la que se realizó el sondeo en la que se aprecia el crecimiento diferencial de la vegetación relacionada con depósito y canales.



Figuras 213 y 214. Sección de D28 y unidades estratigráficas identificadas.

unidad más potente, de hasta 60 cm, formada por un paquete de limos compactos de color ocre, con algunas manchas grisáceas. Incluye piedras de 5 a 20 cm en el contacto con el nivel superficial (UE1), que es bastante horizontal. Hay algunas manchas rojizas, quizás por procesos de oxidación, pero no se observan episodios diferentes de aportes. No contiene gravas ni cantos. Su base es el contacto discontinuo con UE5.

La UE3 se localiza en relación con el resalte inferior, se trata de una bolsada con matriz limosa, heterogénea y con bastantes lajas de 10-20 cm y gravas. La UE4 solo se ha registrado en la parte más alta,



Figura 215. Escalonamientos en el esquisto en el interior del depósito de Campo de Braña (D28b).

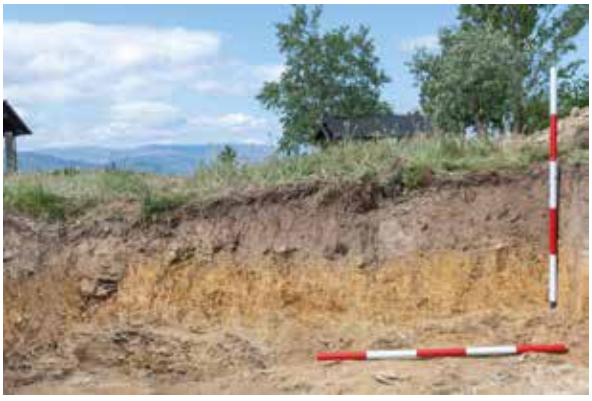


Figura 216. Niveles de colmatación del vaso del depósito de Campo de Braña (D28b). Bajo el nivel superficial se aprecia el paquete más importante de limos, la UE2.

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
D28/ DCB/2023/2	01_DCB _UE2_Sal	2	*Salix populus*	Negativa		
D28/ DCB/2023/4	02_DCB _UE2_Que	4	*Quercus caducifolius*	2530±30	781-749 a. C. (22%) 686-667 a. C. (12,3%) 638-587 a.C (28,9%) 582-570 a. C. (5.1%)	794-731 a. C. (30,3%) 699-662 a. C.(16.9%) 651-544 a. C. (48.2%)

Tabla 40. Dataciones ^{14}C obtenidas en el depósito D28, Campo de Braña.

en el tramo nordeste del perfil, en el escalonamiento superior; se trata de un nivel limoso, menos compacto que UE2, con algunas gravas y que en la parte inferior presenta un contacto discontinuo con UE5. Parece responder a una colmatación en condiciones secas. El contacto del UE1 no es nítido, salvo por el cambio de textura.

Sobre el esquisto, tanto en el tramo escalonado como en el fondo del vaso del depósito, hay un nivel discontinuo, formado por pequeñas lajas, muy fragmentadas, en una matriz gris arcillosa, resultante de la alteración del esquisto (UE5). El fondo del canal, nivelado y labrando la roca, es la UE6.

6.3.5. Depósito D39 de La Horta (Las Médulas, Carucedo y Orellán, Borrenes) (D39/LHO/2022)

La intervención en el depósito de explotación de La Horta (D39) ha permitido documentar un elemento esencial de la red hidráulica de las últimas fases de trabajo en el sector 3 de Las Médulas, ya que se relaciona con las operaciones finales de *ruina montium* llevadas allí a cabo (fig. 217). El depósito era alimentado por el canal C30c.

Con anterioridad se había estudiado parcialmente esta estructura, gracias a una topografía de detalle y a un pequeño sondeo (Sánchez-Palencia y Pérez García, 2000, 201-207) (ver apartado 5.1). En 2022 se efectuó un sondeo con orientación noroeste-sudeste de 2,55 m de anchura × 12,70 m de longitud, que alcanzó una profundidad máxima de 3,80 m, desde la coronación del borde del depósito hasta el fondo vaso (figs. 218 y 219). Se documentó el límite y la secuencia estratigráfica a ambos lados de la estructura de cierre. La elección de la zona de excavación se determinó teniendo en cuenta los resultados preliminares del estudio geofísico llevado a cabo por

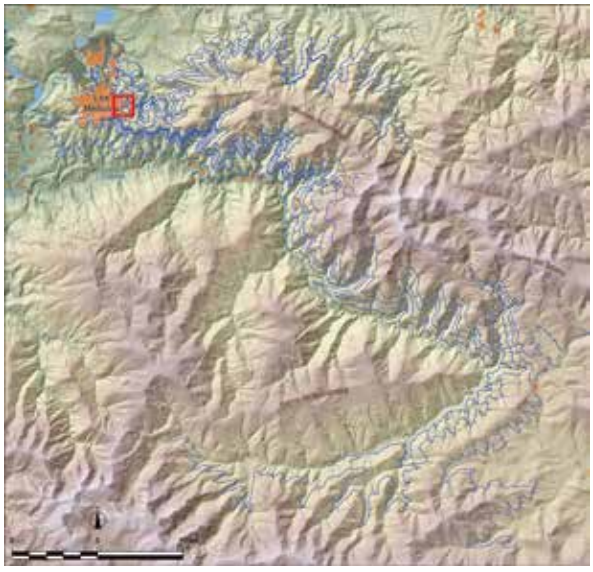


Figura 217. Plano general de la red hidráulica de Las Médulas, con ubicación del depósito de La Horta (D39).

Marcos A. Martínez Segura y Pedro Martínez Pagán (ver apartado 5.2.5).

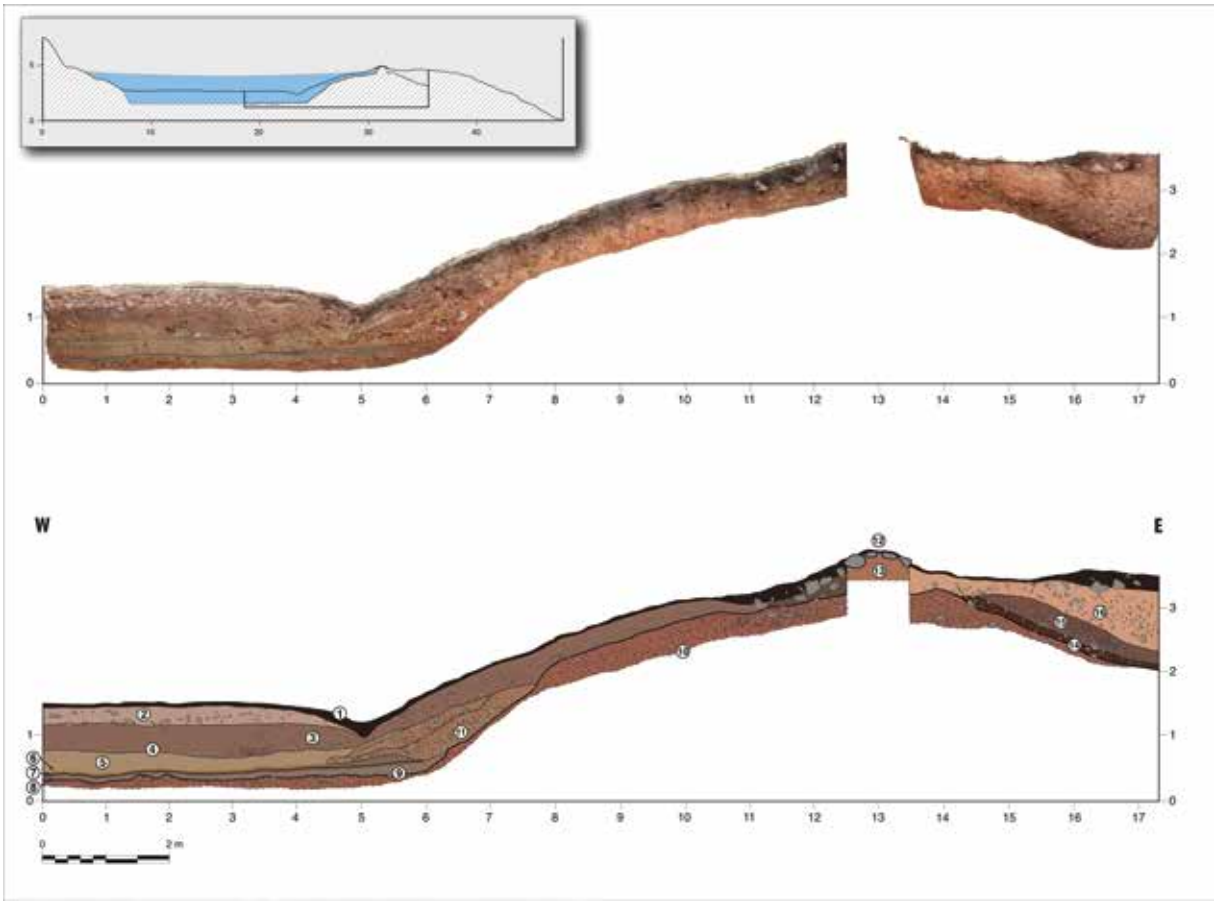
El sector oeste del sondeo corresponde al interior del depósito, desde el talud y muro que limitan la estructura por el este, hasta la parte central del vaso; el sector oriental se extiende al este del citado muro de cierre, es decir, al exterior del depósito. El perfil estratigráfico ha permitido determinar la existencia de 18 unidades, de las que nueve corresponden a los niveles de colmatación del vaso (figs. 220-222). Los niveles superficiales responden a actuaciones recientes en la zona (UE1, 2 y 3) y bajo ellos se localizan las capas formadas en el proceso de colmatación del vaso tras su abandono (UE4 y 5), que suman entre 20 y 53 cm de potencia. Las UE6 a 9 son niveles horizontales, previos al deslizamiento de materiales del talud (UE11), algunos de ellos posiblemente formados en un medio aún húmedo (UE8 y 9). La potencia conjunta de este grupo de unidades es de entre 11 y 20 cm. La base es la formación geológica acondicionada, es decir, el talud resultante de la excavación del vaso de La Horta (UE10). La UE11 corresponde a materiales deslizados del talud y la UE13 al muro que protegía el borde del depósito. Bajo este se ha conservado lo que puede ser un retazo de un suelo (UE12). Al este del muro, la composición y morfología de las unidades estratigráficas indican que se trata de bolsadas formadas por los materiales extraídos para rebajar el terreno creando el vaso del depósito y arrojados en su exterior (UE14 a 16).

La UE1 es el nivel superficial que soporta vegetación herbácea y leñosa en la parte este del corte y desaparece prácticamente hacia al oeste por la presencia de UE2 (acondicionamientos del camino con gravas). Se aprecia el perfil en forma de U formado





Figuras 218 y 219. Situación y vista general del sondeo realizado en el depósito D39 de La Horta.



Figuras 220 y 221. Sección documentada en la excavación del depósito de La Horta, D39.

por la cuneta, que corta algunos de los depósitos inferiores. Su espesor oscila entre 4 y 5 cm en la parte oeste, 21 cm en el fondo de la cuneta y hasta 32 cm en la zona este. Está compuesta por tierra oscura suelta, con muchas raíces y algunos cantos desprendidos del muro (25-30 cm). La UE2 es también un nivel superficial, generado por el acondicionamiento del camino que atraviesa el depósito; está compuesta por gravas y pequeños cantos mezclados, de morfología angular. La capa superficial es de grava fina en matriz arenosa, con espesor medio de 9 cm. Se apoya sobre un nivel de preparación, de matriz arcillosa, con gravas de granulometría variable, cuarzos y cantos más grandes (de 7 a 15 cm) y desordenados en la base. Su espesor es de 18 a 25 cm. La UE3 es un paquete de sedimentos de matriz arcillosa, de color pardo oscuro en el tramo superior y ocre verdoso en el inferior. Incluye pequeños clastos centimétricos y subcentimétricos y cantos escasos, dispersos y mezclados (rodados y de morfología angular). Está roto por la zanja de la cuneta y se aprecia en este punto por debajo del superficial. Hacia el este la matriz es más arenosa, con materiales que parecen haberse desplazado por el talud.

La UE4 es un nivel de matriz arcillosa, fina, de color rojizo (quizás por oxidación de materiales), con clastos en su mayoría subcentimétricos y de hasta 2 cm. Su espesor es desigual, con zonas en las que es de apenas 1 cm y otras con bolsadas que llegan a 17 cm. Hacia el oeste es más discontinuo y desaparece en el fondo de la cuneta del camino. La UE5 es un nivel bastante horizontal, de matriz limosa, homogénea, sin cantos ni gravas, de color pardo más oscuro en la parte superior de la unidad (en los 12 cm superficiales). Su

potencia va desde 36 cm (al este) a 19-23 en la parte central. Sus características sugieren una formación de este nivel en condiciones húmedas. Hacia la parte este del corte, esta capa se adelgaza hasta los 4 cm y desaparece, apoyándose sobre los restos de la erosión del talud. Se trata posiblemente de un nivel posterior al abandono del depósito. Se detectan algunos pequeños fragmentos de carbón y dentro de esta unidad se identifican nivelillos laminares grisáceos.

En el vaso del depósito, por debajo de la UE5, se identifican cuatro niveles (UE6 a 9) muy horizontales, superpuestos, que responden a la colmatación del vaso, antes de que se deslizasen materiales del talud, en condiciones húmedas o en medio acuoso (fig. 222). UE6 es un nivel delgado y continuo, de matriz limosa anaranjada, sin gravas ni cantos, de 1-2 cm de espesor. Hacia el este del sondeo se aprecia claramente que está por debajo de los materiales de erosión del talud. UE7 se localiza por debajo de UE6, con matriz similar (limosa, homogénea, fina, sin grava ni piedra) pero de color ocre verdoso (similar a UE5). Tiene entre 3 y 5 cm de potencia, es un nivel continuo, horizontal en su techo y en su base, pero con ondulaciones en los nivelillos que lo forman. Por debajo de los materiales de erosión del talud se confunde con UE6, compactada bajo ese paquete. La UE8 comparte algunas características con los dos niveles suprayacente: matriz limosa fina, sin gravas ni cantos, de escasa potencia (2-3 cm), horizontal con ondulaciones en su interior y continuo, pero UE8 es de color negruzco, indicativo, en principio, de una mayor concentración de materia orgánica. Efectivamente, se aprecian en él carboncillos. Hacia el este, este nivel aparece interdigitado con UE9. Dicha unidad, la UE9, se localiza sobre el conglomerado del fondo (UE10). Es un primer nivel de limos decantados, homogéneo, sin gravas ni piedra y de color ocre grisáceo. Es horizontal y con un espesor de 5 a 10 cm. La base es irregular porque se adapta a la morfología del fondo. En distintos tramos se aprecian en él nivelillos laminares de 1 a 2 cm, con un aspecto similar a los de UE8. También en la UE9 hay algunos carboncillos.

La UE10 es el nivel geológico, de conglomerados, con matriz roja arcillosa y compacta y cantos rodados de tamaño heterogéneo (desde gravas a cantos de 8-10 cm y algunos de hasta 20 cm) y disposición irregular. Coincide con las características de la Formación Las Médulas. El terreno se acondicionó, nivelando el fondo. Es la misma Formación que en el talud aparece directamente bajo el nivel superficial. La UE11 es una bolsada de materiales heterogéneos, que se han ido deslizando por el talud por erosión superficial. Tiene matriz arenosa y suelta, incluyendo gravas y cantos con distinta granulometría (4-10 cm); los cantos más grandes aparecen en la base del nivel. La matriz coincide con la de la Formación Las Médulas, pero removilizada. Al oeste, apoya en los niveles de sedimentación más antiguos y, al este, está directamente sobre el conglomerado. Dentro de esta unidad, en la parte inferior, se distingue una bolsada de matriz arcillosa más fina y homogénea, con menor

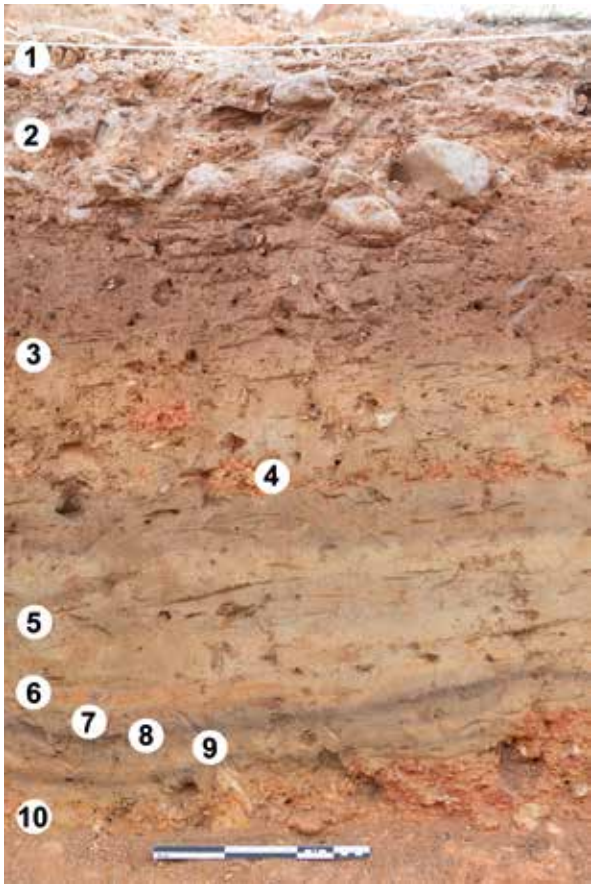


Figura 222. Detalle de los niveles de colmatación del depósito D39 de La Horta.

proporción de cantos y grava y color anaranjado más claro. En la parte superior se aprecia otra bolsada más oscura, con matriz más fina.

La UE12 se documenta en el tramo este del corte, en el perfil inmediatamente bajo el muro (UE13) (fig. 223) y sobre el conglomerado (UE10). Es una unidad con matriz limosa, compacta, de color ocre oscuro, con abundantes raíces y gravas dispersas en proporción baja. La base del nivel es horizontal y está directamente sobre el conglomerado. Su espesor es de 15 a 40 cm. Bajo el muro, en la cara este, en este nivel se diferencian claramente dos capas; su composición y textura son similares, pero la superior tiene una coloración más rojiza y la inferior parda. El límite entre ambas es horizontal y su espesor total es de 40 cm (ambas tienen una potencia similar, de 20 cm de media). UE13 es el murete identificado como cierre sur del depósito. Esta estructura tenía como finalidad proteger de la erosión el talud. Conserva un ancho de 0,90 a 1,18 m y está formado por grandes cantos de hasta 50 cm, junto a otros menores, de unos 20 cm, colocados a hueso y directamente sobre UE12. Se conserva *in situ* una hilada y, de acuerdo con las piedras desplazadas originalmente debió de tener otra encima. No son hiladas homogéneas y ni se seleccionaron ni carearon las piedras.



Figura 223. Detalle de la estructura de cierre del depósito de La Horta por el este (UE13).

Al este de esta estructura se aprecian varios paquetes que corresponden a niveles o bolsadas de materiales procedentes del vaciado del vaso y acondicionamiento del terreno (echadizos). Solo se conserva aquí la UE12 en la esquina norte del perfil. La potencia del superficial (UE1) es variable y bajo él y sobre el conglomerado (UE10) se han detectado tres unidades estratigráficas, que responden a esa acumulación de materiales mezclados. La UE14 forma un nivel continuo de composición heterogénea, con tierra suelta negruzca en algunos puntos, gravas y cantos desordenados de hasta 10 cm. Está directamente

Referencia	Código	UE	Muestra	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
D39/LHO/ 2022/4	06_LHO _UE4_Fra	4	*Fraxinus* sp	Negativa		
D39/LHO/ 2022/5	04_LHO _UE5_Eri	5	*Erica* sp	1890±30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)
D39/LHO/ 2022/6	07_LHO _UE6_Eri	6	*Erica* sp	2040±30	91-79 a. C. (7,7%) 54 a. C.-16 d. C. (60,5%)	151-131 a. C. (3%) 121 a. C.-62 d. C. (92,5%)
D39/LHO/ 2022/7	05_LHO _UE7_Eri	7	*Erica* sp	1890±30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)
D39/LHO/ 2022/8	03_LHO _UE8_Sal	8	*Salix*	1840±30	133-140 d. C. (4,6%) 160-190 d. C. (20,1%) 201-242 d. C. (43,5%)	124-250 d. C. (91,8%) 295-311 d. C. (3,6%)
D39/LHO/ 2022/9	02_LHO _UE9_Eri	9	*Erica* sp	1990±30	37-14 a. C. (17,5%) 4-64 d. C. (50,8%)	46 a. C.-85 d. C. (88,2%) 95-117 d. C. (7,3%)
D39/LHO/ 2022/12S	01_LHO _UE12S_Arb	12 sup	*Arbutus Unedo*	310±30	1520-1586 d. C. (54,2%) 1623-1641 d. C. (14,1%)	1490-1649 d. C. (95,4%)

Tabla 41. Dataciones ^{14}C obtenidas en el depósito de La Horta (D39).

sobre el conglomerado y buza siguiendo la pendiente del terreno. Puede corresponder a las primeras operaciones de construcción del depósito, con retazos del suelo de ese momento. Su espesor es variable. La UE15 es una segunda capa de echadizos, encima de UE14. También es un nivel continuo, de matriz arcillosa poco compacta con algunas gravas; predomina la tonalidad anaranjada, propia de la matriz de la formación Las Médulas. En su base hay algunas piedras de mayor tamaño. Sigue, como UE14, la pendiente del terreno. La UE16 es un gran paquete que incluye cuatro bolsadas diferentes. A diferencia de los anteriores, no responde a la pendiente del terreno, sino que nivela. La matriz es arcillosa, con escasas gravas y pequeños cantos (en mucha menor proporción que UE15). Algunos cantos de mayor tamaño marcan su límite con el nivel superficial UE1. Las bolsadas identificadas como A y D tiene una matriz más compacta y amarillenta, la B es anaranjada oscura y la C anaranjada clara.

Muy posiblemente las UE12 y 16 están relacionadas con remociones más recientes del terreno, que incluso pudieron afectar a UE13.

6.4. CANALES Y DEPÓSITOS: ASPECTOS ESTRATIGRÁFICOS, FUNCIONALES Y CRONOLÓGICOS

Las intervenciones detalladas en los apartados anteriores, consideradas conjuntamente, proporcionan novedosos y valiosos datos, tanto sobre aspectos tecnológicos y sobre la cronología y el avance de los trabajos mineros, como sobre la evolución del entorno, durante y después de la explotación del oro por Roma. A su vez se pueden poner en relación con los documentados en turberas u otros depósitos naturales.

Cada uno de los sondeos y limpiezas efectuados aportan información sobre una parte concreta de una determinada estructura, pero solo considerándolos en conjunto es posible avanzar en el conocimiento de estos elementos como parte de un sistema, en el que jugaron un papel específico y en una fase determinada.

6.4.1. Estratigrafía y aspectos funcionales en canales y depósitos

En términos generales, los sondeos efectuados han permitido documentar el proceso de uso, abandono y colmatación de canales y depósitos. Lógicamente, mientras por los canales fluía agua era difícil que tuviese lugar un depósito significativo de sedimentos, que serían arrastrados o retirados en labores de mantenimiento.

Sin embargo, en el momento en que cesó el uso de las conducciones para fines mineros, se empezó a producir un proceso de sedimentación que llevó, en la mayor parte de los casos documentados, a la colmatación progresiva de la caja del canal o del vaso del depósito.

En este proceso actuaron distintos factores. Los canales, pudieron seguir encauzando agua de lluvia o escorrentías de ladera y, de hecho, tanto las características de las unidades estratigráficas, como las evidencias paleoambientales, determinadas gracias a los análisis polínicos (ver capítulo 10), indican que los niveles inferiores se crearon en condiciones húmedas, e incluso en medios acuosos. Estas capas son limosas y de escasa potencia y, además, se ha constatado la abundancia de formaciones de helechos. La aparición de este tipo de vegetación debió de contribuir a consolidar estos suelos, al mismo tiempo que impedía el paso del agua. Por encima, los paquetes de rellenos posteriores reflejan acumulación en ambiente seco y con frecuencia son más heterogéneos, incluyendo materiales desprendidos de la caja del canal o deslizados por las laderas. Los diez casos analizados ilustran dos tipos de canales, los *corrugi,* que conducían el agua desde las captaciones o desde depósitos intermedios, y los *emissaria,* que llevaban el agua directamente a los frentes de explotación desde los depósitos.

Los ocho *corrugi* sondeados representan bien la variabilidad de soluciones adoptadas para hacer discurrir el agua por diferentes terrenos y con una pequeña y controlada pendiente (figs. 224-229). Lo más frecuente es la excavación de la caja del canal en afloramientos rocosos (normalmente de esquisto y pizarra, las formaciones más abundantes en la zona);



Figura 224. Caja del canal C30c, excavada en el afloramiento de esquisto (limpieza de 1994).

los laterales conservan huellas de la labra de la roca, que se diferencian bien cuando se producen en dirección contraria a la exfoliación. Cuando el afloramiento faltaba, se recurría a la construcción de tramos de muretes, en seco o trabados con arcilla (C1, CDC, C18 con un recubrimiento de arcilla consistente). Los escalonamientos en el borde de canales (C30c, C32) pueden responder a la colocación de lajas de piedra o piezas de otros materiales, como madera (mencionada por Plinio), para cerrar la caja. La inestabilidad de las pronunciadas laderas obligó a construir estructuras de contención (C18). En algunos casos, realmente muy pocos, el agua se tuvo que hacer pasar por pequeños túneles.

La anchura de las cajas es variable (tabla 42), tanto entre los diferentes canales, como en distintos tramos de la misma conducción, mostrando que se adaptaba a las condiciones del terreno. No hay que





Figuras 225 y 226. Caja de un tramo el canal C18 en el que se levantaron muros a ambos lados y escalonamiento en el canal C32.

Canal		Anchura documentada (m)	Altura erosionada por el agua (cm)
C1	Castroquilame y Pombriego	1,30	–
C5	Orellán (Borrenes)	1,10	8-10
C18	Llamas de Cabrera	1,50-1,60	7-10
C25	Peña Aguda	1,15	8-10
C26	Canal bajo de Corporales	1.70	8-10
C29	Campo de Braña	1,13-1,27	–
C30c	Pena Escribida	1,50-1,80	8-10
C32	Canal alto de Corporales	0,80-0,95	10

Tabla 42. Anchuras y altura erosionada por el agua documentadas en los canales sondeados.



Figura 227. Estructuras de la contención en la ladera en C18.

olvidar, en cualquier caso, el recurso a otras soluciones y materiales; Plinio menciona los tramos aéreos y el uso de maderos acanalados.

Las excavaciones han permitido ratificar que por los canales circulaba una lámina delgada de agua. Esto ya se había visto con anterioridad, en la primera intervención realizada en el canal C30c de Pena Escribida (Sánchez-Palencia y Pérez García 2000, 200), pero ahora se ha podido documentar en otros tramos (tabla 42). Los cálculos efectuados han mostrado que este caudal es suficiente para llenar los



Figura 228. Interior desde la entrada del túnel del canal C18 excavado poco antes de alcanzar el arroyo de Valdecorrales.



Figura 229. El canal C24 reutilizado para el paso de carros.

depósitos en un espacio de tiempo razonable y adecuado para el avance de la explotación (apartado 5.3) y, lógicamente, facilitaba la obra y el mantenimiento de los canales, que no requerían grandes alzados para evitar el desbordamiento. Los depósitos de regulación permitían controlar el flujo y los valgones salvar pendientes mayores.

Los dos *emissaria* estudiados responden a un similar modelo, aunque los restos conservados presentan notables diferencias. En ambos casos los emisarios recorren franjas de terreno situadas a una cota elevada respecto a las labores, de manera que una vez abiertas las compuertas u *opturamenta,* el agua pu-

diese ser arrojada sobre ellas para arrastrar el conglomerado aurífero.

En el caso del emisario sobre surcos convergentes de La Frisga, se preparó una caja empleando para ellos cantos rodados extraídos *in situ,* del propio conglomerado. Así, tanto el fondo (de unos 2 m de anchura), como los dos laterales (cuya altura supera en algunos puntos los 60 cm), quedaron forrados con la piedra (figs. 180 y 181).

En el emisario de Tiseiro Largo, sin embargo, no se conservan los elementos que configurarían la caja del canal: ni unos cierres laterales claros ni un suelo acondicionado. Sí es claro su recorrido y la existencia de hiladas de piedra (hasta 8, lo que supone 1,30 m de altura), indicando que se delimitó un pasillo, sobre el que quizás se instaló una estructura de otros materiales, como tablas o troncos acanalados (figs. 183-185).

Los depósitos proporcionan otro tipo de registro. En ellos, la creación de cubetas artificiales ha facilitado la acumulación de niveles de sedimentos formados en medios húmedos, que dan lugar a series de capas centimétricas o incluso subcentimétricas, laminares, en las que cambios en coloración y granulometría son indicativos de la modificación del grado de humedad (desde medios acuosos a suelos secos) y de depósitos efectuados con diversa energía. Estos niveles responden a las primeras etapas de colmatación, a las que siguen otras en general caracterizadas por la formación de estratos más potentes y ya sin evidencias de humedad acumulada. Las funciones de los depósitos se relacionan claramente con distintos esquemas estratigráficos. Al que se acaba de describir se ajustan bien los depósitos de explotación (D19, D22, D39).

Como en el caso de los canales, las *piscinae* son muy variadas en formas, tamaños, profundidades y maneras de acondicionar el terreno. Como norma general, se elegían ubicaciones adecuadas a sus funciones: en el caso de los de explotación, sobre las zonas que se iban a minar; en el caso de los de regulación y redistribución (D23 y D28) se optaba por depresiones en el terreno más fácilmente acondicionables y los vasos no tienen una delimitación artificial tan clara.



Figura 230. Depósito de La Poza dos Lamocos (Ibias, Asturias) que abasteció las labores mineras del Monte Trigal.

En el caso de los depósitos de explotación, los vasos se excavaron en el conglomerado o en el zócalo, quedando sus límites en forma de taludes o de afloramientos labrados. La parte alta de sus bordes era reforzada con muretes o encachados cuando era necesario. El fondo quedaba nivelado, pero con irregularidades. En términos generales, se han constado profundidades de entre 2 y 4 m.

Trabajos previos realizados en depósitos de otras zonas mineras muestran la variedad de soluciones adaptadas a diversas circunstancias, como la creación de taludes artificiales mediante acumulación de materiales extraídos del fondo, el aprovechamiento de afloramientos rocosos (fig. 231) o la construcción de muros que actuaban como pantallas para la contención del agua acumulada (fig. 230) (Orejas *et al.* 2024).

Los procesos erosivos actuaron pronto sobre las estructuras en desuso, de manera que se detectan tanto evidencias del deterioro de las cajas de los canales y de los taludes que delimitaron los vasos de los depósitos, como de erosión y arrastre de materiales, importante en muchos casos al ubicarse muchas de estas estructuras en pronunciadas laderas. Estos deslizamientos de materiales explican algunas fechas discordantes, como más delante se comenta.

Hay que recordar, además, que, de acuerdo con los análisis polínicos, la zona había sufrido un im-



Figura 231. Depósito de La Sala el Campo la Veiga (Belmonte de Miranda, Asturias).

portante proceso de deforestación parcial, que pudo acelerar la erosión y el deterioro en los primeros momentos.

Las unidades estratigráficas más recientes del proceso de colmatación y los niveles superficiales (los suelos actuales) proporcionan otro tipo de información, sobre todo relacionada con los cambios en el entorno tras el cese de la minería y poseen un alto valor para la protección de canales y depósitos (ver capítulo 10).

Sin duda, la posterior recuperación de la vegetación contribuyó a la preservación de la red, al cubrir estas estructuras. En general, los procesos postdeposicionales que afectan a la zona responden, básicamente, a las erosiones y sedimentaciones a las que se ha hecho referencia y a una *renaturalización* tras el abandono de la red hidráulica, que incluye una densificación de la vegetación, con formaciones como los brezales. Estas estructuras se localizan mayoritariamente en áreas de débil actividad humana posterior al cese de la minería, limitada a la explotación del monte, sotos de castaños o al empleo de algunos trazados de canales como caminos o para paso de ganado *(carriles)* (fig. 229). Ocasionalmente se han extraído arenas decantadas de los niveles de colmatación (como en C26). Solo en momentos bastante recientes han sufrido afecciones más severas en algunos puntos.

6.4.2. Cronologías absolutas y cronologías relativas

Un segundo tema relevante, derivado de esta investigación, es la obtención, por primera vez en Las Médulas, de dataciones directas de estructuras relacionados con la minería. En términos generales, confirman el intervalo global establecido a partir de las cronologías de sitios ocupados en las zonas mineras, tanto en Las Médulas como en otros sectores del noroeste peninsular: entre el siglo I y principios del III d. C.

Hasta este momento, se disponía de una cronología relativa de los sectores de la explotación y del orden secuencial de la construcción y uso de los canales y depósitos, aspectos que han podido ser ahora afinados. Pero la datación del proceso únicamente se había realizado por métodos indirectos: fechas de los poblados del entorno (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 165-168; Orejas y Sastre 2000) o referencias genéricas en fuentes escritas, sobre todo el texto de Plinio. En el contexto de este estudio de la red hidráulica, se ha realizado una batería de 37 dataciones ^{14}C por AMS en el laboratorio Beta Analytic (si bien 7 han resultado negativas), obtenidas a partir de restos antracológicos que han sido recuperados mediante flotación de muestras (tablas 44 y 45 y figs. 235 y 236). De las 30 dataciones válidas, 15 corresponden a canales y 15 a depósitos. Son cifras que permiten extraer algunas conclusiones de conjunto para Las Médulas. Además, se suman a las ya cerca de 70 dataciones de otras estructuras mineras en todo el noroeste peninsular, lo que permite obtener una imagen a escala regional (Orejas *et al.* 2024).

No obstante, es importante la precaución a la hora de analizar estos datos, en primer lugar, porque la formación de los estratos en canales y depósitos no responde a un proceso de sedimentación arqueológica típica de un área de hábitat o de trabajo, sino que reflejan fases de abandono y sedimentación *natural*, en la medida en que la acción del hombre deja de ser directa. En segundo lugar, porque la determinación de qué fase del proceso se está datando solo puede establecerse mediante la lectura estratigráfica. Es decir, es inútil vaciar un canal o un depósito y tomar

una muestra del fondo.[3] La metodología de excavación e interpretación arqueológica es fundamental para poder comprender el proceso de colmatación y contextualizar las dataciones, de la misma forma que es esencial el tratamiento de las muestras en laboratorio, su identificación y selección.

Como se ha señalado, en los canales se documentan tres grandes fases, que pueden contar con varios episodios. La primera es la de construcción, en la cual se prepara la caja. Es difícil datar esta fase, ya que las estructuras de refuerzo carecen de zanjas de cimentación y acumulan alteraciones posteriores. En el mejor de los casos se podría obtener una datación de paleosuelos conservados bajo ellas mientras que el uso de otras técnicas de datación, como OSL (Sanjurjo-Sánchez *et al.* 2025), no aportan el grado de precisión necesario en este caso.

La segunda fase corresponde al uso de los canales para la explotación minera. La evidencia más clara es el desgaste que sufrieron sus fondos por la circulación del agua. Los limos pudieron quedar atrapados en el fondo en esta fase, pero es imposible establecer si procedan del momento de uso o son ya depósitos de un momento de abandono. Además, en los canales tuvieron que realizarse algunas labores de mantenimiento para garantizar su funcionamiento.

La tercera fase refleja el cese de uso y la colmatación progresiva de los canales. A ella corresponden la mayoría de los niveles documentados, que, por lo general, forman dos grandes paquetes: el inferior, con estratos formados en medios húmedos, con sedimentos limosos, y el superior, ya en condiciones secas, con niveles formados por aportes de ladera y restos de la propia erosión del canal. Finalmente, todos estos estratos han quedado cubiertos por el suelo actual y la vegetación que se han considerado como unidades superficiales. Como norma general, se debe asumir que las dataciones obtenidas responden a la tercera fase, al abandono y sucesiva colmatación. En todo caso, se han seleccionado muestras de las capas inferiores, los primeros rellenos que cubren el fondo del canal.

En el caso de los depósitos las secuencias son más complejas y presentan una mayor variabilidad. La fase de acondicionamiento del vaso del depósito puede implicar obras más potentes, con mayores evidencias, en especial cuando se conservan suelos enterrados bajo muros o los taludes artificiales de delimitación.

La datación de la fase de uso se puede realizar muestreando los niveles inferiores, formados por los limos que se fueron sedimentando con el depósito aún activo. Estos depósitos limosos más profundos, formados en medio acuoso, pueden responder a un periodo de duración difícil de precisar y pudieron sufrir alteraciones por la entrada y salida del agua, y eventuales labores de limpieza, reparación y mantenimiento del vaso. En algunos casos es posible, además, detectar periodos de uso con fases de inactividad intermedias, como en D19 o en La Poza dos Lamocos en Ibias, Asturias (Orejas *et al.* 2024).

Como ocurre en el caso de los canales, la mayor potencia corresponde al proceso de colmatación, ya que, tras su abandono, muchos depósitos continuaron captando y acumulando agua, lo que favoreció la creación de estratos limosos potentes. En algunos casos, toda la secuencia refleja condiciones de humedad, visible incluso en la vegetación actual (helechos). En otros casos, sobre ellos se formaron niveles en ambiente seco. En muchas ocasiones, las superficies de los antiguos depósitos han tenido usos posteriores, sobre todo pastos para el ganado o cultivos, que han implica otros aportes de sedimentos o acciones erosivas. Las dataciones obtenidas en depósitos proceden de esas posibles fases de uso y sobre todo de las de abandono y colmatación.

Uno de los principales problemas de la datación de maderas es el denominado *efecto de madera vieja*, esto es, el uso de maderas de vida larga puede desvirtuar el resultado, ya que, salvo que se disponga de un carbón suficientemente grande que permita saber si se trata de la parte interna o externa del árbol, o

3 Realmente esto es aplicable a cualquier intervención arqueológica. En un estudio sobre dataciones radiocarbónicas de la Edad del Hierro del noroeste se detectaron 12 muestras de 457 que corresponden «a carbones antiguos procedentes de niveles de incendio anteriores a la ocupación o a paleosuelos en la base de las secuencias sin materiales arqueológicos asociados» (Jordá *et al.* 2020, 47).

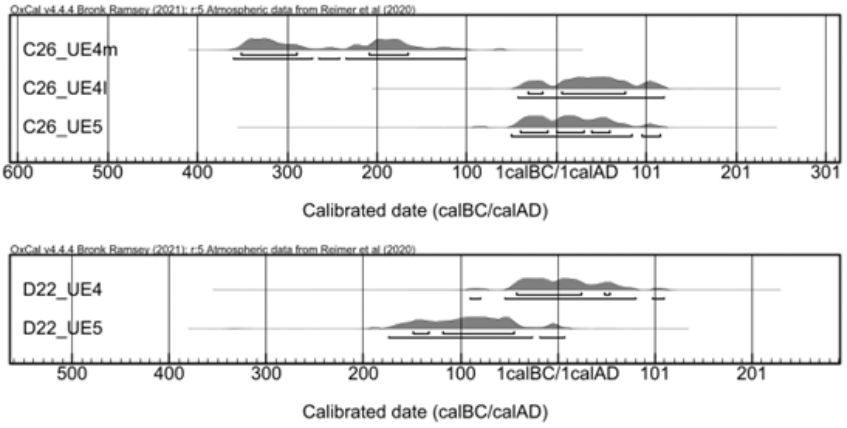


Figura 232. Secuencia de dataciones ^{14}C de C26 y D22, UE5, con muestras identificadas como *Pinus nigra*.

establecer la serie dendrocronológica, en general reflejan momentos indeterminados de la vida del árbol. Es decir, si se trata de especies que pueden llegar a vivir varios siglos, puede implicar un notable *envejecimiento* del nivel datado falseando la cronología (Shiffer 1986; Rubinos 2009, 340; Balsera 2017, 51 y ss.). En algunos casos falta información sobre las especies datadas (Jordá *et al.* 2020), lo que provoca que una parte de las fechas ^{14}C ofrezcan una incertidumbre importante.[4] Además, es necesario tener presente que se extrapola la fecha obtenida al conjunto del estrato del que fue obtenida la muestra, cuando en realidad los estratos arqueológicos rara vez son resultado de eventos y responden, casi siempre, a procesos de duración muy variable. La aplicación de análisis estadísticos contribuye, en parte, a corregir algunos de estos problemas.

En este estudio, todas las muestras han sido identificadas previamente (ver capítulo 10) y se han priorizado, siempre que ha sido posible, restos de plantas de vida corta o ramas jóvenes (brezos, leguminosas, rosáceas); tan solo en algunos casos ha sido necesario recurrir a especies arbóreas como el pino o el roble. Precisamente estas muestras han presentado resultados anómalos, en relación con el resto: dos muestras de *Pinus nigra* procedentes de la UE4m del canal C26 y de la UE5 del depósito D22, una de *Quercus* caducifolio de D28 y finalmente una de *Taxus baccata* del canal C18. Esto es, de las 30 fechas positivas tan solo cuatro son discordantes y son siempre especies de vida larga.

Las muestras de pino salgareño son las que han proporcionado fechas más antiguas, que llevarían el depósito D22 a los siglos II-I a. C. y el canal C26 al intervalo IV-II a. C. (fig. 232). Es evidente que esto refleja la fecha de las maderas, no de la formación de las correspondientes unidades estratigráficas. El hecho de que formen parte de una batería de dataciones secuenciadas, con especies de vida corta, permite detectar el error, algo que no suele ocurrir cuando se realizan dataciones aisladas y no hay otros elementos de contraste. El ejemplo del canal C26 es aún más significativo: hay otras dos dataciones de niveles inferiores entre el 50 a. C. y el 120 d. C., mientras que el carbón de pino lleva al periodo IV-II a. C.

Claramente las muestras de *Pinus nigra* permiten datar un momento de la vida del árbol (VI-II a. C.), diferente al momento en el que el nivel arqueológico se formó en los siglos I-II d. C. En el caso del depósito D22, no ha sido posible datar los niveles inferiores, pero dado el contexto general, se puede deducir que la muestra de pino está *envejeciendo* la unidad estratigráfica.

Los otros casos de dataciones que se pueden considerar anómalos corresponden al depósito de

4 Según los datos de Jordá *et al.* 2000, que recogen 457 dataciones, se sabe que, según las publicaciones, 295 muestras son carbones, 42 madera, 34 semillas, 26 huesos, 10 conchas y una de sedimento orgánico. Esto deja 49 dataciones sin información alguna. Solo hay seis dataciones en las que se ha identificado la especie.

Campo de Braña (D28), en el que la fecha de un carbón de roble lleva al siglo VIII a. C., y otro de tejo, cuya fecha se retrasa hasta finales del III milenio a. C. En estos casos, además de la longevidad de las especies, hay que tener presente la naturaleza de los niveles de los que se recuperaron. Al ser estratos que se formaron por procesos de erosión, escorrentía y deposición, a los materiales transportados se pudieron fácilmente incorporar restos de maderas antiguas. Esto ya se ha observado en otros depósitos excavados por nuestro equipo (Orejas *et al*. 2024).

De todo ello se deriva, por un lado, la conveniencia de realizar secuencias que permitan detectar las discordancias, por otro, la importancia de seleccionar restos botánicos de plantas de vida corta, de manera que se limiten los márgenes de error (y, en todos los casos, identificar las especies que se daten), y, en tercer lugar, y no menos importante, coordinar los resultados con la información contextual y estratigráfica.

Sobre la secuenciación, se debe señalar que, en los canales, por la naturaleza de sus depósitos y la potencia de los mismos, no ha sido fácil obtener un número suficiente de muestras datables. Normalmente, se han seleccionado una o dos por canal y tan solo en un caso se han podido recuperar más de tres muestras. Por otro lado, los niveles vinculados a las fases de colmatación en ambiente seco, más recientes, han proporcionado menor cantidad de materia orgánica y en la actualidad tan solo disponemos de una datación de niveles de estas características en el canal C5 (tabla 43).

Canal	^{14}C
Canal 1	2
Canal 5	2
Canal 18	2
Canal 25	2
Canal 26	3
Canal 29	2
Canal 30c	1
Canal 32	1
CDC	1

Tabla 43. Número de muestras datadas en cada canal. Se contabilizan también las muestras con resultados negativos.

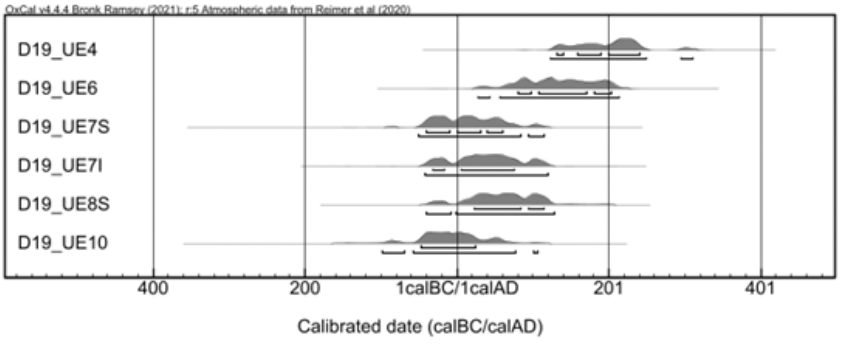


Figura 233. Secuencia de dataciones ^{14}C de D19.

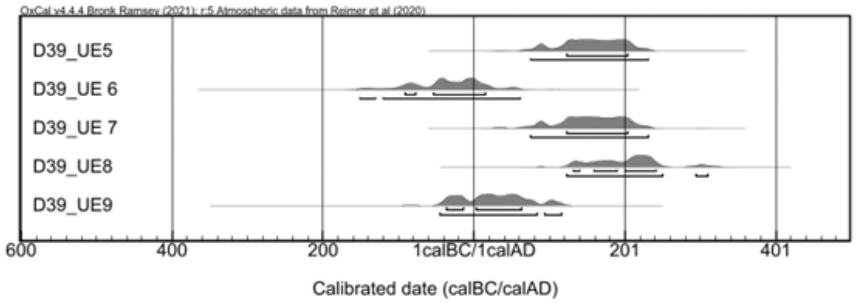


Figura 234. Secuencia de dataciones ^{14}C de D39.

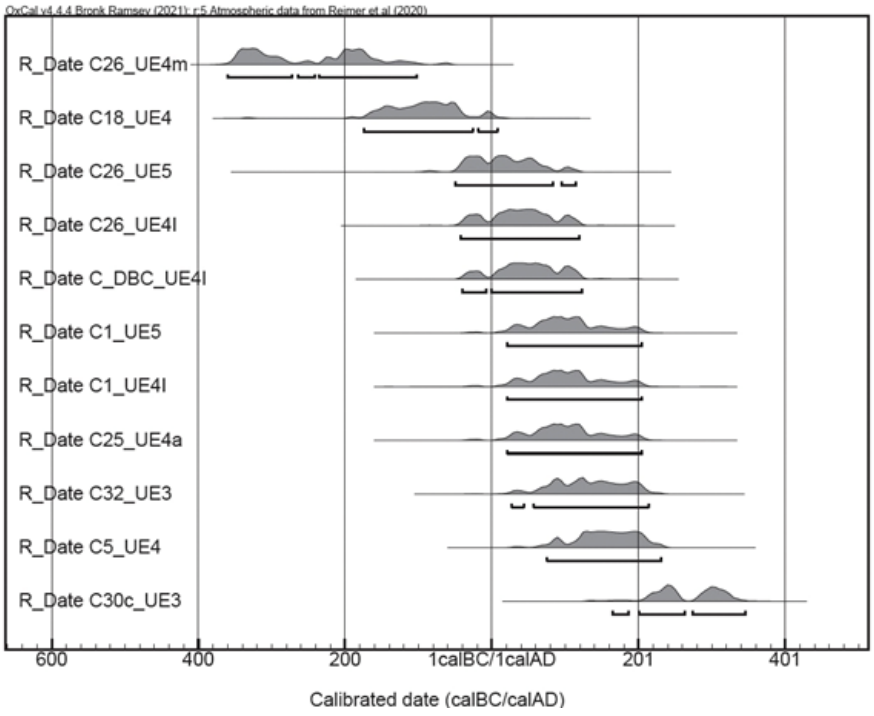


Figura 235. Diagrama con las dataciones ^{14}C obtenidas en canales de la red hidráulica de Las Médulas (excluida la de la UE5 del canal C18).

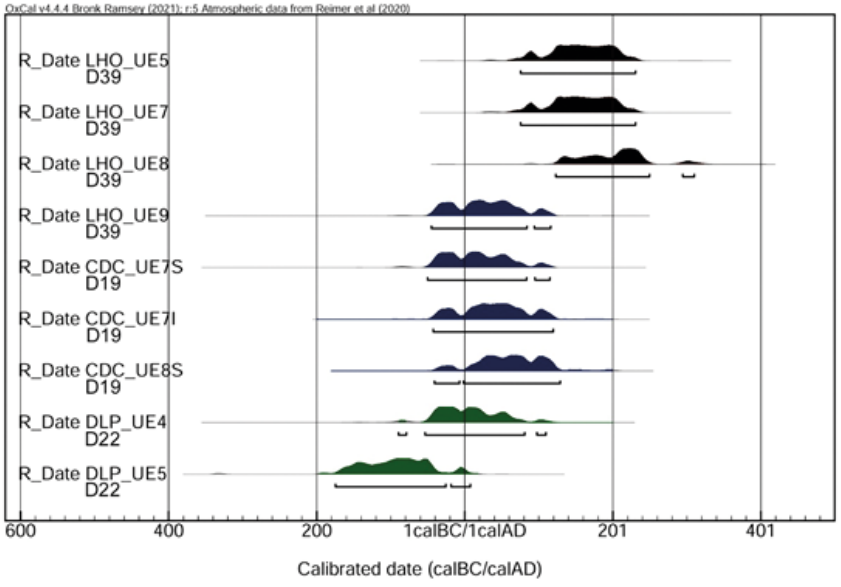


Figura 236. Diagrama con las dataciones ^{14}C de depósitos de la red hidráulica de Las Médulas.

Los depósitos D19 y D39 son los que han proporcionado una secuencia más clara, con cinco y seis dataciones respectivamente, mientras que de D22 tan solo hay dos dataciones válidas (una de ellas la ya mencionada de pino negro o salgareño) y en D28, hay una única fecha (la de roble a la que ya se ha aludido) (fig. 236). El depósito D19 es el más interesante, ya que, como se ha mostrado, cuenta con una notable potencia estratigráfica (fig. 233). Se han podido datar tres momentos, aunque la fase más antigua no pudo fecharse por falta de muestra suficiente. La segunda fase de uso del depósito se sitúa entre los

Código	Canal	Año	UE	Especie	Fecha	Incertidumbre	Informe Beta
19_C1_CCP_UE5_Fab	C1	2022	5	Fabacea	1930	± 30	648310
20_C1_CCP_UE4I_Eri	C1	2022	4inf	*Erica* sp.	1930	± 30	648309
15_C5_CDL_UE4_Que	C5	2022	4	*Quercus* sp	1890	± 30	643019
21_C18_CLP_UE5_Tax	C18	2022	5	*Taxus Baccata*	3770	± 30	648312
22_C18_CLP_UE4_Cor	C18	2022	4	*Corylus Avellana*	Negativo	Negativo	Error
17_C25_CPA_UE5_Eri	C25	2022	5	*Erica* sp.	Negativo	Negativo	Error
18_C25_CPA_UE4a_Leg	C25	2022	4a	Leguminosa	1930	± 30	648311
10_C26_CBC_UE5_Leg	C26	2022	5	Leguminosa	2000	± 30	643019
16_C26_CBC_UE4m_Pin	C26	2022	4med	*Pinus Nigra*	2170	± 30	646034
11_C26_CBC_UE4I_Eri	C26	2022	4inf	*Erica* sp.	1980	± 30	643019
12_C30c_CPE_UE3_Eri	C30c	2022	3	*Erica* sp.	1800	± 30	643019
13_C32_CAC_UE3_Eri	C32	2022	3	*Erica* sp.	1910	± 30	643019
14_C_DBC_UE4I_Ang	CDC*	2022	4inf	Angiosperma	1970	± 30	643019

Código	Canal	UE	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
19_C1_CCP _UE5_Fab	C1	5	1930± 30	28-45 d. C. (7,6%) 58-130 d. C. (57,1%) 145-154 d. C. (3,5%)	22-206 d. C. (95,4%)
20_C1_CCP _UE4I_Eri	C1	4inf	1930± 30	28-45 d. C. (7,6%) 58-130 d. C. (57,1%) 145-154 d. C. (3,5%)	22-206 d. C. (95,4%)
15_C5_CDL _UE4_Que	C5	4inf	1890± 30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)
21_C18_CLP _UE5_Tax	C18	5	3770± 30	2278-2254 a. C. (15,4%) 2207-2140 a. C. (52,9%)	2291-2131 a. C. (87,2%) 2088-2047 aC. (8,3%)
18_C25_CPA _UE4a_Leg	C25	4a	1930± 30	28-45 d. C. (7,6%) 58-130 d. C. (57,1%) 145-154 d. C. (3,5%)	22-206 d. C. (95,4%)
10_C26_CBC _UE5_Leg	C26	5	2000± 30	40-10 a. C. (26,5%) 1-31 d. C. (26,5%) 40-60 d. C. (15,3%)	51 a. C.-84 d. C. (91%) 96-116 d. C. (4,4%)
16_C26_CBC _UE4m_pin	C26	4med	2170± 30	351-290 a. C. (38,8%) 209-167 a. C. (29,4%)	360-273 a. C. (42,8%) 265-242 a. C. (3,3%) 236-103 a. C. (48,3%)
11_C26_CBC _UE4I_Eri	C26	4inf	1980± 30	32-17 a. C. (9,5%) 7-77 d. C. (58,7%)	43 a. C.-120 d. C. (95,4%)
12_C30c_CPE _UE3_Eri	C30c	3	1800± 30	222-254 d. C. (33,5%) 288-322 d. C. (34,8%)	165-188 d. C. (2,1%) 202-264 d. C. (45,5%) 275-346 d. C. (47,8%)
13_C32_CAC _UE3_Eri	C32	3	1910± 30	81-99 d. C. (13,3%) 109-172 d. C. (42%) 182-203 d. C. (13%)	28-44 d. C. (2,9%) 58-215 d. C. (92,6%)
14_C_DBC _UE4I_Ang	CDC	4inf	1970± 30	12-83 d. C. (57,5%) 97-113 d. C. (10,7%)	41-9 a. C. (11,9%) 1 a. C.-124 d. C. (83,6%)

Tabla 44 a y b. Canales de la red hidráulica de Las Médulas: muestras datadas y calibraciones.

Código	Depósito	Año	UE	Especie	Fecha	Incertidumbre	Informe Beta
07_CDC_ UE12I_Ang	D19	2022	12inf	Angiosperma	Negativo	Negativo	652015
01_CDC_UE11_ Que	D19	2022	11	*Quercus* caducifolio	Negativo	Negativo	641625
06_CDC_ UE10_eri	D19	2022	10	*Erica* sp.	2020	± 30	652014
02_CDC_ UE8S_Eri	D19	2022	8sup	*Erica* sp.	1960	± 30	641628
03_CDC_ UE7I_Leg	D19	2022	7inf	Leguminosa	1980	± 30	641628
04_CDC_ UE7S_Eri	D19	2022	7sup	*Erica* sp.	2000	± 30	641628
05_CDC_UE4_ Leg	D19	2022	4	Leguminosa	1840	± 30	652013
01_LHO_ UE12S_Arb	D39	2022	12sup	*Arbutus unedo*	310	± 30	641628
02_LHO_UE9_ Eri	D39	2022	9	*Erica* sp.	1990	± 30	641628
03_LHO_UE8_ Sal	D39	2022	8	*Salix* sp.	1840	± 30	641628
05_LHO_UE7_ Eri	D39	2022	7	*Erica* sp.	1890	± 30	646034
07_LHO_UE6_ Eri	D39	2022	6	Erica sp.	2040	± 30	652016
04_LHO_UE5_ Eri	D39	2022	5	*Erica* sp.	1890	± 30	641628
06_LHO_UE4_ Fra	D39	2022	4	*Fraxinus* sp.	Negativo	Negativo	648314

Código	Depósito	UE	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
02_CDC_UE8S_Eri	D19	8sup	1960± 30	23-84 d. C. (51,7%) 95-116 a. C. (16,6%)	42-8 a. C. (7,9%) 2-130 d. C. (87,5%)
03_CDC_UE7I_Leg	D19	7inf	1980± 30	32-17 a. C. (9,5%) 7-77 d. C. (58,7%)	43 a. C.-120 d. C. (95,4%)
04_CDC_UE7S_Eri	D19	7sup	2000± 30	40-10 a. C. (26,5%) 1-31 d. C. (26,5%) 40-60 d. C. (15,3%)	51 a. C.-84 d. C. (91%) 96-116 d. C. (4,4%)
01_LHO_UE12S_Arb	D39	12sup	310± 30	1520-1586 d. C. (54,2%) 1623-1641 d. C. (14,1%)	1490-1649 d. C. (95,4%)
02_LHO_UE9_Eri	D39	9	1990± 30	37-14 a. C. (17,5%) 4-64 d. C. (50,8%)	46 a. C.-85 d. C. (88,2%) 95-117 d. C. (7,3%)
03_LHO_UE8_Sal	D39	8	1840± 30	133-140 d. C. (4,6%) 160-190 d. C. (20,1%) 201-242 d. C. (43,5%)	124-250 d. C. (91,8%) 295-311 d. C. (3,6%)
05_LHO_UE7_Eri	D39	7	1890± 30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)
04_LHO_UE5_Eri	D39	5	1890± 30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)

Tabla 45 a y b. Depósitos de la red hidráulica de Las Médulas: muestras datadas y calibraciones.

siglos I y II d. C. (UE8, 7I y 7S), abandonándose en algún momento del siglo II d. C. (UE 6), tras lo cual sufrió un rápido proceso de colmatación como se observa en la UE4.

En el caso del depósito D39 (fig. 234) hay cuatro unidades formadas en medio acuático o muy húmedo (UE9, 8, 7 y 6), que corresponden a las últimas fases de uso o primeros momentos de abandono, y que se datan dentro del mismo periodo del siglo I d. C. Por encima de estas unidades hay ya un relleno que muestra su abandono, todavía en condiciones de humedad, que se ha datado entre los siglos I y III d. C. y que confirma la rápida colmatación de esta estructura. No se ha podido fechar el nivel de relleno superior, la UE4, y, además, este depósito presenta en sus estratos más recientemente formados un alto grado de alteración. Cabe resaltar que en este caso hay una anomalía en la UE6, que presenta una fecha más antigua de lo que corresponde a la secuencia estratigráfica. Como ya se ha indicado, esto refleja el arrastre de sedimentos con materiales más antiguos. En los otros tres depósitos, D22, D23 y D28, no se ha obtenido una secuencia tan clara, ya que el número de dataciones obtenidas ha sido escaso.

A partir de estos datos, y teniendo en cuenta todo lo anterior, se pueden precisar algunos puntos. En relación con los sectores 1 y 2 de la mina, únicamente contamos con las fechas de los canales C1 (sector 1, fases tempranas) y C5 (sector 1 y sectores 2.1 y 2.2). Tal y como se ha indicado en capítulos previos, el propio avance de las labores ha hecho desaparecer muchos elementos de la red hidráulica inicial y ha segmentado otros muchos. Las fechas calibradas obtenidas para C1 llevan al intervalo global de funcionamiento de la red (22-206 d. C.), aunque parece lo más probable que su uso cesase en el primer tercio del siglo II d. C. En el caso de C5, el intervalo coincide igualmente con el periodo de actividad en la mina (76-231 d. C.). La secuencia relativa indica con nitidez que fue en los sectores 1 y 2 en los que se iniciaron más tempranamente las labores. Recordemos que los materiales que se datan reflejan, únicamente los primeros momentos en los que quedaron depositados limos en el fondo de los canales y no permiten fechar con mayor precisión ni su uso ni su abandono. Es un buen ejemplo de la necesidad de combinar dataciones absolutas y secuencias relativas. No se trata de pretender que las fechas absolutas repliquen (y confirmen) la secuencia relativa que, por otro lado, como se ha visto, es clara tras el estudio efectuado, sino de enmarcarla en un intervalo cronológico lo más preciso posible.

De las fechas obtenidas, algunas corresponden a elementos de la red que funcionaron en relación: los canales C26 y 27 alimentaron el depósito D22, del que salía el canal C25. Este canal C25 y el C28 llegaban al depósito D28, del que salían los canales C29 y C30. El primero conducía agua al D34 (sectores 3.8, 3.9 y 3.11 de la mina) y el C30 llegaba al depósito D39 (sectores 3.10 y 3.11). Tomando las fechas de las unidades estratigráficas inferiores de los canales C26, C25 y C30 y del depósito D39 (tabla 46 y fig. 237) se observa que los intervalos no son exactamente coincidentes, aunque una parte de las curvas se superponen, marcando así el periodo en el que es más probable el final de su funcionamiento. Las fechas de C26 y C25 no permiten precisar más que el periodo general (siglos I y II d. C.), pero la base de D39 ofrece un dato relevante: en el fondo del depósito quedaron acumulados sedimentos a finales del siglo I d. C., marcando así una fase en la que la *piscina* estaba posiblemente activa, dadas las características del sedimento de la UE9 y las fechas de las unidades suprayacentes, que indican un depósito aún en condiciones de humedad a lo largo del siglo II d. C. La fecha de los primeros sedimentos del fondo de C30c, que llegaba hasta D39, lleva hasta el siglo III d. C. Una vez más, insistimos en que lo que data no es la construcción ni el periodo de funcionamiento de canales y depósitos, sino de la materia orgánica incorporada a los sedimentos que quedaron en su fondo o en niveles de colmatación, de manera que solo vistas globalmente adquieren sentido. Volviendo a este último caso, la serie de fechas se puede explicar así: los canales que formaron parte de la última red de Las Médulas (C25 y C26) tuvieron su último funcionamiento como conducciones de agua en la

segunda mitad del siglo II d. C., incluso hacia la mitad de ese siglo, si atendemos a la fecha más reciente del canal C26. Viendo las fechas de C30c, se podría considerar que el canal funcionó hasta un siglo después que los anteriores, pero esta conclusión ha de ser revisada a la vista de la cronología del depósito en el que desembocaba (D39) en el que todo el paquete de estratos formados en condiciones húmedas (UE5 a 9) marca una secuencia homogénea que lleva como tarde, a los primeros años del siglo III d. C. Sin duda en C30c se han fechado materiales que responden ya un relleno posterior a su uso. Este es el último canal que funcionó en la explotación y, viendo la secuencia total de fechas de canales (fig. 235) ocupa la posición correcta.

La serie de fechas del depósito de La Horta es un buen ejemplo de las condiciones de formación de los rellenos en los vasos de las *piscinae* (fig. 234). Las unidades estratigráficas 9, 8, 7 y 5 muestran una secuencia coherente y clara. El hecho de que la fecha de la UE6 muestre una fecha más antigua que las inferiores 8 y 7 no puede deberse sino a la presencia en ella de restos vegetales más antiguos (en realidad coetáneos a los de la UE9). La datación de la UE12sup (siglos XVI-XVII) sirve igualmente como referencia para recordar que la colmatación es un proceso largo, en el que hay momentos de formación de suelos posteriores. En este caso posiblemente esté relacionado con el acondicionamiento y circulación en la parte alta de lo que inicialmente fue el talud norte del depósito romano.

Canal	UE	Fecha	Fecha calibrada 1 sigma	Fecha calibrada 2 sigmas
C26	5	2000± 30	40-10 a. C. (26,5%) 1-31 d. C. (26,5%) 40-60 d. C. (15,3%)	51 a. C.-84 d. C. (91%) 96-116 d. C. (4,4%)
C26	4inf	1980± 30	32-17 a. C. (9,5%) 7-77 d. C. (58,7%)	43 a. C.-120 d. C. (95,4%)
C25	4a	1930± 30	28-45 d. C. (7,6%) 58-130 d. C. (57,1%) 145-154 d. C. (3,5%)	22-206 d. C. (95,4%)
C30c	3	1800± 30	222-254 d. C. (33,5%) 288-322 d. C. (34,8%)	165-188 d. C. (2,1%) 202-264 d. C. (45,5%) 275-346 d. C. (47,8%)
D39	9	1990± 30	37-14 a. C. (17,5%) 4-64 d. C. (50,8%)	46 a. C.-85 d. C. (88,2%) 95-117 d. C. (7,3%)
D39	8	1840± 30	133-140 d. C. (4,6%) 160-190 d. C. (20,1%) 201-242 d. C. (43,5%)	124-250 d. C. (91,8%) 295-311 d. C. (3,6%)
D39	7	1890± 30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)
D39	5	1890± 30	124-205 d. C. (68,3%)	76-231 d. C. (95,4%)

Tabla 46. Fechas obtenidas para elementos de la red hidráulica relacionados con las últimas fases de explotación del sector 3 (3.10 y 3.11).

7 *Análisis microestratigráfico de depósitos de la red hidráulica de Las Médulas*

Mario Gutiérrez Rodríguez
Instituto Universitario de Investigación en Arqueología Ibérica, Universidad de Jaén

7.1. MICROESTRATIGRAFÍA EN LOS DEPÓSITOS DE LA ZAM: DEL PAISAJE AL MICROSCOPIO

Como ha quedado claro ya en los anteriores capítulos (ver en particular los capítulos 5 y 6), la caracterización de los depósitos de una red hidráulica minera como la de Las Médulas resulta particularmente compleja, debido a la variedad de materiales depositados y procesos sedimentarios que se pueden encontrar en ella. Son sin duda de origen mayoritariamente antropogénico, pero presentan una gran similitud con sedimentos naturales, lo que dificulta la distinción entre materiales generados por la actividad minera y aquellos productos de dinámicas naturales como procesos aluviales, erosivos o de ladera, entre otros. Este parecido plantea retos específicos para identificar señales de la intervención humana, como eventos de mantenimiento o fases de uso intensivo, frente a los procesos de abandono y colmatación definitiva de la red.

Por eso, el análisis microestratigráfico, y en particular la micromorfología de suelos y sedimentos, se presenta como una herramienta idónea para abordar el estudio de estos depósitos asociados a las redes hidráulicas mineras. En estos contextos se dan depósitos sedimentarios complejos y heterogéneos como resultado del manejo de cantidades masivas de sedimentos con diferentes tipos de flujo y múltiples fases de sedimentación y colmatación. Los métodos geoarqueológicos, basados en la realización de cartografías geomorfológicas o en análisis generales de parámetros físicos y mecánicos de los sedimentos, suelen proporcionar información valiosa en cuanto a la magnitud de las operaciones mineras o las propiedades de los materiales movilizados, pero más limitada en cuanto a la identificación de procesos formativos específicos y su temporalidad relativa. En este sentido, técnicas de análisis microestratigráfico como la micromorfología, que consiste en el análisis petrográfico de suelos y sedimentos, permite un examen completo de todos los componentes contenidos en sedimentos no consolidados y brinda una visión detallada de su disposición interna y la temporalidad relativa de su formación, lo que la convierte en una metodología especialmente adecuada para secuencias sedimentarias de génesis compleja.

Comparada con otros métodos, la micromorfología presenta tres ventajas principales. En primer lugar, se trata de un método de análisis microcontextualizado. Es decir, permite estudiar partículas y estructuras en su estado original y no perturbado, manteniendo la relación entre ellas en el contexto del sedimento. En segundo lugar, se trata de una técnica de análisis geoarqueológico con un alto grado de resolución, pues permite la realización de un análisis composicional preciso de los sedimentos. En tercer lugar, esto permite una vinculación directa entre componentes y estructuras sedimentarias con procesos naturales y antropogénicos específicos, tanto deposicionales como postdeposicionales. Estas

ventajas la hacen especialmente útil en el análisis de sistemas hidráulicos antiguos, donde las características sedimentarias pueden reflejar tanto procesos naturales como antrópicos indistintamente. Aunque con anterioridad se han realizado descripciones de visu de depósitos y análisis físico-químicos a partir de sondeos geotécnicos o sondeos estratigráficos en depósitos de redes hidráulicas mineras que han permitido realizar aproximaciones tentativas a sus procesos de sedimentación (Sánchez-Palencia *et al*. 2014; Sánchez-Palencia *et al*. 2018; Orejas *et al.* 2024), se sabe relativamente poco sobre la mecánica interna de los flujos y las estructuras sedimentarias resultantes en estos depósitos no consolidados.

Las Médulas representan un referente excepcional para analizar las tecnologías mineras antiguas debido a la escala y la complejidad de sus estructuras, así como al impacto transformador de los diferentes sistemas de explotación (ver capítulo 8).

Este estudio representa el primer análisis microestratigráfico realizado en una red hidráulica minera. Se analizan con tal finalidad los depósitos de agua de Chaos da Cruz (D19) y La Horta (D39), que figuran entre los mejor conservados de Las Médulas (ver capítulo 5) y proporcionan dos ejemplos muy significativos y a la par diferentes del sistema hidráulico de Las Médulas (ver los sondeos realizados en ellos: apartados 6.3 y 6.4) A través de este análisis, se espera caracterizar los procesos sedimentarios y postdeposicionales, diferenciando los eventos naturales de las intervenciones humanas. Como hipótesis de trabajo, proponemos que el análisis microestratigráfico permitirá identificar evidencias de labores mineras específicas, así como la funcionalidad técnica de las estructuras hidráulicas, reflejadas en los procesos de transporte, sedimentación y manejo del agua. Por tanto, este capítulo tiene como objetivo específico comprender cómo los cambios en las técnicas de explotación y las estrategias de gestión se plasmaron en la génesis de los depósitos. Por último, se busca desarrollar una metodología interdisciplinar que combine la micromorfología de suelos y sedimentos con otras técnicas geoquímicas y mineralógicas, para ofrecer una visión integral de los procesos sedimentarios y su interacción con las estrategias humanas en este contexto minero antiguo.

7.2. MUESTREO Y ESTRATEGIA ANALÍTICA

Como ya se ha señalado (ver apartado 6.3.1) el depósito D19 de Chaos da Cruz, presenta una potencia estratigráfica de aproximadamente 4 metros y una morfología de cubeta (figs. 190 y 191). En la secuencia, alternan niveles limoarcillosos con niveles de gravas cementados en hierro. Los niveles limoarcillosos tienen espesores de entre 5 y 10 cm y muestran laminaciones paralelas. En la base del depósito, estas laminaciones presentan un buzamiento que sigue el perfil de la cubeta, mientras que los niveles superiores tienden a la horizontalidad. En la parte intermedia de la secuencia, son frecuentes los rasgos de deformación, como estratificación convoluta y estructuras de llama (fig. 238), que reflejan una dinámica sedimentaria en condiciones de saturación y licuefacción. En la parte superior, predominan los niveles cementados en hierro, interrumpidos en ocasiones por cicatrices erosivas que generan una marcada falta de continuidad lateral. Este depósito se excavó en las proximidades del contacto entre las Formaciones Orellán y Santalla (figs. 190 y 191). Como ya se ha indicado, la Formación Orellán, en la base del yacimiento aurífero, se compone de depósitos coluvionares y aluvionares de baja energía, con clastos de cuarzo y pizarra de pequeño tamaño, mientras que la Formación Santalla, que domina las capas intermedias, está representada por conglomerados con mayor organización sedimentaria y bancos longitudinales, asociados a procesos fluviales más energéticos (ver apartado 1.3).

El depósito D39, La Horta, presenta una potencia estratigráfica menor, de aproximadamente 1 metro, y también tiene una morfología de cubeta. Su secuencia alterna niveles de arcillas rojas con gravas dispersas y niveles limoarcillosos muy finos con laminaciones oscuras bien definidas. Las gravas no presentan una estructura sedimentaria precisa y están dispuestas de forma caótica, mientras que los niveles finos muestran una organización clara que



Figura 238. Depósito D19 de Chaos da Cruz. Imagen de detalle de las estructuras de deformación, con estratificación convoluta (flechas negras) y estructuras de llama (flechas amarillas).

contrasta con la disposición de las gravas. Este depósito se excavó en los conglomerados pertenecientes a la Formación Las Médulas, caracterizada por depósitos típicos de abanicos aluviales torrenciales, en los que alternan conglomerados masivos y bancos limosos con estructura laminada (ver apartado 1.3) Los rasgos observados en D39 son consistentes con procesos sedimentarios de alta energía, seguidos de períodos de calma que favorecieron la deposición de partículas más finas.

Para realizar el análisis microestratigráfico, se tomaron muestras de ambos depósitos. En el caso de D39, debido a su poca potencia estratigráfica, el muestreo fue sistemático y abarcó desde el nivel basal geológico hasta los niveles superiores asociados al abandono del depósito hidráulico. Se extrajeron dos bloques de micromorfología, que dieron lugar a ocho láminas delgadas, permitiendo un análisis detallado de las estructuras sedimentarias y su dinámica de formación. En el depósito D19, dada su mayor potencia estratigráfica y la repetición de gran parte de la secuencia, el muestreo se centró en un único bloque ubicado en los niveles limoarcillosos intermedios. Este bloque se seleccionó estratégicamente para incluir las estructuras sedimentarias y rasgos de deformación más diagnósticos observados en el reconocimiento de visu de la secuencia. Este enfoque diferenciado busca maximizar la información sobre los procesos sedimentarios y postdeposicionales de ambos depósitos, así como ofrecer una base sólida para interpretar su funcionalidad dentro de la red hidráulica y las estrategias tecnológicas implementadas en la minería romana de Las Médulas.

Los bloques de micromorfología se obtuvieron no perturbados y orientados. Fueron estabilizados con vendas de yeso de París, fueron posteriormente secados en horno durante un día a 50 ºC. La impregnación se llevó a cabo bajo vacío utilizando resina de poliéster (Palatal P4-01), monómero de estireno y catalizador MEK. En total, se estudiaron 12 láminas delgadas. Estas se analizaron bajo luz polarizada plana (PPL), luz polarizada cruzada (XPL) y luz incidente oblicua (OIL). Se siguieron los criterios de estándares descriptivos consolidados en la disciplina (Courty *et al.* 1989; Stoops 2003; Stoops *et al.* 2010; Nicosia y Stoops 2017; Karkanas y Goldberg 2019).

En este estudio utilizamos el concepto de microfacies según la definición de Flügel, que se refiere a la disposición de los componentes sedimentarios en grupos distintos y recurrentes de composición y organización similar dentro de una lámina delgada particular (Flügel 2004). A través del análisis de microfacies, ha sido posible agrupar características similares en términos de composición litológica, asociación geométrica y cambios postdeposicionales, lo que permitió reconocer patrones en diferentes láminas delgadas. Esto se basa en el principio de que eventos, ambientes deposicionales y procesos postdeposicionales determinados producen un tipo específico de microfacies (Courty 2001; Flügel 2004; Goldberg y Macphail 2006; Goldberg *et al.* 2009).

La composición elemental de las láminas delgadas se exploró utilizando μ-XRF. Los análisis se realizaron con un espectrómetro μ-XRF Bruker M4 Tornado en la Universidad de Jaén. Este espectrómetro está equipado con un tubo de rayos X de microfoco con ánodo de Rh, lente policapilar para el enfoque de rayos X y un detector de derivación de silicio (SDD). Las mediciones se realizaron bajo condiciones de vacío completo para aumentar la sensibilidad a los elementos de bajo Z. Se produjeron mapas elementales para los siguientes elementos: Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si, Ti y Zn. El análisis de mapeo de las muestras se llevó a cabo con los siguientes ajustes del instrumento: un tamaño de punto de ~25 μm y

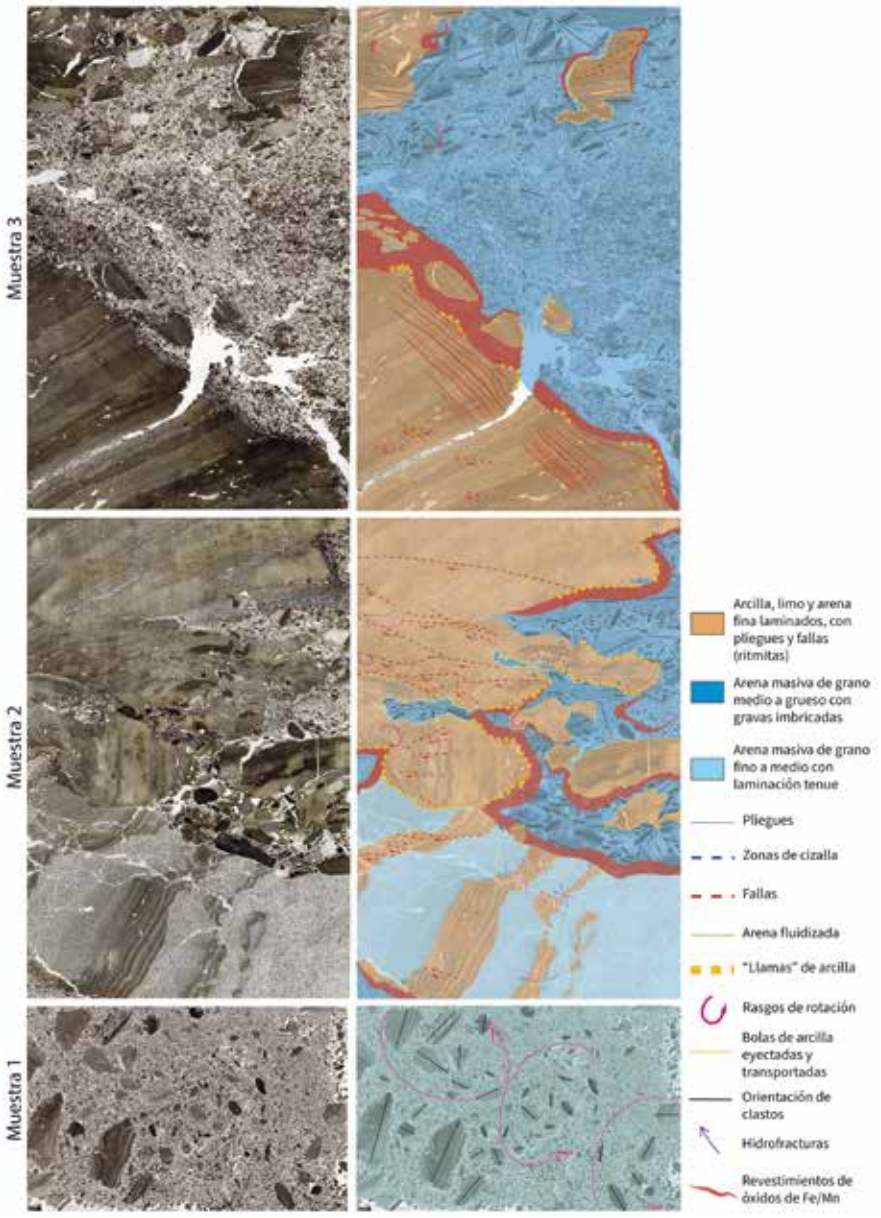


Figura 239. Chaos da Cruz. Escaneos de las muestras 1-3 en PPL (luz polarizada plana), con interpretación composicional y de los procesos formativos y de deformación identificados.

un espaciado entre puntos de 8-60 µm dependiendo de la resolución deseada; una potencia de haz de 30 W (50 kV de voltaje del tubo y 600 µA de corriente del tubo); y tiempos de exposición por píxel de 10 ms hasta 100 ms, dependiendo de los elementos de interés. Los mapas elementales fueron examinados únicamente de manera cualitativa, enfocándose en la existencia o ausencia y la distribución espacial de los elementos.

7.3. EL DEPÓSITO DE CHAOS DA CRUZ (D19)

A continuación, se hace una descripción de las cuatro láminas delgadas que, consecutivamente y de abajo a arriba, conforman el bloque micromorfológico analizado de Chaos da Cruz (figs. 239 y 240).

Muestra 1 (fig. 239): La base del depósito muestreado está compuesta por una matriz de arena de grano fino a medio sin laminaciones, con inclusión

de gravas dispersas. Este nivel refleja condiciones sedimentarias caracterizadas por una alta energía hidráulica asociada a un flujo turbulento. Los rasgos de rotación observados, descritos como estructuras en forma de galaxia, se manifiestan por la distribución circular y tangencial de granos de arena y grava, sin la presencia de clastos centrales prominentes o «core stones» (Phillips 2006; Mücher *et al.* 2010; Bertran 1993; Menzies 2022). Estas estructuras indican que las partículas experimentaron rotaciones locales y redistribuciones dentro de un flujo caracterizado por deformación dúctil, favorecida por las condiciones de alta saturación del sedimento y la interacción turbulenta del agua. La circularidad de las estructuras de galaxia sugiere que las partículas rotaron libremente hasta completar 360°, reflejando las condiciones dinámicas del flujo durante su formación. La formación de estas estructuras sugiere la existencia de células rotacionales transitorias, generadas por turbulencias en el flujo, las cuales promovieron el movimiento y la reorganización de las partículas más finas y clastos pequeños en la matriz (Phillips 2006). Este material probablemente se depositó durante un evento inicial de descarga de agua desde el canal de abastecimiento (C18), movilizando sedimentos gruesos previamente acumulados. Las características observadas, como la pérdida de laminación y los rasgos de rotación, reflejan la naturaleza dinámica de un flujo altamente turbulento con capacidad para transportar materiales heterogéneos bajo condiciones de saturación extrema.

Muestra 2 (figs. 239 y 241): Sobre la muestra anteriormente descrita se encuentra una microfacies de arenas masivas de grano fino a medio, que presentan laminaciones tenues intercaladas con ritmitas de limo y arcilla (Menzies y Meer 2018). Estas ritmitas se encuentran interrumpidas por hidrofracturas (Menzies 2022; Phillips 2006). Estas fracturas, rellenas por material arenoso, evidencian un escape de agua intersticial bajo presión, indicando procesos de escape de agua de abajo hacia arriba que ocurren cuando el peso de las capas superiores provoca una sobresaturación en el sedimento. Este nivel probablemente corresponde a una estrategia diferente de control del flujo en el depósito, con la velocidad del agua ralentizada, que permitió una sedimentación progresiva.

Encima de la arena masiva se encuentran ritmitas laminadas compuestas por arcilla, limo y arena fina. Estas ritmitas presentan una alternancia regular de capas finas granodecrecientes, característica de procesos de decantación en la lámina de agua y en ambientes de baja energía, donde la sedimentación está controlada por fluctuaciones hidráulicas o deposicionales. Durante la deformación dúctil en condiciones de alta saturación, se formaron pliegues disarmónicos en las ritmitas, indicando reconfiguración interna del material debido a variaciones en la presión ejercida sobre el depósito. Estos pliegues son interrumpidos por fallas inversas, que se desarrollaron posteriormente como resultado de compresiones asociadas a incrementos de carga o movimientos internos del sedimento. La combinación de estos rasgos sugiere que las ritmitas se formaron en depósitos controlados, diseñados para retener partículas más finas mediante procesos de decantación pausada. Estas estructuras, típicas de otro tipo de instalaciones hidráulicas como cisternas o pozos (Karkanas y Goldberg 2019), reflejan la capacidad de los operarios romanos para manejar flujos sedimentarios con precisión, facilitando la separación y acumulación de partículas finas en un entorno de alta saturación y moderado dinamismo hidráulico.

Esta dinámica sedimentaria se ve interrumpida en la parte superior de la muestra 2, donde se documenta un evento de entrada de arenas de grano medio a grueso con gravas imbricadas, transportadas en pulsos de alta energía. Hay abundantes llamas de arcilla *(clay flames)* y bolas de arcilla eyectadas, deformadas y transportadas *(clay balls),* que indican procesos de fluidización, donde la interacción entre el agua y los sedimentos finos generó estructuras intrusivas (Phillips 2006). Es decir, la penetración de gravas y arenas en las microfacies de ritmitas laminadas anteriormente descritas o su erosión creando nuevos planos de sedimentación. Además, en las superficies de contacto entre las arenas con gravas y la columna de agua, así como postdeposicionalmente en las ritmitas siguiendo los nuevos planos erosivos,

se desarrollan revestimientos de Fe/Mn *(coatings),* los cuales se forman por procesos redox en ambientes con fluctuaciones de saturación (Vepraskas *et al.* 2018). Estos revestimientos unen los granos minerales entre sí, consolidando las laminaciones y contribuyendo a la formación de estructuras laminares compactas. La génesis de estos revestimientos implica ciclos de reducción y oxidación. Durante los períodos de saturación de agua, el hierro y manganeso disueltos se movilizan físicamente y reducen químicamente dentro del sedimento. Cuando las condiciones se vuelven más oxigenadas, estos elementos precipitan como óxidos o hidróxidos, formando capas (o *iron pans* en literatura tradicional) que conectan los granos minerales. El tiempo de saturación necesario para la formación de estos revestimientos en las interfaces saturadas se estima de larga duración (Vepraskas *et al.* 2018). En el contexto de la red hidráulica de Las Médulas, es probable que estos revestimientos se desarrollaran durante fases de un abastecimiento de agua controlado, en condiciones de calma prolongada, seguidas por períodos de drenaje que expusieron los sedimentos al oxígeno atmosférico, favoreciendo así la precipitación y reducción (en condiciones de inundación) seguidas de una posterior oxidación (en condiciones de drenaje) de Fe/Mn.

Muestra 3 (figs. 239 y 241): la base de esta muestra está compuesta por ritmitas laminadas con fallas inversas y pliegues disarmónicos, indicadores de deformación postdeposicional causada por carga diferencial y reacomodo sedimentario. Estas ritmitas han sufrido un intenso proceso de erosión, que ha generado un nuevo plano erosivo y de sedimentación muy inclinado, marcando una discontinuidad significativa en la secuencia estratigráfica.

Sobre este plano erosivo, se encuentran bolas de arcilla transportadas y deformadas *(clay balls),* cuya presencia indica una fase de alta energía en el flujo que acompañó el evento erosivo. Además, se ha desarrollado un revestimiento grueso de Fe/Mn, evidencia de procesos postdeposicionales vinculados a fluctuaciones en la saturación. En las ritmitas infrayacentes, se han generado revestimientos mucho más finos de Fe/Mn (50-200 µm de espesor) en paralelo al nuevo plano de sedimentación, siguiendo la interfaz erosiva. Esta distribución diferencial de los revestimientos de Fe/Mn indica una secuencia relativa de cambios en las condiciones de inundación que conllevaron la precipitación de Fe/Mn en distintas fases, reflejando condiciones fluctuantes de saturación y oxigenación en el depósito.

La erosión de las ritmitas fue causada por la entrada de arenas masivas con gravas imbricadas e hidrofracturas, representando condiciones de alta energía en el sistema. La presencia de laminaciones alternantes de arenas gruesas con gravas de mayor tamaño siguiendo un plano ligeramente oblicuo de sedimentación indica que esta entrada de materiales se produjo en varios momentos del abastecimiento, los cuales ocurrieron en un estrecho margen temporal. La presencia de *clay balls* dentro de esta microfacies refuerza la idea de una fase de transporte turbulento, erosión de sedimentos más antiguos y movilización activa de agregados cohesionados. Además, la imbricación de las gravas sugiere un flujo canalizado y direccional, mientras que las hidrofracturas evidencian el escape de agua intersticial debido al peso de los materiales superiores. Este conjunto de rasgos indica que el sistema hidráulico experimentó una fase de recarga repentina, movilizando sedimentos gruesos y favoreciendo la compactación diferencial de los materiales subyacentes. La formación del plano erosivo y de sedimentación inclinado refleja una reestructuración significativa del depósito, inducida por una entrada repentina de agua y sedimentos de alta energía.

Muestra 4 (figs. 240 y 241): la base de esta muestra presenta una capa de gravas similar a la descrita en la muestra 2, pero con una mayor abundancia de bolas de arcilla eyectadas y transportadas. Estas estructuras reflejan un episodio de alta energía en el flujo, probablemente asociado a una liberación repentina de agua desde el canal de abastecimiento. Sobre las gravas se encuentra una microfacies de arena masiva de tamaño de grano fino a medio, que presenta laminaciones de arcilla de entre 300-500 µm de grosor. Estas laminaciones indican intervalos breves entre episodios de entrada de flujos de are-

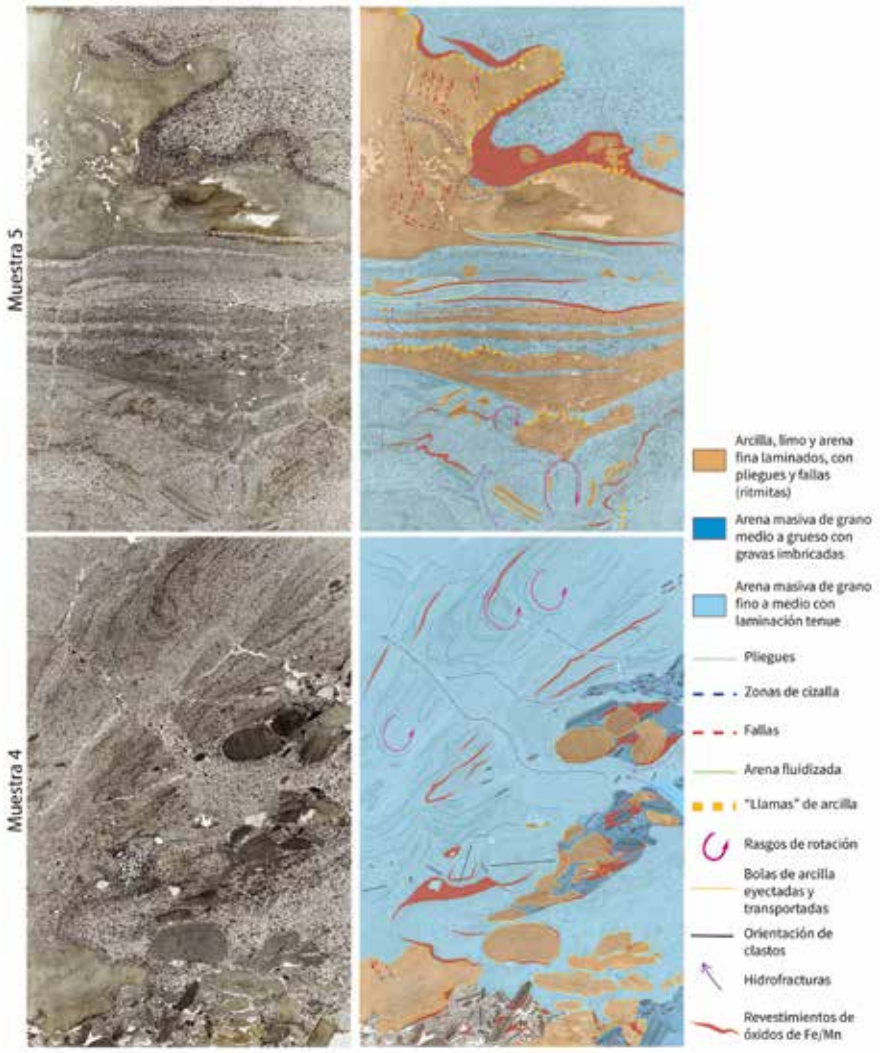


Figura 240. Chaos da Cruz. Escaneos de las muestras 4-5 en PPL, con interpretación composicional y de los procesos formativos y de deformación identificados.

nas, durante los cuales las partículas más finas, como limos y arcillas, sedimentaron mediante suspensión en la columna de agua. Las laminaciones de arcilla, por tanto, representan episodios transitorios de calma relativa dentro de un intervalo general dominado por el transporte y depósito de arenas. En esta microfacies también se observan los revestimientos de Fe/Mn como los anteriormente descritos, que en este caso se desarrollan en las laminaciones de arcilla.

La microfacies de arenas masivas que venimos describiendo también exhibe pliegues disarmónicos, algunos de ellos con una morfología lobular característica (Phillips 2006; Menzies 2022). Estos pliegues se formaron como resultado de deformaciones dúctiles postdeposicionales en las laminaciones, provocadas por el reacomodo interno de las arenas saturadas bajo condiciones de alta presión intersticial. La deformación ocurrió cuando las partículas, aún parcialmente consolidadas, se sometieron a esfuerzos tangenciales moderados generados por la compactación diferencial y el peso de las capas superiores. Este proceso refleja una interacción entre la presión ejercida por la carga sedimentaria y la plasticidad del material, que favoreció una deformación lateral y la generación de estructuras onduladas y lobulares dentro de los sedimentos arenosos.

Finalmente, en la microfacies de arenas masivas se generaron hidrofracturas grandes, visibles

como grietas rellenas de material arenoso. Estas fracturas se formaron debido al escape de agua intersticial, ocasionado por un aumento en la presión de poros derivada de la acumulación de materiales superiores. Las hidrofracturas atraviesan las laminaciones de arcilla, rompiéndolas y redistribuyendo localmente los materiales más finos. Además, los rasgos de rotación observados en los granos de arena fina indican reorientaciones individuales, posiblemente debidas a procesos de compactación y carga diferencial, que intensificaron la formación de pliegues convolutos en áreas específicas. En suma, esta secuencia de procesos refleja un sistema altamente dinámico, donde los intervalos entre flujos sedimentarios y las cargas progresivas desempeñaron un papel fundamental en la configuración final del depósito.

Muestra 5 (figs. 240 y 241): la base de esta muestra está compuesta por laminaciones horizontales alternantes de arcilla y limo laminado con arenas finas masivas, siendo ambos tipos de microfacies similares a los anteriormente descritos. Estas laminaciones reflejan una disminución en la energía del flujo, permitiendo la acumulación progresiva de partículas más finas (laminaciones de limo y arcilla) entre pulsos de una energía moderadamente mayor (arenas finas masivas). Dentro de estas capas, se observan ocasionales bolas de arcilla redondeadas de tamaño de arena gruesa a grava fina, así como estructuras de arena fluidizada, que sugieren pequeños episodios de movilización local en el sedimento.

A continuación, aparecen capas laminadas con pliegues disarmónicos, generados por deformaciones dúctiles, interrumpidas por fallas inversas formadas en etapas posteriores de compresión. Estas capas también presentan llamas de arcilla, que reflejan fluidización activa durante la fase final del flujo.

Finalmente, la parte superior del depósito está dominada por una capa de arena masiva con gravas, que marca el último pulso energético registrado en el bloque micromorfológico muestreado. Las superficies de contacto erosivas entre estas capas y las unidades subyacentes muestran revestimientos de Fe/Mn, resultado de la oxidación postdeposicional en condiciones de humedad fluctuante como se ha descrito previamente.

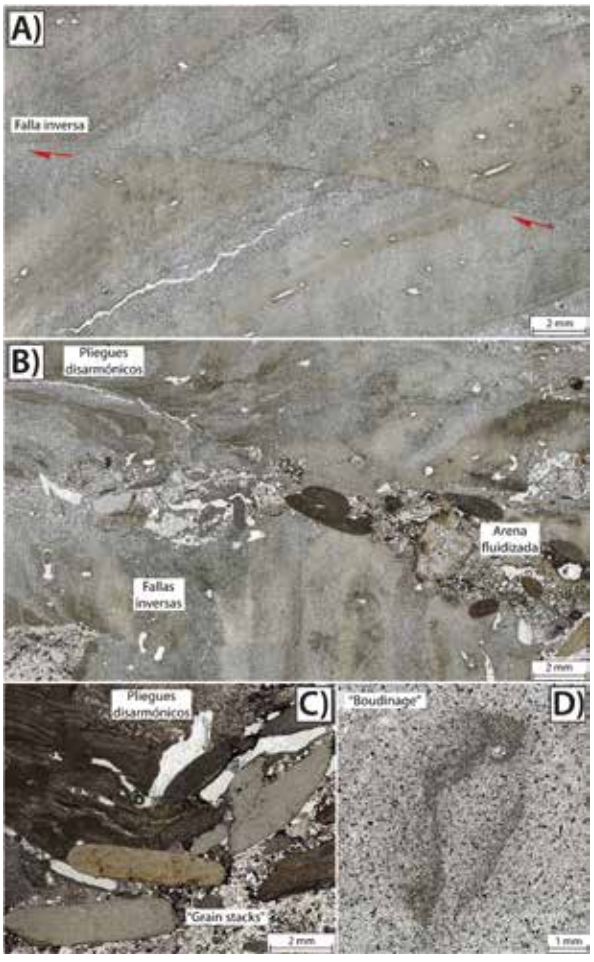


Figura 241. Microfotografías de láminas delgadas del depósito de Chaos da Cruz mostrando algunos de los rasgos más relevantes. A) y B) Corresponden a la microfacies de arcilla, limo y arena fina laminados con pliegues y fallas. C) Corresponde a la microfacies de arena masiva de grano medio a grueso con gravas imbricadas. D) Corresponde a la microfacies de arena masiva de grano fino a medio con laminación tenue.

El depósito de Chaos da Cruz, aunque claramente antropogénico y vinculado a la minería hidráulica romana, comparte varios rasgos con los *debris flows* descritos en la literatura sedimentológica. Los *debris flows* son movimientos rápidos de masa compuestos por sólidos mal clasificados y agua, generalmente caracterizados por una fase de gravas y materiales gruesos mezclada con una matriz más

fina. Aunque en este caso el depósito no incluye gravas gruesas dominantes, las dinámicas de transporte y deposición muestran paralelismos significativos con este tipo de procesos naturales.

Pero el depósito de Chaos da Cruz no solo es testimonio de procesos sedimentarios complejos semejantes a los naturales, sino que también ilustra la tecnología hidráulica aplicada en Las Médulas para la explotación aurífera. A diferencia de los *debris flows* naturales, este depósito refleja un control humano intencionado del transporte y sedimentación de materiales, adaptado a los requerimientos tecnológicos y operativos de la minería romana. La evidencia empírica obtenida a partir de las muestras permite identificar aspectos clave de la tecnología hidráulica romana utilizada en la explotación aurífera:

1. Movilización de sedimentos mediante descargas de alta energía: la base del depósito muestreado (muestra 1) documenta flujos turbulentos. La ausencia de laminación y las estructuras de rotación observadas en esta microfacies indican que los operarios romanos tuvieron que enfrentarse a flujos no bien controlados de agua con alta capacidad de arrastre. Aunque, como se ha explicado en el apartado 6.2 relativo a los sondeos en los canales, en estos siempre se produjo una mayor o menor acumulación de materiales en su fondo, los depósitos de agua pudieron facilitar que se depositasen en ellos materiales arrastrados.
2. Separación y clasificación de partículas mediante sedimentación diferenciada: efectivamente, las ritmitas laminadas presentes en las muestras 2, 3 y 4 muestran cómo estos depósitos de agua pudieron diseñarse para facilitar la decantación de partículas finas (limos y arcillas) durante intervalos específicos entre pulsos de flujo más energético. Estas laminaciones regulares sugieren que el agua se gestionaba cuidadosamente en los depósitos, ajustando los volúmenes y tiempos de retención para maximizar la separación de materiales según su granulometría.
3. Reconfiguración del sedimento por fluidización y flujos episódicos: los pulsos de alta energía registrados en las muestras 2 y 3, evidenciados por las llamas de arcilla y las bolas de arcilla eyectadas, indican momentos planificados para reconfigurar y redistribuir el sedimento acumulado. Estos eventos de intrusión de nuevos materiales en condiciones de alta energía erosionaban en parte los depósitos finos previamente sedimentados, facilitando el mantenimiento activo del depósito y asegurando su funcionalidad operativa durante largos períodos de explotación. Esta larga duración de la explotación se evidencia en la potencia estratigráfica y reiteración de la secuencia.
4. Procesos postdeposicionales y uso prolongado del depósito: los revestimientos de Fe/Mn (fig. 242) observados en las laminaciones y en los planos erosivos reflejan ciclos repetidos de saturación y drenaje, lo que apunta a un uso prolongado y controlado del depósito. Estos procesos no solo consolidaron las estructuras sedimentarias, sino que también evidencian el cuidado con que se regulaban los niveles de agua para evitar la degradación del sistema y garantizar su sostenibilidad.

En resumen, el depósito de Chaos da Cruz no es únicamente un registro sedimentario excepcional, sino un testimonio directo de las prácticas de tecnología hidráulica y gestión minera en Las Médulas. Su formación refleja un manejo pragmático de los flujos de agua y sedimentos, diseñado sin duda para lograr la mayor eficiencia posible en la extracción de oro y mantener la funcionalidad de la red hidráulica a gran escala.

Este análisis permite resaltar cómo en la explotación romana se aprovecharon principios de dinámica sedimentaria, similares a los de los *debris flows* naturales, pero adaptados a un sistema intensamente

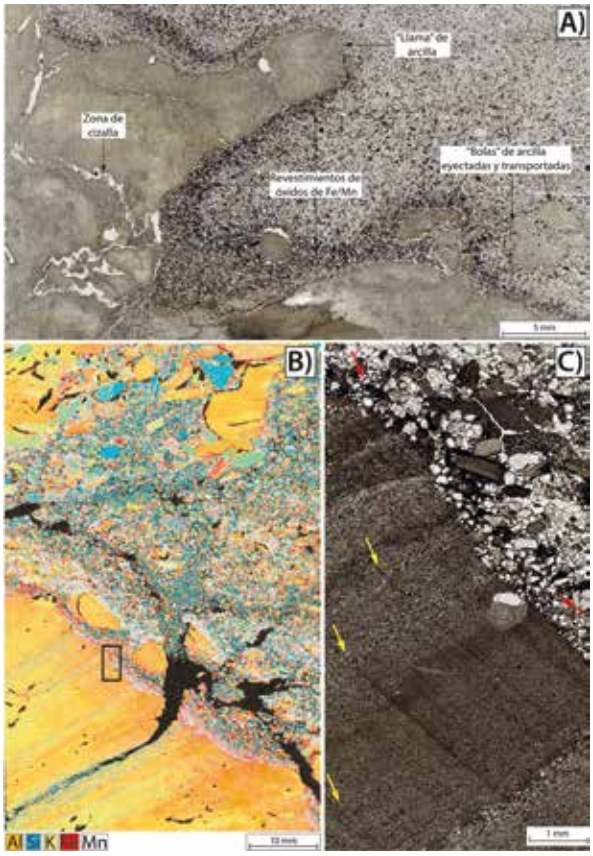


Figura 242. Microfotografías de láminas delgadas del depósito de Chaos da Cruz mostrando los revestimientos de Fe/Mn en detalle. A) Asociación de los revestimientos con otros granos. Nótese su formación en la interfaz entre las arcillas limo y arenas laminadas con la microfacies de arena masiva con gravas imbricadas. B) *mapping* de µ-XRF de la muestra 3, destacando cómo los revestimientos postdeposicionales de Fe/Mn se forman en el contacto entre microfacies, pero, además, en el depósito infrayacente siguiendo el plano erosivo. El rectángulo marca la ubicación de C) detalle de los revestimientos de Fe/Mn en la interfaz uniendo granos minerales (flechas rojas) y en el depósito infrayacente siguiendo el plano de erosión (flechas amarillas).

controlado y operado durante largos períodos. Estas técnicas mineras y estrategias de gestión hidráulica dieron lugar a un depósito de origen antrópico que reproduce de manera sorprendente las dinámicas sedimentarias propias de determinados procesos naturales. Los rasgos observados en las láminas delgadas y descritos en este trabajo son indicativos de una equifinalidad, ya que muestran una similitud notable con las estructuras formadas en un *debris flow* natural, reflejando así cómo se replicaron de forma pragmática procesos geológicos en su esfuerzo por conseguir los mejores resultados en la explotación aurífera.



Figura 243. Depósito D39 La Horta. Fotografía del perfil norte. Imagen de detalle de la secuencia con ubicación de los dos bloques micromorfológicos, el n.º 1 abajo y el n.º 2 arriba.

7.4. EL DEPÓSITO DE LA HORTA (D39)

Las ocho láminas que, consecutivamente y de abajo a arriba, conforman los dos bloques micromorfológicos del depósito de agua D39 de La Horta (figs. 243 a 245). A diferencia de Chaos da Cruz, no presentan una secuencia microlaminada, por lo que en lugar de describir muestra a muestra se describen paquetes sedimentarios que abarcan varias láminas delgadas. En este caso, se siguen las unidades estratigráficas definidas durante el trabajo de campo (apartado 6.3.5) para describir las microfacies observadas al microscopio y mediante los *mappings* de µ-XRF.

– UE10, bloque 1, muestras 1 y 2 (fig. 244): esta unidad estratigráfica, correspondiente a la Formación Médulas, constituye la base geológica en la que se excavó el depósito hidráulico de La Horta. Macroscópicamente, se caracteriza por la presencia de arcillas rojas y gravas dispuestas de manera caótica, sin una estructura sedimentaria definida. Este patrón sugiere procesos de sedimentación iniciales dominados por flujos masivos de baja organización. En el análisis microscópico, la UE10 presenta una estructura granular bien desarrollada, compuesta mayoritariamente por

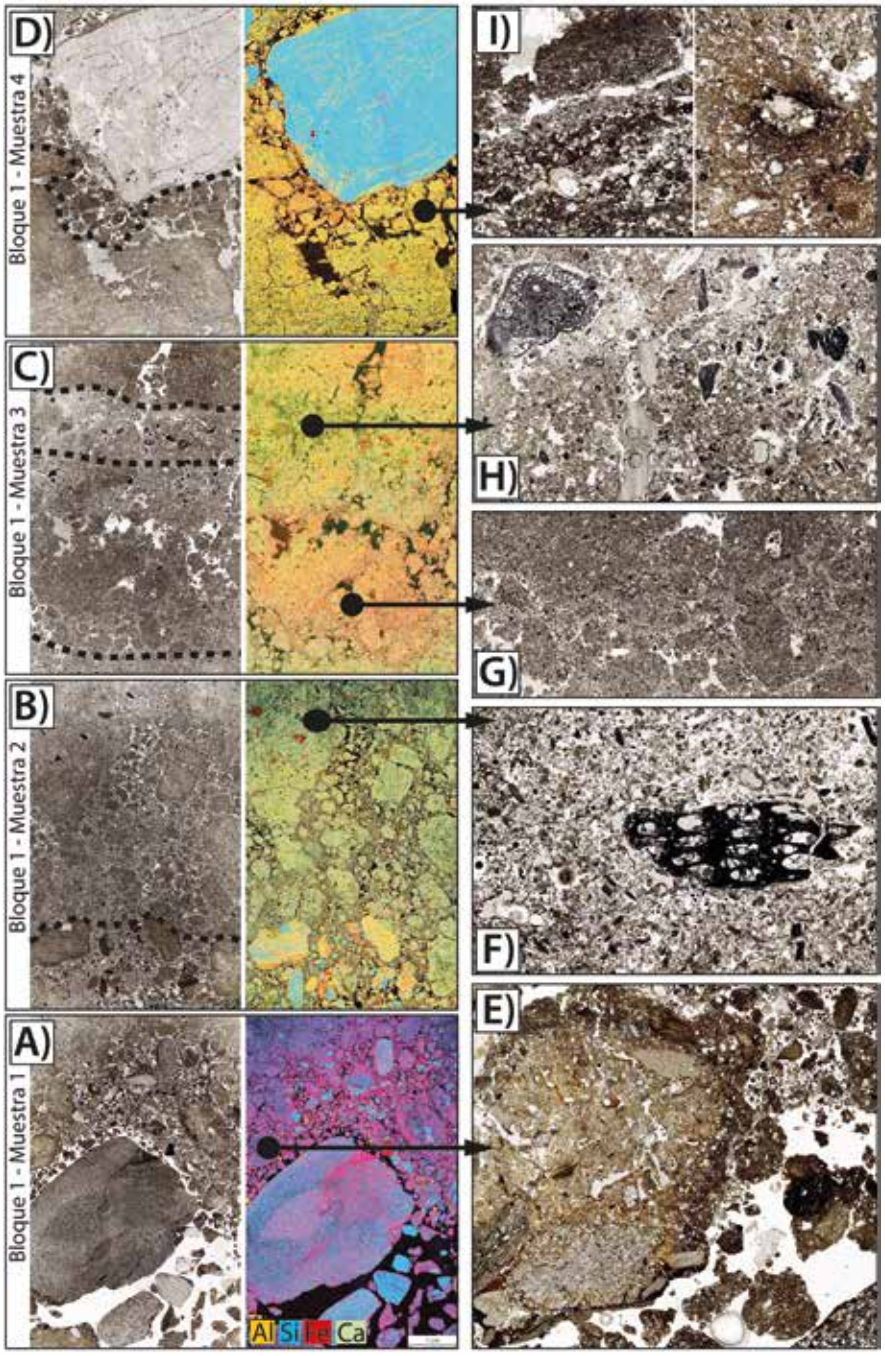


Figura 244. La Horta. A-D) Escaneos de las muestras 1-4 del bloque 1 en PPL, junto al *mapping* de µ-XRF. E) UE10, agregados de suelo heredados de la Formación Médulas. El agregado de la izquierda presenta revestimientos de arcilla fluvial. F) UE8, arenas masivas con micro y macrocarbones. G) UE8, arcilla arenosa con evidencias de bioturbación como rasgos de paso. H) UE7, arena masiva de cuarzo tamaño limo con abundantes macrocarbones. I) UE11, izquierda: laminaciones de arena fina, revestimientos de Fe/Mn y limo,derecha: nódulo intrapedal de óxidos de Fe/Mn.

agregados de suelo. Estos agregados, que incluyen revestimientos de Fe/Mn en sus superficies externas y muestras de edafogénesis previa a su deposición final, parecen haber sido erosionados directamente de horizontes edáficos bien desarrollados de la Formación Médulas, ya que algunos muestran revestimientos de arcilla iluvial en sus poros internos. La incorporación de gravas metamórficas de tamaño fino a medio refuerza la idea de que el material fue movilizado naturalmente mediante procesos de ladera.

La presencia de agregados con pedogénesis previa y su estructura masiva, además de los

revestimientos de Fe/Mn, apuntan a fluctuaciones redox postdeposicionales en el depósito. Estos ciclos de reducción y oxidación habrían consolidado las partículas finas, promoviendo la formación de agregados compactos y alterando la porosidad del depósito. Por otro lado, el alto grado de bioturbación, evidenciado por las excretas órgano-minerales observadas, sugiere una prolongada exposición del depósito a la superficie o una actividad biológica significativa durante su estabilización. Este factor habría contribuido a la alteración y reconfiguración de la estructura sedimentaria primaria, aumentando la homogeneidad del depósito en términos texturales y de porosidad.

Desde una perspectiva geomorfológica, la UE10 refleja la dinámica sedimentaria descrita de manera general para la Formación Médulas, caracterizada por depósitos aluviales y coluvionares asociados a procesos torrenciales en abanicos aluviales. La disposición caótica de gravas y arcillas, junto con la evidencia de pedogénesis previa en los agregados, refuerza la idea de que esta unidad constituye la base geológica sobre la que se desarrollaron las actividades hidráulicas de explotación aurífera. Este contexto no solo proporciona una fuente de materiales sedimentarios que fueron reorganizados por la red hidráulica romana, sino que también ofrece una ventana para entender las dinámicas sedimentarias preexistentes que condicionaron el diseño y la funcionalidad del sistema hidráulico de La Horta.

– UE8, bloque 1, muestras 2 y 3 (fig. 244): la unidad estratigráfica 8 se caracteriza macroscópicamente por limos masivos con manchas oscuras, resultado de raíces que infiltran material desde una capa superior de arcilla arenosa. Bajo el microscopio, la UE8 revela una sucesión de tres microfacies: una capa inicial de arenas masivas bien clasificadas de tamaño limo con abundantes microcarbones y algunos macrocarbones aislados; una capa intermedia de arena arcillosa masiva con evidencias de intensa bioturbación (excretas órgano-minerales, rasgos de paso y canales); y una capa superior de arenas masivas similar a la inicial. Las arenas masivas presentan una porosidad de empaquetamiento simple y carecen de laminaciones, lo que sugiere sedimentación bajo una lámina de agua somera en condiciones de flujo de baja energía. Este flujo habría mantenido un caudal lo suficientemente continuo como para movilizar partículas finas y facilitar su deposición, mientras que los microcarbones y macrocarbones, probablemente generados por procesos de combustión relacionados con las labores mineras en las cercanías, se incorporaron al sistema al ser arrastrados por el agua. Si bien los carbones suelen flotar, su saturación o pérdida de energía en el flujo podría haber favorecido su hundimiento y acumulación en el fondo.

La capa intermedia de arena arcillosa masiva, con abundantes evidencias de bioturbación, refleja un período de abandono o estabilización en el depósito, durante el cual se produjo una intensa colonización por parte de vegetación y fauna del suelo. Los canales generados por raíces, además de documentar esta colonización, facilitaron el descenso de agregados arcillosos desde la capa superior, lo que contribuyó a la reconfiguración local del sedimento. Este nivel bioturbado evidencia la interacción entre los procesos biológicos y sedimentarios que caracterizaron una fase breve en términos relativos de inactividad en la red hidráulica, cuando las condiciones permitieron la estabilización del sistema y la formación incipiente de suelo.

La UE8 muestra un patrón deposicional marcado por la alternancia entre fases de actividad hidráulica y períodos de abandono. Las arenas masivas representan episodios de flujo controlado, donde la sedimentación bajo una lámina de agua se combinó con la incorporación de carbones provenientes de combustiones cercanas. Por otro lado, la capa intermedia bioturbada destaca la capacidad del sistema para estabilizarse y adaptarse durante las fases de inactividad. Este patrón refleja un manejo del agua en la red hidráulica de La Horta donde las estrategias técnicas garantizaron ciclos de uso y abandono, integrando dinámicas naturales y procesos derivados de la actividad minera.

– UE7, bloque 1, muestra 3 (fig. 244): la unidad estratigráfica 7 se presenta como un limo gris oscuro que, al ser analizado bajo el microscopio, se distingue por una alta concentración de macrocarbones y microcarbones. Aunque comparte similitudes composicionales con la UE8, destaca por una menor

granulometría del cuarzo, lo que sugiere condiciones deposicionales diferenciadas. Este menor tamaño de grano apunta a un flujo hidráulico más suave y menos energético, que habría favorecido la sedimentación de partículas más finas en un entorno de baja energía.

La presencia abundante de carbones en el depósito indica aportes relacionados con procesos de combustión, posiblemente asociados a las labores mineras romanas, incorporados al sistema durante fases de actividad hidráulica. A diferencia de la UE8, donde los carbones flotaron y se acumularon en un flujo algo más dinámico, en la UE7 la baja energía habría permitido una sedimentación más progresiva de estos materiales, combinada con limos transportados en suspensión. Este patrón deposicional sugiere que el depósito se formó en un contexto de mayor estabilidad hidráulica.

– UE11, bloque 1, muestra 4 (fig. 244): la UE11, constituida por limos masivos de color beige anaranjado, presenta características que reflejan un ambiente dinámico de formación sedimentaria. Bajo el microscopio, se observa un limo arenoso con una estructura general alterada por bioturbación, pero que aún conserva rasgos sedimentarios originales en ciertas áreas de las láminas delgadas. Estos incluyen materia orgánica transportada, laminaciones rítmicas alternantes de arena de cuarzo y limo, revestimientos de Fe/Mn, y nódulos intrapedales de óxidos de hierro y manganeso.

Los nódulos intrapedales de Fe/Mn son indicadores clave de saturación intermitente de corta duración. Al igual que los revestimientos descritos en Chaos da Cruz, estas estructuras se forman bajo condiciones en las que el suelo experimenta ciclos rápidos de saturación y drenaje. La reducción del hierro y manganeso ocurre en presencia de agua saturada con materia orgánica, lo que facilita la disolución de estos elementos y su posterior movilización. Durante los períodos de desaturación, estos elementos se oxidan y precipitan en los poros intrapedales, formando los nódulos observados. Este patrón sugiere fluctuaciones de humedad asociadas a un sistema hidráulico sometido a drenajes rápidos o a inundaciones controladas, probablemente diseñadas para gestionar el agua en el contexto de la actividad minera romana.

– UE3, bloque 2, muestra 4 (fig. 245): bajo el microscopio, es idéntica a la UE5 descrita anteriormente.

– UE12, bloque 2, muestras 1 y 2 (fig. 245): presenta características similares a la UE9 previamente descrita, al estar compuesta por agregados de suelos con rasgos edáficos y gravas. Sin embargo, la UE12 se distingue por un buzamiento oblicuo preferencial en los materiales, un patrón que, combinado con su microestructura granular y la morfología en cuña observable en la estratigrafía, apunta a un origen antrópico intencionado relacionado con un proceso de vertido organizado del material, en el que materiales de la Formación Médulas fueron transportados y acumulados para formar una estructura funcional, posiblemente un dique o pared que delimitara o reforzara el contorno del depósito hidráulico. Los agregados de suelo, con evidencias de pedogénesis previa, indican que el material proviene de horizontes edáficos erosionados, mientras que las gravas aportan estabilidad estructural al depósito, adaptándose a las necesidades de compactación y resistencia en una obra hidráulica.

– UE5, bloque 2, muestra 3 (fig. 245): se caracteriza por estar compuesta por agregados de suelo bien desarrollados, marcados por una alta densidad de canales generados por el crecimiento de raíces. Estos canales evidencian una intensa interacción biológica postdeposicional, que alteró significativamente la estructura original del sedimento. El material inicial parece haber sido un sedimento muy fino que, debido a procesos físicos posteriores, se transformó en una matriz de arena fina con agregados de suelo de mayor tamaño. Este reacomodo del sedimento sugiere un entorno dinámico donde procesos biológicos y físicos interactuaron para reconfigurar la estructura del depósito.

7.5. LOS DEPÓSITOS DE AGUA Y EL USO DIFERENCIAL DE LA FUERZA HIDRÁULICA

Las conclusiones del análisis comparativo de los depósitos de La Horta (D39) y Chaos da Cruz (D19) resaltan tanto similitudes como diferencias en los procesos formativos y su funcionalidad dentro de

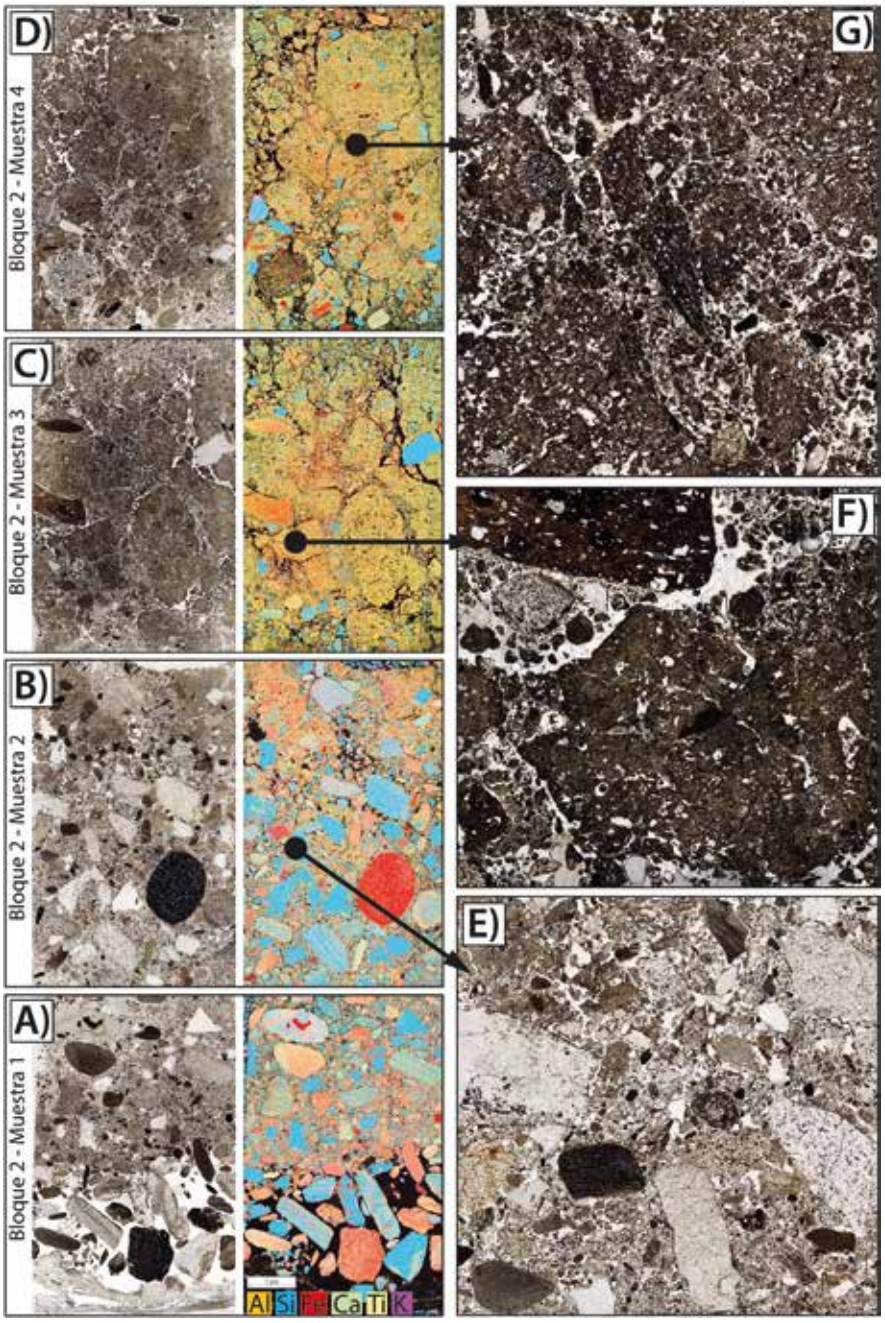


Figura 245. La Horta. A-D) Escaneos de las muestras 1-4 del bloque 1 en PPL, junto al *mapping* de µ-XRF. E) Gravas y agregados de suelos con estructura granular y buzamiento. F) Agregados de limos con abundantes canales y rasgos de bioturbación en una matriz de arenas que contienen fragmentos de cerámica. G) Agregados de limos bioturbados en una matriz de arenas.

la red hidráulica de Las Médulas. Ambos depósitos presentan rasgos microestratigráficos que permiten identificar estructuras sedimentarias relacionadas con flujos masivos de materiales, como *debris flows,* flujos laminares y caóticos, además de fases de calma hidráulica asociadas a la sedimentación controlada de partículas finas. Estas características reflejan no solo las condiciones dinámicas de formación, sino también las estrategias específicas de gestión del agua diseñadas para optimizar las labores mineras. En este contexto, las técnicas de análisis microestratigráfico como la micromorfología y la µ-XRF se convierten en una herramienta esencial para identificar procesos antropogénicos específicos en el manejo de sedimentos.

El análisis comparativo subraya que, si bien ambos depósitos se formaron bajo principios generales similares, las decisiones tecnológicas y el manejo hidráulico diferían en función de las necesidades operativas de cada uno. En el primer caso analizado, la secuencia micromorfológica de D19, Chaos da Cruz, permite ver con claridad episodios diferentes de sedimentación, que combinan materiales gruesos y finos e incluso dejan lugar a efectos muy marcados de carácter posdeposicional, de forma que también apuntan hacia una duración relativamente larga de su uso. En el segundo, en D39, La Horta, la secuencia revela una acumulación de partículas en general más finas, lo que implica una regulación cuidadosa del flujo de abastecimiento e incluso un mantenimiento en estado de uso, sin apenas hiatos duraderos de interrupción, aunque si con algunos momentos de inactividad.

Estos patrones deposicionales y las estrategias asociadas evidencian cómo en las labores romanas se aprovecharon los principios sedimentarios naturales para reproducir procesos como los *debris flows* y el flujo laminar, así como controlarlos de manera intencionada dentro de un sistema hidráulico antropogénico. Los rasgos observados a nivel microscópico, como laminaciones, pliegues disarmónicos, hidrofracturas y revestimientos de Fe/Mn, tienen equivalentes claros en la macroescala, lo que los convierte en indicadores clave para comprender tanto la dinámica sedimentaria como las decisiones tecnológicas subyacentes. Estos hallazgos demuestran que la micromorfología no solo proporciona una visión de alta resolución de los procesos sedimentarios y postdeposicionales, sino que también ofrece información crítica para reconstruir el funcionamiento operativo de la red hidráulica de Las Médulas, un sistema que combinaba la tecnología romana con la adaptación a las condiciones geológicas locales para maximizar la eficiencia de la explotación aurífera.

8 *La evacuación y acumulación de los estériles*

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Brais X. Currás
Instituto de Historia del CSIC

Juan Luis Pecharromán
Instituto de Historia del CSIC

Cuando Plinio el Viejo inicia los últimos párrafos que dedica a los procedimientos de su época para encontrar el preciado oro, dice que: «En el llano queda todavía otro trabajo», y a continuación hace una descripción de los canales de lavado o «ágogas», estructuras fundamentales para conseguir la decantación del oro. Pero no se detiene ahí, sino que finaliza ese párrafo diciendo: «Así la tierra fluye y se desliza hacia el mar y el monte derrumbado se diluye, e Hispania ya ha arrojado tierras a lo lejos en el mar por estas causas» (Plin., *HN,* XXXIII 76). De los canales de lavado o *agogae* solo podemos documentar su emplazamiento, las *fossae* excavadas donde se colocaban, puesto que, como dice el naturalista, estaban hechas de madera y sería realmente sorprendente encontrar algo de ellas. Ahora bien, del «monte derrumbado que es diluido» sí que quedaron importantes trazas sobre el terreno: las grandes acumulaciones de estériles agrupados en auténticas colas de lavado o conos de deyección. También quedaron los canales por donde ese flujo de material deshecho y lavado circuló antes de sedimentarse, que forman los canales de evacuación de estériles. En el caso de Las Médulas tuvieron y tienen una importancia muy grande, de forma que su presencia ha contribuido notablemente a configurar el paisaje cultural e incluso los usos del suelo de la zona hasta la actualidad.

8.1. LOS CANALES DE EVACUACIÓN DE ESTÉRILES

Se trata de unas estructuras mineras sin las que el avance de la explotación hubiese sido imposible. Dar salida al estéril hasta las colas de lavado adquirió una gran relevancia en Las Médulas, de modo que si era preciso se cortaba la roca para conseguir ese paso.

No obstante, en un primer momento, la evacuación del material estéril no supuso un gran problema. En el sector 1 (fig. 246), siete de los diez canales de evacuación arrojaron el estéril en el sentido de la pendiente, es decir, hacia el actual pueblo y lago de Carucedo, iniciando la cola de lavado E1 y cubriendo con ello zonas previamente explotadas, de forma que apenas pueden verse las primeras labores. Pero otros tres

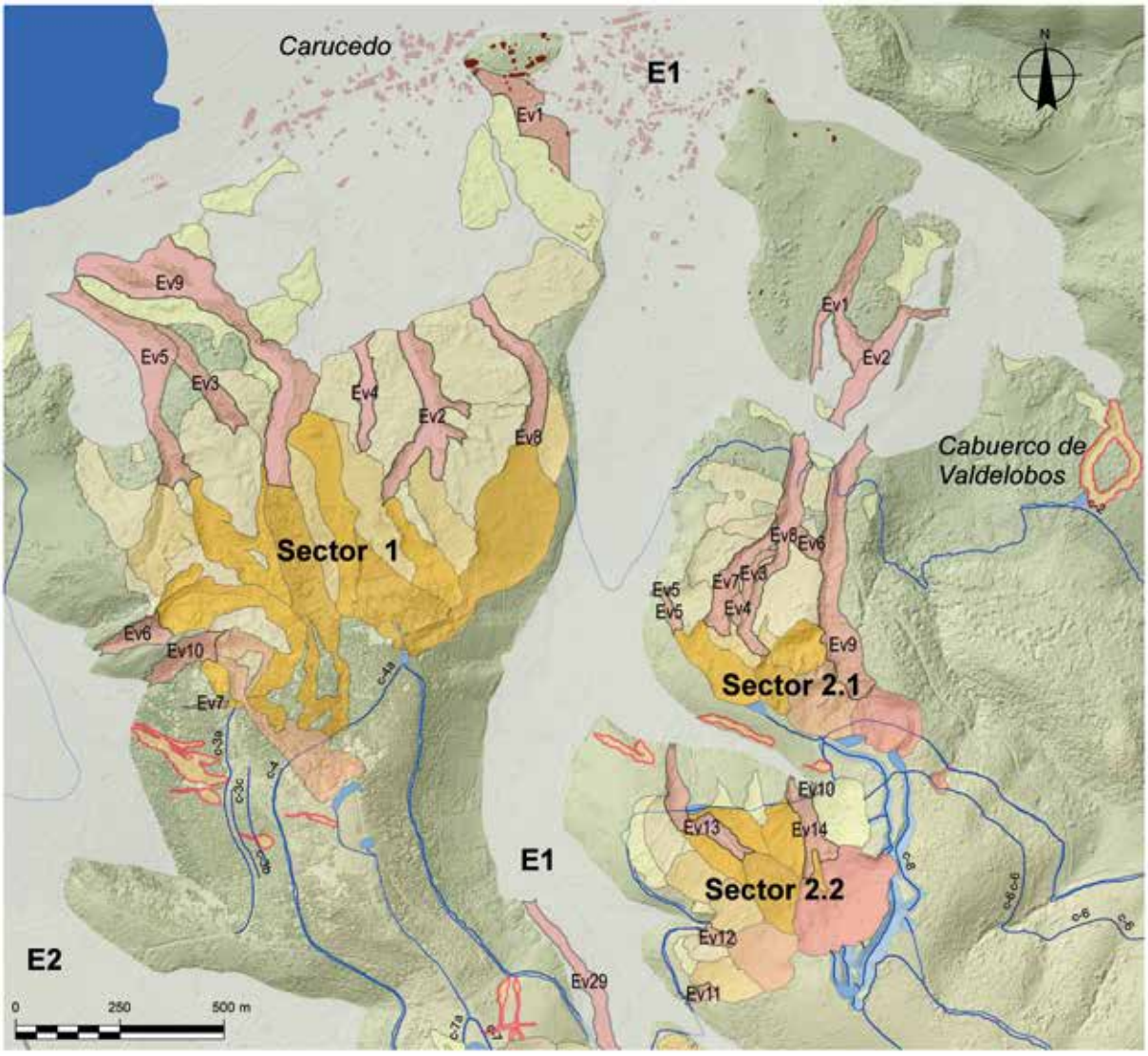


Figura 246. Canales de evacuación de los Sectores 1, 2.1 y 2.2 de Las Médulas.

tuvieron que iniciar ya el relleno de la cola de lavado de Chaos de Maseiros, E2. Estos últimos implicaron también, por primera vez con esta finalidad, una importante remoción de material estéril, en este caso del *barrollo* rojo de la Formación Orellán (fig. 247).

En el sector 2.1 también se inició la acumulación de estériles como en el sector 1, es decir directamente hacia el norte, en el sentido de la pendiente, cubriendo parte del curso del arroyo de Isorga y hacia el lago de Carucedo. Pero ya en las últimas fases del sector 2.1, el canal Ev5, y en todos los casos del sector 2.2, los canales Ev10 a Ev15, tuvieron que arrojar los estériles hacia el oeste, rompiendo también retazos de la Formación Orellán e iniciando los depósitos en la cola de lavado de La Brea, E1 (fig. 246).

La evacuación de estériles se volvió más compleja cuando se alcanzaron los grandes recubrimientos de la Formación Las Médulas, es decir, a partir del sector 3.5 de Pico Gallegos (fig. 248). En estos momentos las acumulaciones de material desechado en La Brea, la cola de lavado E1 (fig. 249), debieron de alcanzar cotas muy importantes, de modo que el



Figura 247. Canal de evacuación Ev6, Caborco do Barro, del Sector 1.

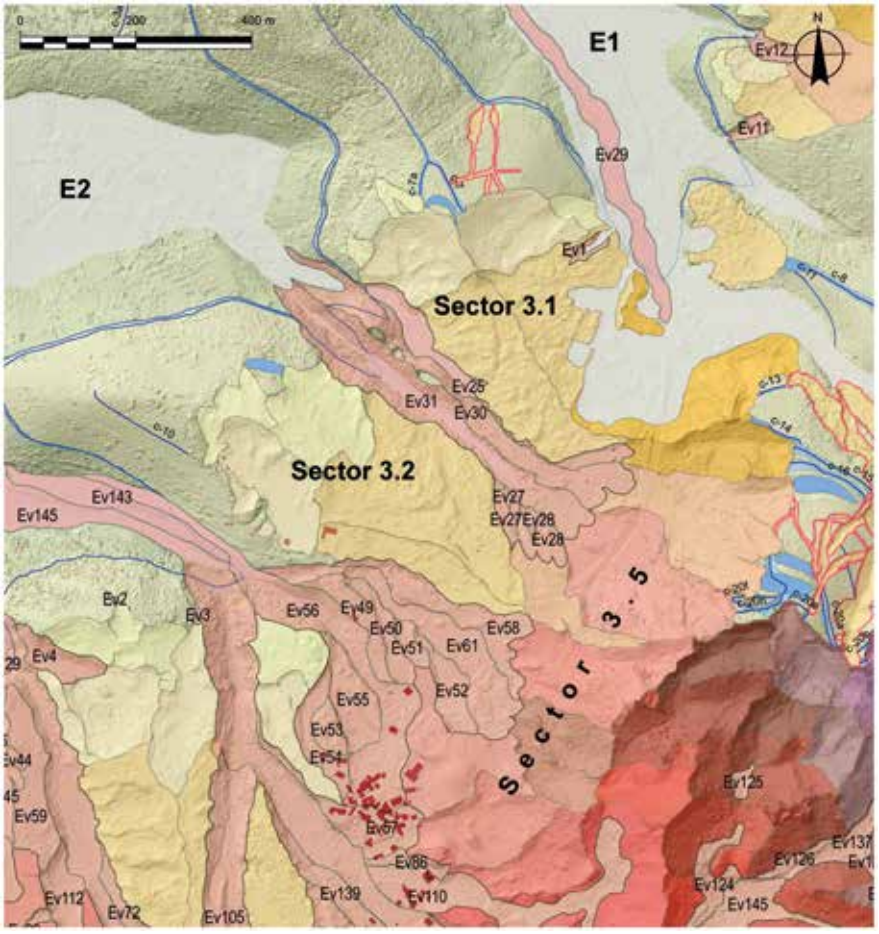


Figura 248. Canales de evacuación de los sectores 3.1, 3.2 y 3.5.

canal Ev29 tuvo que labrarse sobre los propios estériles previamente depositados (fig. 248) y, a la postre, la falta de la necesaria pendiente para evacuar en ese sentido hizo que se cambiase de dirección y se evacuase la gran mayoría del sector 3.5 hacia el noroeste, o sea, hacia Chaos de Maseiros, la cola de lavado E2.



Figura 249. Cola de lavado de La Brea, E1. Foto aérea desde el sur.

En los sectores 3.3 y 3.4 (fig. 250), la tónica fue la misma en general que en 3.1 y 3.2, ya que el material de recubrimiento era aún poco potente y se podía verter directamente hacia el norte, hacia E2. No obstante, ya en 3.4 se abre otro frente de evacuación, E3, en dirección hacia el oeste, hacia La Balouta (fig. 250).

Las colas de lavado que van en esta última dirección son fieles reflejos de la complejidad que adquirió en Las Médulas la evacuación de los estériles. En un principio, los estériles de las labores más occidentales del sector 3.4, así como las primeras fases del sector 3.6 e incluso del 3.7, fueron formando las colas de lavado de O Val y de La Balouta y acabaron evacuando estériles finos en dirección al Sil por la zona de Salas de la Ribera, a través del estrecho paso del Valgón da Balouta.

Pero el Valgón da Balouta describía un ángulo de 90 grados en su extremo occidental (fig. 251), lo que causó sin duda una colmatación e inutilización de esa salida. La solución fue la construcción de un túnel artificial de evacuación de estériles que atravesaba el monte que finaliza en O Teso, por debajo del trazado actual del Camino Real. Este túnel es conocido hoy como Cova da Palombeira y ha sido considerado tradicionalmente una mina de hierro. Efectivamente, atraviesa una vena ferruginosa entre las calizas y los esquistos de la zona, pero su antiguo trazado, visible en la zona superior de la cueva (fig. 252), responde solo a la necesidad de evacuar los estériles.

Este túnel de La Palombeira es la única estructura, totalmente artificial y obra minera romana, que puede justificar la extensión de la cola de lavado E3 en su tramo de Carrascaes hasta 500 m por encima del arroyo de La Balouta, que es el único desagüe natural de la zona, puesto que los canales de salida del sector 3.7 de Pedrices no vierten en esa dirección, sino hacia el pueblo de Balouta o ya en dirección sur, hacia el Cabrera. La profundidad actual de la oquedad (fig. 252) se debe sin duda a la erosión causada por el paso de corrientes de agua a lo largo de dieciocho siglos de abandono, pero la única parte original es la superior, que conserva la impronta abovedada de su primitiva factura. La entrada al túnel desde el pueblo de Balouta ha quedado totalmente colapsada e irreconocible con el paso del tiempo, lo que ha contribuido a su consideración como una cueva o como una mina de hierro.

Hay otro tramo de túnel para evacuación de estériles en Las Médulas, es el de la llamada Cova o Pena Coneja (fig. 253), que se sitúa en el canal de evacuación Ev55, que pudo servir también para Ev54, pero que quedó cortado por Ev56, todos ellos procedentes de las labores más occidentales del sector 3.5. Obviamente, como es razonable por su corto uso, no alcanza la envergadura ni la importancia que tuvo el túnel de La Palombeira. En él también es perfectamente visible el trazado original que poseía, de sección ligeramente trapezoidal y redondeada en la parte superior.

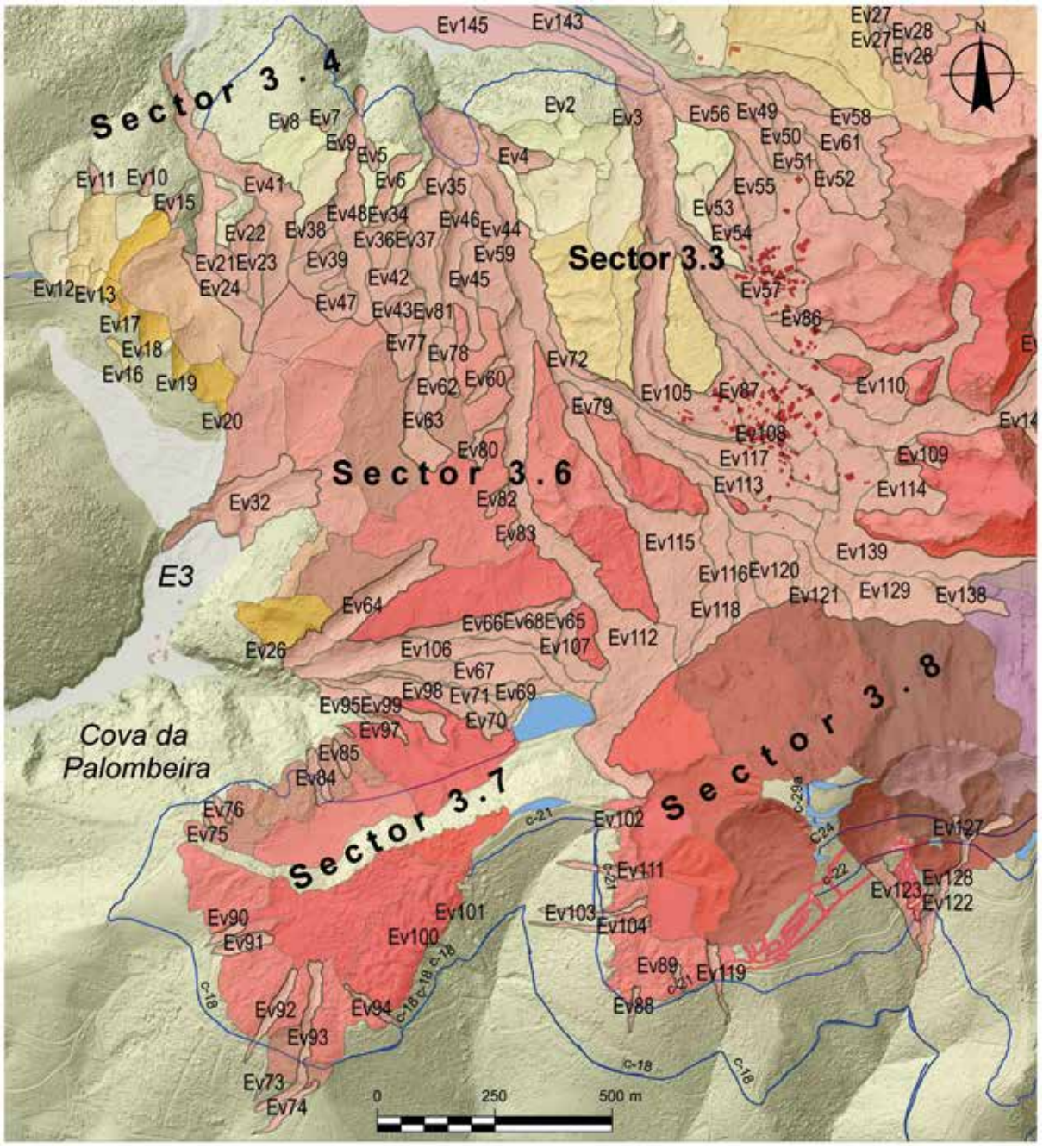


Figura 250. Canales de evacuación de los sectores 3.3, 3.4 y 3.6 a 3.8.

Las labores meridionales del sector 3.7 (fig. 250) dieron lugar al inicio de dos nuevas colas de lavado, la de Valdebría, E4 (figs. 261 y 265), a través de los canales de evacuación Ev73-74 y Ev90 a Ev93, y la de Yeres, E5 (fig, 261 y 266) a través de los canales de evacuación Ev94 y Ev100-101. La última de estas colas se debió incrementar notablemente con los estériles aportados desde el sector 3.8 (fig. 250) y más aun con los que llegaron desde el 3.9 (fig. 254), que vertió ya todo el material de desecho en esa dirección.

En fin, la entrada en funcionamiento del sector 3.10 supuso la creación de la última cola de lavado,

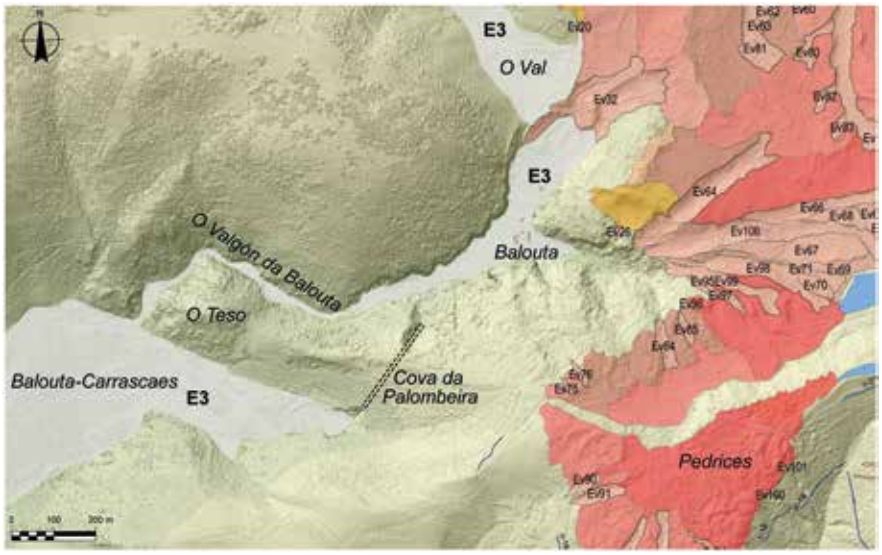


Figura 251. Situación del túnel de evacuación de estériles de La Palombeira y de las colas de lavado E3 de O Val, Balouta, O Valgón da Balouta y Balouta-Carrascaes.



Figura 252. Interior desde el este del túnel de evacuación de estériles de A Palombeira. En lo alto, se aprecia la impronta abovedada del túnel original.

la E6 de Val da Mola, vertiente hacia el este, hacia el arroyo Isorga (figs. 261 y 267).

Pero el problema de la evacuación de estériles alcanzó su cenit cuando se practicaron los procedimientos de explotación extensivos, especialmente los llevados a cabo por cortas de minado o *ruinae montium*. Ya durante las fases avanzadas del sector 3.8, tuvieron que abandonarse los vertidos de estériles en dirección oeste, hacia E3, sin duda por falta de suficiente pendiente y también, seguramente, a causa



Figura 253. Interior desde el sur del túnel de evacuación de estériles de Cova o Pena Coneja, con la impronta abovedada del túnel original en la parte alta.

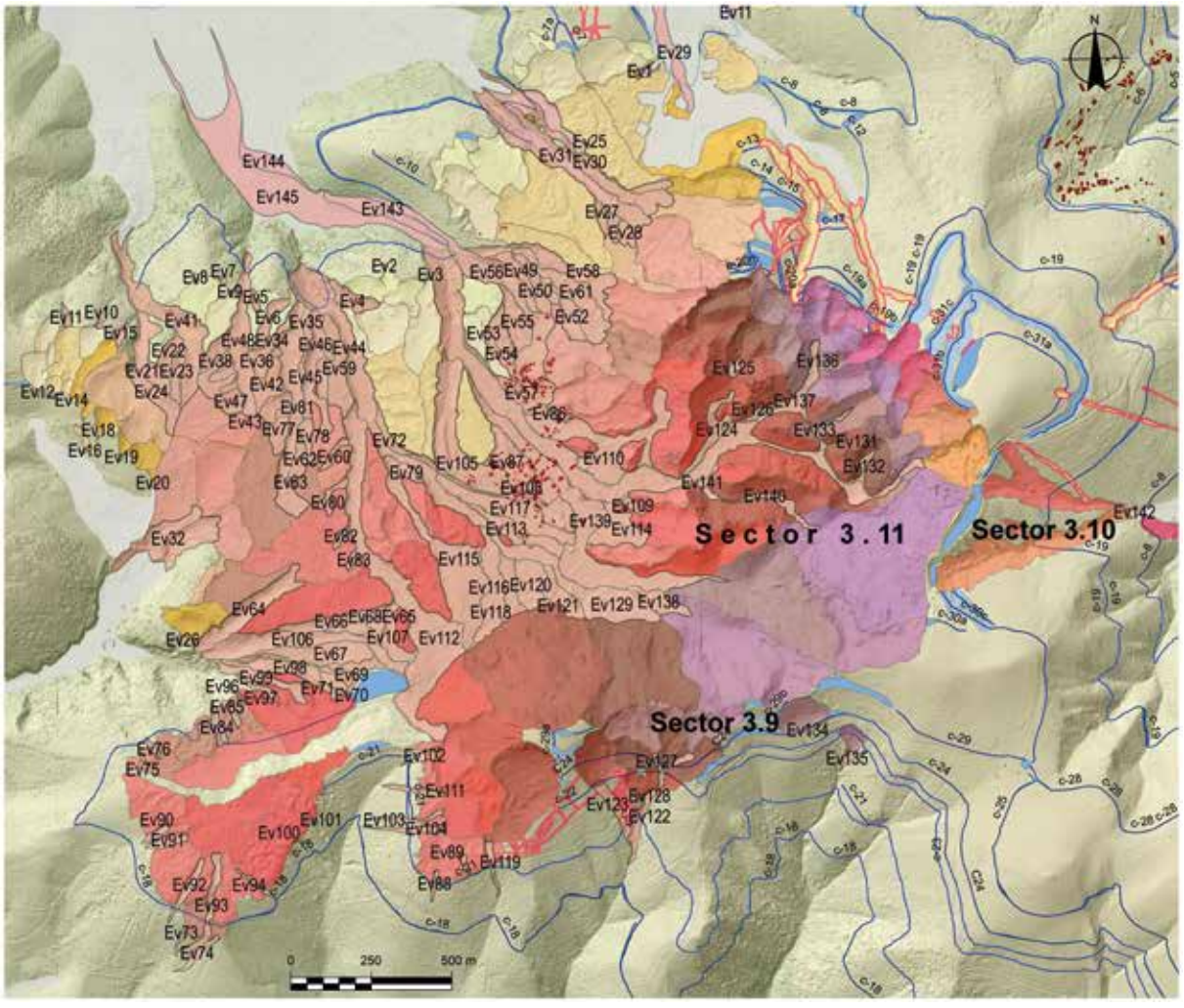


Figura 254. Canales de evacuación de los sectores 3.9, 3.10 y 3.11.

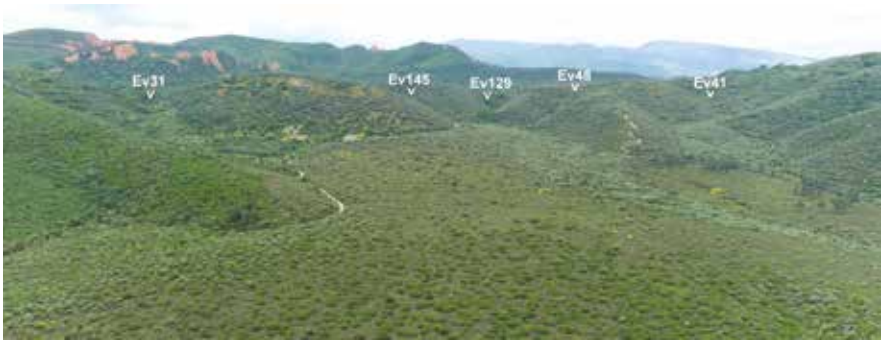


Figura 255. Panorámica de la parte alta de la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros, indicando las salidas de los principales canales de evacuación (Ev…).

Figura 256. Los muriacales de La Balouta, foto aérea desde el sur.



del embudo que suponía el túnel de La Palombeira. El cambio se produjo de forma definitiva con el canal de evacuación Ev112. Esto también afectó a la dirección de los vertidos hacia el norte. La pendiente por lago Somido, a través de Ev48, era insuficiente y por ello se tuvo que profundizar inmediatamente más al este, por donde ya habían ido los canales de evacuación Ev44, Ev45 y Ev46; es decir, por Llagua Rubia a través de Ev81, y por Pinzáis a través de Ev112.

El avance de la explotación hacia el este y el progresivo aumento de la potencia del conglomerado de la Formación Médulas hicieron que los canales de evacuación también se fuesen moviendo cada vez más hacia el este. El último canal de evacuación que sale por la zona de Pinzáis es el Ev117 (fig. 254), que quizá proceda ya de las labores realizadas en unas primeras fases en el sector 3.11, que habrían sido totalmente eliminadas por el avance posterior. En cualquier caso, los grandes canales de evacuación del sector 3.11, desde Ev110, que viene del Covallón, hasta Ev145, que viene de los últimos trabajos bajo el mirador de Orellán, evacúan los estériles por la salida que a través del pueblo de Las Médulas va a dar a A Veiga, es decir, la salida central hacia Chaos de Maseiros, E2 (figs. 254 y 255).

8.2. LAS MURIAS O ACUMULACIONES DE ESTÉRILES GRUESOS

La fracción más gruesa de los cantos rodados que formaban el conglomerado aurífero no podía pasar por el canal de lavado o *agoga*, so pena de atorarlo o incluso destruirlo, de ahí que se acumulasen los cantos ordenadamente en una posición anterior al lugar de



Figura 257. Murias del sector 2.1, en la parte norte de Valialonga.



Figura 258. Panorámica aérea desde el oeste de las murias del sector 3.7, en Las Pedrices.

su emplazamiento, de ahí su denominación genérica como *murias*, que posee en último término la misma raíz que muro y que indica ese proceso de colocación en orden, sistemáticamente. En muchos casos, la altura de las murias (fig. 256) obliga a pensar en la utilización de poleas o polipastos movidas por fuerza animal o humana.

El mayor o menor tamaño de los montones de cantos rodados o murias depende lógicamente de la granulometría que poseía el conglomerado en las diversas zonas según las formaciones geológicas afectadas, de forma que, en general, puede decirse que, a mayor tamaño y cantidad de cantos rodados, mayor es también la ley del conglomerado tratado. La Formación Santalla es la que poseía una granulometría más elevada y el volumen de material removido varía mucho de un punto a otro. Así, en la zona más septentrional del sector 2.1, en las labores 2.1 a 2.7, se explotaron mediante el sistema selectivo de surcos convergentes terrenos correspondientes a la Formación Santalla, pero su potencia media estaba en torno a unos 4 m, por ello las murias que se aprecian sobre el terreno no son ni muy numerosas ni, sobre todo, de un tamaño considerable (fig. 257). Sin embargo, en la zona de Pedrices, donde se explotó la misma formación, la potencia media y la granulometría debió de ser bastante más elevada por la envergadura de las murias allí acumuladas (fig. 258).

En último término, la importancia de la situación de las murias también radica en la posibilidad de determinar a través de ellas cuál era la posición que podían ocupar los canales de lavado o *agogae*. Los cantos rodados debían apilarse en un lugar anterior a la posición que ocupase el canal de lavado hecho de madera, ya que no podían pasar por él so pena de atorarlo y destruirlo con su elevado peso y volumen. Tal es el caso de las murias de Llagua de Yeres o Llaguaderes, cuyos montones aparecen colocados sistemáticamente antes de los canales de evacuación, en cuyo fondo, antes de iniciarse la pendiente, estarían las ágogas (fig. 259).

Las murias se disponen de una forma muy específica en el procedimiento de explotación selectivo mediante series de surcos convergentes. Dado que se trata de una técnica que persigue la remoción exhaustiva del conglomerado por tener una ley de oro elevada, como es el caso en la Formación Santalla, los operarios iban soltando desde el canal emisario el agua sucesivamente sobre unos surcos que convergían en el canal de lavado o *agoga*; iban apartando los cantos rodados con instrumentos y a mano y apilándolos a un lado en la zona que ya había sido trabajada, de modo que se formaban unas alineaciones bastantes regulares de esos estériles más gruesos, produciendo el efecto de un campo que hubiese sido roturado con un enorme arado. Como ya se ha indicado en el apartado 3.1, ese es el caso en Las Médulas de las zonas más ricas donde aparecía la Formación Santalla que se explotaron de esa forma selectiva, como ocurre en el sector 2.1 de La Frisga,



Figura 259. Panorámica aérea desde el oeste de los sectores de explotación y canales de evacuación (entre montones de cantos rodados o murias) del sector 3.7 de Llagúa de Yeres.

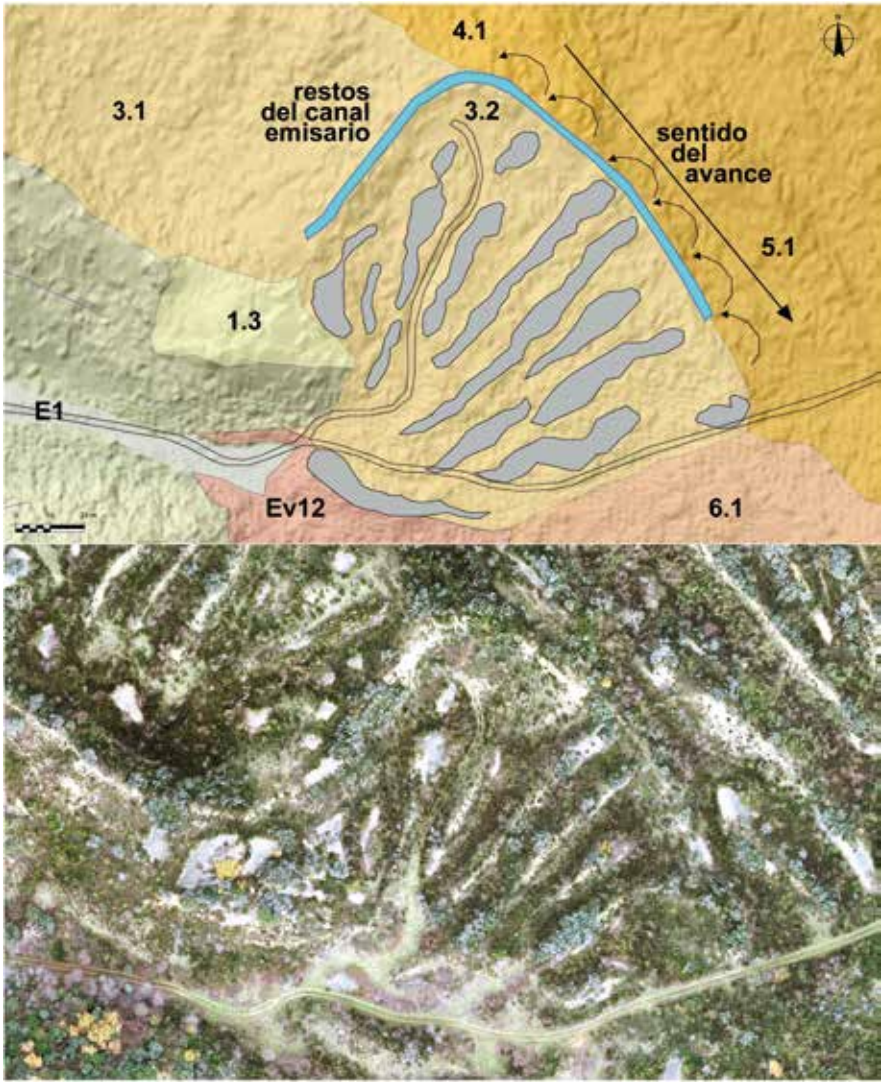


Figura 260. Ortofoto (dron 2022, EST-AP, IH del CSIC) de la labor 3.2 del sector 2.2 de La Frisga. Esquema de la explotación mediante series de surcos convergentes: las flechas pequeñas indican como se forman las “murias”.

donde prácticamente todas las labores son de este tipo (fig. 260).

8.3. LAS COLAS DE LAVADO O ACUMULACIONES DE ESTÉRILES FINOS (FIG. 261)

A lo largo de los dos siglos aproximados de explotación aurífera, en Las Médulas se fueron formando seis colas de lavado donde se acumularon los estériles más finos procedentes de la mina. Por el orden sucesivo en que se iniciaron, son las siguientes:

– Cola de lavado o acumulación de estériles E1 de La Brea - Carucedo (fig. 249). Es el segundo cono de deyección o cola de lavado en importancia dentro del conjunto de Las Médulas. Fue el primero en recibir los aportes de estériles, procedentes del sector 1 y posteriormente se fue incrementando en sentido lineal, de norte a sur, gracias a los aportes que fue recibiendo sucesivamente desde el sector 2.1 de Valialonga y, sobre todo, del 2.2 de la Frisga. Finalmente, recibió una parte de los estériles generados en el sector 3.1 y 3.5. La cola de lavado llenó un antiguo valle, relleno que ha servido con el paso del tiempo para articular el territorio, de forma que tanto el antiguo Camino Real como la actual carretera hacia Las Médulas transcurren a través de ella. De hecho, el topónimo *Brea* puede ser una corrupción de *vereda*. Su topografía solo ha sido transformada de forma sustancial en el extremo norte, donde se encuentra el caserío de Carucedo y los cultivos inmediatos a él. Su innegable importancia, como testimonio de las alteraciones producidas por la actividad minera antigua, se ve acrecentada por el papel articulador que ha desempeñado a lo largo del tiempo.

– Cola de lavado o acumulación de estériles E2 de Chaos de Maseiros (fig. 262). Es el principal cono de deyección de estériles de todos los existentes en el entorno de la mina romana. Hacia él se evacuaron la gran mayoría de los estériles más finos del sector principal, el 3, de forma que el antiguo valle, en realidad un doble valle separado por una pequeña loma, quedó totalmente relleno por ellos y se originó así, paulatina y no intencionalmente, el lago de Carucedo.

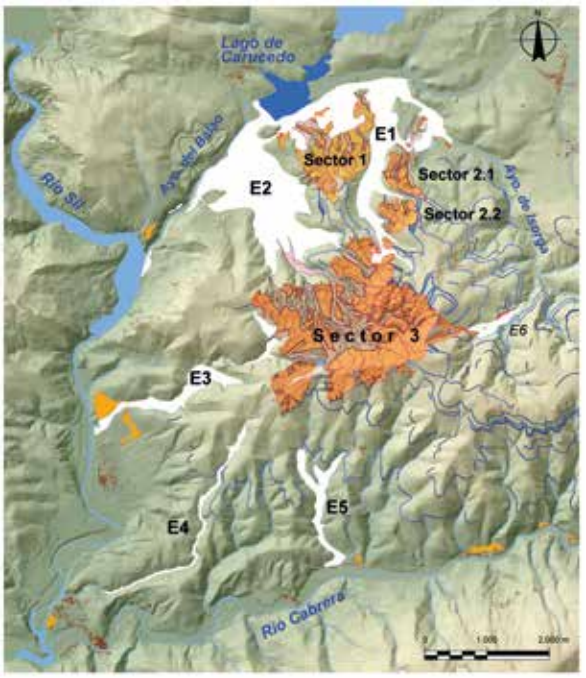


Figura 261. Colas de lavado o sectores de estériles finos de Las Médulas.



Figura 262. Cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros, panorámica aérea desde el sur. Al fondo, el lago de Carucedo.

Los sondeos geofísicos realizados sobre la acumulación de los estériles han permitido cubicarlos y reconstruir la topografía original del terreno (Sánchez-Palencia *et al.* 2000; ver los resultados del sondeo geofísico en el apartado 10.1, figs. 330 y 331). También ha servido para ello el corte de los propios estériles por el arroyo emisario del lago, el arroyo del Ba-

lao (fig. 263), que va a desembocar en el Sil, en el embalse de Peñarrubia. Se puede estimar así con bastante exactitud que el volumen total de estériles es de unos 48,75 millones de metros cúbicos (Sánchez-Palencia *et al.* 2000; Sánchez-Palencia y Pérez 2000b, fig. 263), más de la mitad de la cantidad total que generó la mina de oro. Frente a la antigua cantera de Catisa alcanzan una potencia máxima de algo más de 40 m.

Los estériles se fueron acumulando a lo largo de casi todo el tiempo que estuvo en explotación la mina, en flujos sucesivos, pero no necesariamente continuos. Por ello, a lo largo de su superficie actual pueden apreciarse las terrazas que se formaron al erosionar las nuevas corrientes de estériles a los que habían sido depositados previamente. Estas mismas huellas son las que permiten establecer una secuencia relativa y determinar aproximadamente la procedencia de cada una de las colas de lavado. Aunque la topografía es casi la misma que la generada en época romana, aparte de la mencionada erosión causada por el arroyo del Balao, las únicas transformaciones en época reciente se han debido a la utilización parcial del extremo noroeste del cono para balsas de decantación de la cantera próxima, así como para instalar en su superficie algunas plantas industriales de forma temporal. Es recorrido también en su mitad norte por varios tendidos eléctricos de alta tensión, instalados allí desde hace mucho tiempo. Ese mismo extremo fue plantado parcialmente con una repoblación de pinos que, obviamente, no supone ningún detrimento para su conservación.

La cola de Lavado de E2 de Chaos de Maseiros es uno de los elementos principales del conjunto minero de Las Médulas, así como una evidencia de primer orden de las transformaciones que generó, casi equivalente en importancia a los propios vaciados mineros. Desde un punto de vista documental, es la estructura más fiable para valorar y cubicar la mina de oro antigua.

– Cola de lavado o acumulación de estériles E3 de Carrascaes-Balouta (fig. 264). La evacuación de buena parte de los estériles procedentes de la zona más occidental del sector 3 se llevó a cabo también en dirección hacia el inmediato oeste, hacia el río Sil



Figura 263. Retazo de la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros cortado por el arroyo del Balao, panorámica aérea desde el suroeste.

a la altura del actual pueblo de Salas. En primer lugar, se acumularon prácticamente a pie de mina, en lo que hoy es el Val y donde se asentó la pequeña aldea de Balouta. Aquí se depositaron buena parte de los estériles procedentes del sector 3.4 de la mina de oro. No obstante, la hoz en forma de codo que describe el Valgón da Balouta a unos 1000 m por debajo de la mina debió de quedar atorada por los primeros vertidos, por lo que los mineros romanos tuvieron que excavar el túnel conocido como Cova da Palombeira para establecer una nueva salida que obviase ese obstáculo. Esto explica que el cono más importante comience en el lugar de Carrascaes, un valle que no tiene vertiente directa desde la mina y situado inmediatamente al sur del barranco. Las acumulaciones de estériles se extienden así entre el pueblo de La Balouta y el propio río Sil aguas arriba de Salas de la Ribera (figs. 261 y 264).

Es el tercer cono de deyección en importancia de la mina, aunque no es abarcable en su conjunto más que desde zonas relativamente altas y lejanas, en particular desde los altos que dominan, ya en territorio gallego, la margen derecha del Sil por encima de Pardellán. Uno de los mejores puntos de observación es desde el alto donde se sitúa la cueva de La Palombeira, para el sector de Carrascaes, o desde encima del caserío de La Balouta, para el del barranco (fig. 264).

– Cola de lavado o acumulación de estériles E4 del arroyo de Valdebría (fig. 265). Se trata de una pequeña cola de lavado que rellenó el valle del mis-



Figura 264. Cola de lavado E3 de Carrascaes-Balouta, panorámica aérea desde el este. En primer término, el hueco correspondiente al derrumbe de la entrada del túnel de evacuación de estériles de Cova da Palombeira, a continuación, el codo que describe el arroyo de Balouta, parcialmente relleno de estériles,más adelante y en el centro, la cola de lavado de Carrascaes-Balouta, al fondo, Salas de la Ribera, en el valle del río Sil.

mo nombre con los estériles procedentes del sector 3.7 que vierte hacia el Sil, es decir, de la zona de Las Pedrices. Se extiende prácticamente desde el pie de las últimas labores por el suroeste de la mina hasta alcanzar casi el Sil en la desembocadura del arroyo de Valdebría, sobre las primeras casas de Puente de Domingo Flórez. Su topografía está prácticamente intacta, ya que se trata de un paraje apenas transitado.

– Cola de lavado o acumulación de estériles E5 de Yeres (fig. 266). Es la única cola de lavado que vierte los estériles de la mina en dirección al río Cabrera. En ella se acumulan los materiales desechados procedentes de las varias cortas del Barreiro, Reirigo (sector 3.9) y Llagua de Yeres (sector 3.8), así como de parte de Las Pedrices (sector 3.7). Se extiende en una triple cabecera desde los aledaños del pueblo de Yeres, a lo largo de los arroyos del Boqueirón y de Rebordelo, hasta las inmediaciones del pueblo de Vega de Yeres. Su superficie llana y en pendiente la hace perfectamente reconocible como un relleno artificial sobre el primitivo valle. Está cubierta de un espeso monte bajo en su parte más alta y por algunas manchas de castaño en la baja. A lo largo del tiempo ha servido de acceso para llegar hasta el caserío de Yeres, cuya carretera transcurre en la actualidad por encima de los estériles. Como las demás estructuras de este



Figura 265. Cola de lavado E4 de Valdebría, tramo final más cercano a Puente de Domingo Flórez visto desde el sur.

tipo es un excelente testimonio de la transformación topográfica de la zona a raíz de la minería romana.

– Cola de lavado o acumulación de estériles E6 de Val da Mola (fig. 267). En Val da Mola, un pequeño valle al pie de la mina por el sureste, se formó la cola de lavado con los estériles procedentes de las labores del sector 3.10, La Furnia y El Couso. Aunque es la más pequeña de todas las acumulaciones, es sin embargo una de las más claras por su posición y visibilidad. Alcanza poco más de un kilómetro de extensión y unos doscientos metros de anchura máxima. Está muy poco erosionada por dos de los regatos o torren-



Figura 266. Cola de lavado E5 de Yeres, vista desde el sur. En primer término, el pueblo de Vega de Yeres.



Figura 267. Cola de lavado E6 de Val da Mola, vista desde el este.

tes que dan origen al arroyo de Isorga. En su zona más alta está parcialmente plantada de castaños. Es de particular interés por ser la única acumulación de estériles visible desde el mirador de Orellán, de forma que puede proporcionar al visitante una imagen de este tipo de estructuras mineras, algo imposible hacia el sector principal de la mina. Por otro lado, la patente artificialidad de la pequeña llanura que forma, tan próxima como está al nacimiento de los arroyos, es un ejemplo por sí mismo evidente de la huella de la actividad minera sobre el paisaje.

8.4. SECUENCIA RELATIVA Y EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE ESTÉRILES

En definitiva, existe una clara secuencia relativa de las colas de lavado y acumulaciones de estériles. Se inició con el vertido a través de E1 de los proceden-

N.º	Nombre	Superficie (m^2)	Volumen (m^3)
E1	La Brea - Carucedo	1.868.859	16.714.746
E2	Chaos de Maseiros	2.560.807	48.743.395
E3	Carrascaes - Balouta	616.084	7.020.221
E4	Valdebría	160.306	620.394
E5	Yeres	421.300	5.548.521
E6	Val da Mola	83.954	324.902
Total		5.711.310	78.972.179

Tabla 47. Superficie y volumen de las colas de lavado de Las Médulas.

tes del sector 1 en dirección al lugar que ahora ocupa el lago de Carucedo. Pero estando esto en funcionamiento, solo un poco después, se iniciaron los rellenos de la cola de lavado más importante, la de Chaos de Maseiros, E2, desde el mismo sector 1, a través de sus canales de evacuación situados más al oeste, Ev6, Ev7 y Ev10.

E2 siguió en funcionamiento hasta el final, aunque las últimas operaciones de evacuación exigieron excavar varios metros de profundidad en el zócalo de roca. Por el contrario, E1 solo funcionó hasta evacuar algunos de los materiales procedentes del sector 3.5 y quizás de las primerísimas labores de 3.11. La pérdida de pendiente fue sin duda la razón de ello.

La cola de lavado E3 de Carrascaes-Balouta es un excelente ejemplo de las dificultadas que entrañaba la evacuación del estéril. A pesar de haberse labrado un túnel, Cova da Palombeira, para dar salida a los estériles, al final tuvo que abandonarse.

El arroyo de Valdebría, E4, funcionó para evacuar un sector bastante pequeño de 3.7. Sí tuvo una importancia notable la cola de lavado E5 que, a través del valle situado a los pies de Yeres, evacuó prácticamente todo el material procedente del sector 3.9, buena parte del 3.8 e incluso un poco del 3.7. Por último, la cola de lavado E6 solo sirvió para la explotación del sector 3.10, uno de los últimos de la mina. Con este último, quedaron cubiertas todas las direcciones posibles de evacuación, hacia el norte, oeste, sur y este.

Además de servir para establecer una secuencia relativa de las labores mineras, el estudio de las colas de lavado posee un especial interés para la evaluación del volumen total de estériles removido y, por lo tanto, del volumen total de material removido en la mina antigua.

La amplitud de los desmontes mineros y la complicada topografía a que dieron lugar hace que sea muy difícil estimar el relieve original del terreno y calcular así el volumen de metros cúbicos removidos, algo que en otras explotaciones antiguas de menores dimensiones resulta más fácil. La valoración del volumen de los estériles es una de las fórmulas alternativas con que se cuenta para aproximarse a este dato. Por ello, a finales de la década de 1990, se llevó a cabo un estudio geofísico específico en la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros (Sánchez-Palencia *et al.* 2000, Sánchez-Palencia y Pérez 2000b; ver también el apartado 10.1), a partir del cual se propuso una estimación bastante precisa del total de material acumulado en las colas de lavado, según se resume en la tabla 47.

Considerando que, al igual que ocurre en todos los yacimientos auríferos, la ley o contenido en oro del conglomerado es una cantidad despreciable dentro del volumen total (en el caso de Las Médulas, una media de 50 mg/m^3), el estéril evacuado fuera de la mina que formó las señaladas colas de lavado equivaldría prácticamente a todo el material removido. No obstante, hay que tener en cuenta tres circunstancias que hacen variar tal equivalencia:

1. Los materiales más finos del conglomerado que se perdieron arrastrados por las corrien-

tes fluviales, en este caso por la cuenca del Sil, en el proceso de evacuación de los estériles. Son a los que se refiere Plinio de forma figurada diciendo que: «Así la tierra fluye y se desliza hacia el mar y el monte derrumbado se diluye, e Hispania ya ha arrojado tierras a lo lejos en el mar por estas causas» (Plin., *HN,* XXXIII 76).[1] En depósitos como el de Las Médulas pueden estimarse en un 20 % del total removido (Pérez 1977, tabla 13).

2. Al haber sido removida y depositada inmediatamente, la masa de estériles sufre un esponjamiento que la hace bastante menos densa que el conglomerado explotado por los romanos. Ese efecto de esponjamiento puede estimarse en un 11 % respecto a todo el volumen (Caterpillar 1974, *s. v. swell*).
3. Como se ha indicado en el apartado 8.2, un importante volumen de cantos rodados de tamaño más grueso, las denominadas localmente *murias,* eran apartados antes de pasar por el canal de lavado para no estropearlo u obturarlo, de forma que permanecían dentro de la mina y no quedan reflejados por lo tanto en el cálculo de las colas de lavados donde se acumulan los otros estériles de menor granulometría. Este dato es muy difícil de estimar por la cantidad, dispersión y diversidad de las *murias* a lo largo de toda la mina.

Si se consideran las dos primeras circunstancias que se acaban de señalar, los casi 79 millones de m^3 de estériles existentes hoy a pie de mina subirían hasta un total de 84,3 millones de m^3 de material removido.

Para intentar completar este dato, añadiéndole el porcentaje correspondiente a las *murias,* ha de tenerse en cuenta, de acuerdo con lo expuesto sobre las formaciones geológicas de Las Médulas y sus leyes (apartado 1.3), que los materiales correspondientes a la Formación Las Médulas debieron ser tratados como estériles por su pobreza (ver también el apartado 9.3 al respecto), de forma que las únicas *murias* que quedaron dentro de la mina corresponderían en su casi totalidad a la Formación Santalla, cuyos materiales se distribuirían del siguiente modo: 25 % de cantos rodados gruesos o *murias,* 20 % de materiales finos que se perderían evacuados hacia el río Sil, según se acaba de indicar, y 55 % del resto de materiales que quedarían acumulados en los estériles de las colas de lavado a pie de mina. En definitiva, es preciso añadir el porcentaje de *murias* procedentes de la Formación Santalla al anterior cálculo total de material removido, 84,3 M m^3, que solo representaría el 90 %. Como consecuencia de ello el volumen total de material removido en la mina sería de unos 93,45 M m^3 (Pérez y Sánchez-Palencia 2000, 157, cuadro 23).[2]

1 «Ita profluens terra in mare labitur ruptusque mons diluitur, ac longe terras in mare his de causis iam promouit Hispania».

2 Existe un pequeño error en el cálculo del total de materiales removidos en Pérez y Sánchez-Palencia 2000, 157, cuadro 23. Si se suman las cantidades de materiales de la Formación Santalla removidos se verá que dan 37,32 M m^3 y no 37,42 M. Por ello, el total resultante son 93,45 M m^3 y no 93,55 M.

9 *Los sistemas de explotación minera de Las Médulas*

Leandro Alejano
Escuela de Ingeniería de Minas y Energía, Universidad de Vigo

Elena Martín Ortega
Escuela de Ingeniería de Minas y Energía, Universidad de Vigo

Ignacio Pérez-Rey
Escuela de Ingeniería de Minas y Energía, Universidad de Vigo

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

9.1. ANTECEDENTES

F. Javier Sánchez-Palencia

La mina de Las Médulas ha sido considerada por la gran mayoría de los autores que se han ocupado de su estudio como el mejor ejemplo de la aplicación del procedimiento de excavación conocido como la *ruina montium*, siguiendo ese término utilizado por Plinio el Viejo en la *Naturalis Historia*. En relación con esta atribución generalizada, es conveniente detenerse previamente en algunas aclaraciones acerca del vocabulario empleado por Plinio y acerca del significado en general de los pasajes que dedica el naturalista latino a la minería aurífera.

En primer lugar, hay que subrayar que el empleo de términos como *ruina montium* o *ruina naturae* (Plin., *HN,* XXXIII 66, 72, 73, 74) no deben interpretarse solo desde su contenido técnico. Se trata en ambos casos de términos cargados de una estoica reconvención contra la acción destructiva humana. Así pues, deben comprenderse dentro del concepto pliniano de naturaleza (Beagon 1992, 55-91; Naas 2002, 62-67). Plinio no deja de reiterar lo contradictorio de la explotación a que es sometida la naturaleza por la avidez humana y el peligro que tal actitud implica. La ruina es el derrumbe de los montes o de la naturaleza tanto como el de quienes la causan que, a pesar de contemplarla victoriosos, ni tan siquiera saben si con ello obtendrán el metal preciado que buscan. Es en cierto modo la ruina total, contemplada desde esa veneración de orden religioso que Plinio dedica a la naturaleza (Locher 1986, 29) y que Landels (2000, 217) califica a veces como moralizante.

En segundo lugar, también ha sido muy frecuente en la historiografía, sobre todo en la no especializada,



Figura 268. Panorámica desde el sur de la mina de oro romana de La Leitosa (Villafranca del Bierzo, León).



Figura 269. Panorámica desde el oeste de la mina de oro romana de As Borreas de Caldesiños (Viana do Bolo, Ourense).



Figura 270. Panorámica desde el sureste de la mina de oro romana del Poço das Freitas (Bobadela, Chaves).

la asimilación del *aurum arrugiae* (Plin., *HN,* XXXIII 70, 77) con el oro obtenido de las explotaciones sobre yacimientos aluvionares o secundarios consolidados. Hay una parte de razón en ello, puesto que ese tipo de yacimientos fueron explotados por ese sistema y porque la descripción pliniana de las *arrugiae* ha de identificarse, en esencia, con el laboreo sobre los grandes yacimientos secundarios como los de Las Médulas o La Leitosa (fig. 268) en León o As Borreas de Caldesiños (fig. 269) en Ourense. Pero, resaltando el carácter geológico-económico del texto de Plinio, es preciso subrayar dos de las condiciones fundamentales que diferencian al *aurum arrugiae* de otros tipos de explotaciones: el empleo de la fuerza hidráulica en todas sus fases y la obtención de las partículas de oro en estado libre. Obviamente, esta última condición solo se produce en los yacimientos secundarios.

Pero, si consideramos la primera de esas condiciones, la relativa a la utilización del agua, no cabe la menor duda de su empleo también en las cortas a cielo abierto en yacimientos primarios, cuyas redes hidráulicas cuentan con unas infraestructuras equiparables a las de las explotaciones sobre yacimientos secundarios. Es más, numerosas cortas sobre roca se han realizado sobre unos materiales altamente alterados en los que la fuerza hidráulica pudo jugar un papel casi equivalente al que desempeñaba en los aluviones.

Tal sería el caso, por ejemplo, de las cortas a cielo abierto sobre materiales granitoides de Los Lagos de Silva de Salave (Tapia de Casariego, Asturias), que cuenta con un importante canal de abastecimiento (Fernández Ochoa 1979), o del Poço das Freitas (fig. 270), cercano a Chaves, cuya topografía recuerda tanto a las labores hechas sobre conglomerados.

En ese sentido podría ser más comprensible la aparente interpolación de los párrafos 71 y 72 del libro XXXIII de la *Naturalis Historia,* donde Plinio se refiere a la aparición de rocas *(silices)* en ambos tipos de labores, tanto en el *aurum arrugiae* como en el *aurum canaliense*, denominación empleada genéricamente para todas las labores sobre yacimientos primarios, e incluso pone de relieve la mayor facilidad de trabajar sobre el segundo que sobre el primero, a causa de la extraordinaria dureza que adquiere la «casi impenetrable *gangadia*» o conglomerado de arcillas y gravas («tierra de un cierto tipo de arcilla mezclada con grava»). Por otro lado, no es extraño ver redes hidráulicas que abastecen a explotaciones sobre yacimientos secundarios, generalmente las primeras para las que fueron trazadas, y, a la par, a otras sobre primarios más o menos alterados. Es el caso de la red hidráulica que servía a las labores sobre aluviones de Las Cavenes y que también se utilizó en los sondeos y cortas sobre primario de Los Fontanales (Sánchez-Palencia 2014b, fig. 18). Casos similares



Figura 271. Series de surcos convergentes en el sector 2.2 de La Frisga.

se dan en otras muchas zonas, como en el río de Oro (Bustantigo, Allande, Asturias) (Sánchez-Palencia y Suárez 1985), donde se explotaron antes los primarios que los coluviones y arrastres de ladera de la cabecera fluvial. La misma amplitud que hay que dar al significado del *aurum arrugiae* debe aplicarse al alcance de la producción que Plinio atribuye a ese tipo de minería, que se decía podía llegar a superar las veinte mil libras (6540 kg) cada año (Plin., *HN,* XXXIII 78). Ha de entenderse que se refiere a la casi totalidad de la producción de las tres regiones mencionadas, Asturia, Gallaecia y Lusitania, ya que solo habría que excluir las labores, de envergadura relativamente pequeña, en las que no se utilizó la fuerza hidráulica, en las de Pino del Oro (Sánchez-Palencia *et al*. 2014), por ejemplo. También coincide el dato con que fuese Asturia la que más producía.

9.2. TÉCNICAS DE EXPLOTACIÓN SELECTIVAS Y EXTENSIVAS

F. Javier Sánchez-Palencia

Una vez aclarados estos aspectos acerca de la interpretación de la *ruina montium* y los diversos tipos de yacimientos referidos por Plinio en su descripción, a continuación, se diferencian los sistemas de explotación empleados en Las Médulas a partir de las evidencias que pueden constatarse sobre el terreno. Para el contexto geológico, ver apartado 1.3 y, más adelante, lo expuesto en el apartado 9.3.

Unas técnicas de explotación selectivas se aplicaron sobre las zonas más ricas, aquellas donde la Formación Santalla tenía un menor recubrimiento de la Formación Las Médulas y se asentaba directamente sobre la Formación Orellán o sobre el zócalo precámbrico. Se explotaron sobre todo mediante series de surcos convergentes, es decir zanjas que removían en alineaciones todo el conglomerado de forma exhaustiva (fig. 271). Un canal emisario recorría todo el frente de explotación y desde él se arrojaba agua sucesivamente sobre los diversos surcos, cuyo conglomerado sería removido con la ayuda de mano de obra y conducido hacia los canales de lavado o *agogae* situados al final de los surcos. Es un sistema de explotación al que no se refiere de forma expresa Plinio el Viejo, por lo que quedaría encuadrado genéricamente dentro del sistema de explotación mediante *arrugiae,* cuyas condiciones antes mencionadas cumple totalmente: empleo en todo el proceso de la fuerza hidráulica y obtención del oro mediante su simple lavado y decantación por gravedad.



Figura 272. Zanjas-canales yuxtapuestas en las últimas fases del sector 2.2 de La Frisga.

Este tipo de técnica se documenta especialmente bien en La Frisga (sector 2.2: ver apartado 3.1), donde fue casi la única empleada (figs. 29-32). Se aplicó igualmente en las zonas con menor potencia de conglomerado del sector 1, pero, como ya se indicó (ver apartado 3.1), la conservación de este tipo de labores en esa zona es muy mala. También fue el principal sistema de explotación utilizado en la mayoría de los bordes externos del sector más extenso, el 3, donde fue aplicado exhaustivamente, en particular, en las zonas de los Muriacales de la Balouta y de Las Pedrices (figs. 40 y 41), en el sector 3.7 (ver apartado 3.2). Otra forma de explotar selectivamente el conglomerado de la Formación Santalla fue mediante minería subterránea, pero esto solo se ha documentado muy puntualmente, ya que por lo general se trata de galerías que han estado soterradas y de las que no se puede obtener buena documentación, como en la Malladica, en el Castañal o en el Sagrao.

Una técnica de explotación extensiva fueron las llamadas zanjas-canales, que excavaban de forma más profunda que en el sistema selectivo el conglomerado, siempre con el empleo de la fuerza hidráulica arrojada desde los depósitos de explotación. Los ejemplos de este sistema de explotación son múltiples. Así se trabajó en las últimas fases del sector 1 (ver apartado 3.1) y en gran parte del sector 2.1 (ver apartado 3.1). Pero también fue empleado con frecuencia en diversas zonas del sector 3 (ver apartado 3.2), como ocurrió en Barreiro Negro y Souto da Vide, a ambos lados de la carretera a Las Médulas dentro del sector 3.1, en Catorrapao en el 3.2, o en Os Carricovos y As Valiñas de Xan Lamas, en el vértice noroeste del sector 3.4. Esta técnica sirve a veces para explotar prácticamente sin transición o discontinuidad zonas con un mayor recubrimiento de materiales pobres de la Formación Las Médulas, allí donde previamente se ha utilizado la técnica selectiva de los surcos convergentes sobre material más rico de la Formación Santalla solo. Tal sería el caso de las últimas fases explotadas en el sector 2.2 de La Frsiga (fig. 272). Pero el mejor ejemplo de zanjas-canales son las labores del barranco de Furnia y del Couso que forman el sector 3.10 (apartado 3.2) y que son tan claramente visibles y comprensibles desde el mirador de Orellán (figs. 49 y 50).

La técnica de explotación extensiva mediante cortas de minado o *ruinae montium* descrita por Plinio (*HN,* XXXIII 70-73) es el más espectacular de los procedimientos y sirvió para beneficiar aquellas



Figura 273. Foto aérea del sector 3.11 de Las Médulas, explotado mediante la técnica extensiva de la *ruina montium*.

zonas que poseían un mayor recubrimiento de la Formación Las Médulas y poder alcanzar de una sola vez los niveles más ricos de la Formación Santalla. Mediante esta técnica se explotó un volumen muy considerable de conglomerados en el sector 3.11, conocido genéricamente como de Las Valiñas o el Gran Circo de Las Médulas (fig. 273), aunque ninguna de esas denominaciones corresponda a la toponimia local, que consta de numerosos topónimos para casi cada una de las sucesivas labores romanas. Su reconocimiento no ofrece dudas por el característico cortado en vertical, casi a plomo, de los frentes de explotación, y por la existencia en dichos frentes de túneles subterráneos que conducían el agua hasta las zonas minadas.

Una de las interpretaciones hasta ahora propuestas (Pérez y Sánchez-Palencia 2000b, 182-186) se basaba en el empleo de una red de pozos y galerías que socavarían la masa a abatir, cuya base se saturaría con agua y que finalmente sería derribada mediante un golpe de ariete provocado por agua arrojada en tromba dentro de la red de galerías, que estarían cegadas y sin salida al exterior.

Otra interpretación reciente y bastante detallada de la *ruina montium* ha sido la ofrecida por Bordes y Domergue (2007, 93-109). Pero antes de entrar en su discusión, es necesario aclarar algunas de las premisas de las que parten estos autores:

En primer lugar, consideran que Plinio estuvo en Las Médulas durante su cargo como procurador de la Hispania Citerior (73 o 75 d. C.). Eso es muy posible y la argumentación del gran parecido entre lo descrito por el naturalista y la propia mina de Las Médulas, al menos en su parte más espectacular, es una prueba clara, no así la supuesta semejanza entre las cien millas de distancia que indica Plinio que podían alcanzar los canales[1] y la longitud del canal C24, que siguiendo a Matías (2006, 42-45, que lo numera como el C3) sería de 143 km, ya que dicho canal mide algo más de 154 km. Obviamente, decir que alcanzaban cien millas o más es una figura retórica, a modo de hipérbole.

También consideran que la descripción de la *ruina montium* se está refiriendo a un derrumbe *en seco* de la masa a abatir, aunque sí admiten que iría seguido tanto del lavado como de la evacuación de estériles con agua. A este respecto es necesario recordar que, después de mencionar que de las tres formas de obtener el oro la primera es la que consigue oro más puro, cuando se extrae directamente de los ríos *(aurum fluminum ramentis),* Plinio (*HN,* XXXIII 67-78) hace una descripción de la explotación de los otros dos procedimientos muy bien ordenada por partes:

1 Plin., *HN,* XXXIII 74: «flumina ad lauandam hanc ruinam iugis montium obiter duxere a centesimo plerumque lapide» («Han conducido corrientes de agua por las cumbres de los montes desde cien millas o más para lavar este derrumbe de un golpe»).

1. La prospección mediante la obtención del *segullum* y del *aurum talutium* (67).
2. El segundo procedimiento utilizado para explotar el *aurum canalicium* o *canaliense* (68-69), es decir el de los yacimientos primarios.
3. El tercer procedimiento, usado para obtener el *aurum arrugiae* (70-73), en el que se refiere exclusivamente al procedimiento de la *ruina montium,* sin mencionar otros procedimientos ni selectivos ni extensivos utilizados en la explotación de yacimientos secundarios.
4. Trazado y construcción de la red hidráulica (74-75) para poder realizar la *ruina montium*.
5. El lavado en la *agoga* para la obtención del oro y la evacuación de la tierra sobrante o estériles (76-77).
6. La estimación del oro producido cada año en Asturia, que es la que más produce, y también en Gallaecia y en Lusitania.

Es decir, el naturalista latino va enumerando uno a uno, según le parece más claro y también más llamativo, todo aquello que para él resulta esencial en la obtención del oro, sin que su discurso pueda calificarse de una síntesis completa sobre la minería que en la actualidad podemos documentar por métodos arqueológicos. Es cierto que a veces, como dice Landels (2000, 217) se entretiene en algunas divagaciones, pero más allá de esos incisos, las diferentes partes de la ilustrativa explicación pliniana tienen que entenderse en su conjunto, de modo que si no menciona el uso del agua en el pasaje concreto de la *ruina montium* no implica que no se utilizase. Para describir concretamente el abatimiento del material aurífero, Plinio dice que «terminada la obra»[2] se inicia el derrumbe más o menos controlado y lo que no sabemos con precisión, porque no lo específica, es en qué consistía esa obra ya terminada que precede al derrumbe.

Al apreciar evidentes huellas del paso del agua por las galerías que quedaron junto a los últimos frentes de explotación, consideran que esas marcas sí indicarían el uso de la fuerza hidráulica en el proceso de derrumbe del conglomerado aurífero, pero en su opinión se trataría de un procedimiento aplicado en un momento posterior a la visita de Plinio a la zona, es decir posterior a los años 73 o 75 d. C. Esto carece de sentido, puesto que resulta claro que el único sitio donde se conservan galerías es en las fases finales del laboreo minero, las únicas conservadas. Las posibles galerías de fases anteriores sencillamente no se han conservado y hay evidencias sobre los frentes de que pudieron existir.

La secuencia de 6 fases (de la «a» a la «f») para explicar el desarrollo de las labores puede considerarse correcta en general, aunque no detallen las evidencias que les han llevado a determinarlas. Pero al no haber documentado suficientemente bien la red hidráulica, sobre todo en los primeros momentos de la explotación (Domergue y Hérail 1999, fig. 6; Bordes y Domergue 2007, fig. 8, que reproducen la misma fotointerpretación de C. Domergue datada en 1994) consideran que en las primeras fases del laboreo minero (al menos en la fase «b» aunque parece que en la fase «a» también) los estériles se evacuarían mediante transporte animal o humano. Esto es especialmente sorprendente, dado que desde las primeras fases se aprecian canales de evacuación que no dejan lugar a dudas sobre el uso del agua en la evacuación de los estériles (ver apartado 8.1). La única explicación para esta propuesta es pensar que se estén refiriendo a una reordenación manual o mecánica (incluso con el posible uso de grúas o poleas) de los estériles gruesos dentro de los sectores ya explotados de la mina, cosa que sí parece clara, a juzgar por los grandes montones de murias o cantos rodados acumulados a lo largo de gran parte de la topografía de la mina.

En cuanto a la *ruina montium* en sí, consideran que se pudo proceder mediante dos sistemas o mecanismos diferentes:

1. La ruptura por socavamiento *(rupture par sous-cavage),* consistente, como la propia expresión indica, en realizar una tupida red en

2 El «peracto opere» con que inicia el proceso concreto de derrumbe.

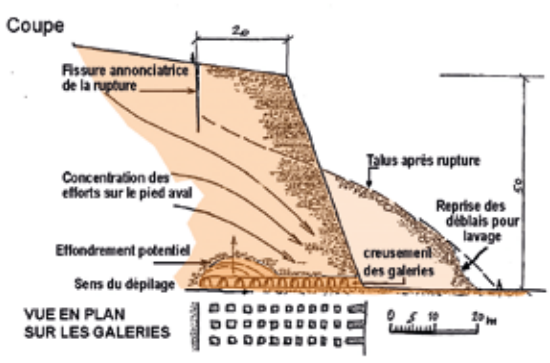


Figura 274. Ruptura por socavamiento, croquis (a partir del croquis de Bordes y Domergue 2007, fig. 10).

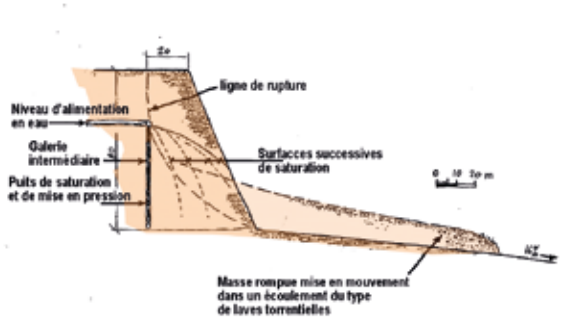


Figura 275. Derrumbe por medios hidráulicos, croquis (a partir del croquis de Bordes y Domergue 2007, fig. 11).

horizontal de galerías (fig. 274) para minar y provocar el derrumbe del conglomerado en seco, cortando los apeos desde la parte más interna. Consideran que es un procedimiento muy peligroso, como señala el propio Plinio en el pasaje,[3] que hoy solo se podría llevar a cabo con explosivos. Se podría haber aplicado sobre todo en la explotación de la Formación Santalla y quizás en los primeros momentos del laboreo sobre la Formación Las Médulas y habría podido servir para derrumbar el conglomerado hasta una potencia de unos 30 m. El material abatido sería sometido con posterioridad a un lavado y evacuación de estériles. La interpretación de las galerías como una red horizontal no responde a la descripción de Plinio, que explica simplemente que «mediante galerías hechas a lo largo de grandes espacios, se excavan los montes a la luz de las lámparas» (Plin., *HN,* XXXIII 70).

2. Derrumbe por medios hidráulicos *(abattage pour voie hydraulique)*. Sería un procedimiento alternativo y, al indicar la utilización del agua, posterior a la descripción de Plinio. Como en el caso citado antes (Pérez y Sánchez-Palencia 2000, 182-183) se emplearía el agua mediante galerías y pozos para saturar la zona que habría que derrumbar (fig. 275), que se vendría abajo sin necesidad de ningún golpe de ariete y podría afectar, según el modelo hipotético propuesto, a un volumen de conglomerado de 100 000 m^3.

9.3. PROPUESTA PARA INTERPRETAR LA *RUINA MONTIUM* DESDE LA PERSPECTIVA DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS Y DE LA MECÁNICA DE ROCAS

Leandro Alejano
Elena Martín Ortega
Ignacio Pérez-Rey

El objetivo principal de esta fase de estudio es avanzar hacia una mejor compresión del sistema de explotación realizado en Las Médulas mediante la denominada *ruina montium*.[4] Para conseguir ese objetivo se ha adoptado un enfoque interdisciplinar. Se partía

3 Plin., *HN,* XXXIII 70: «De repente se producen desprendimientos y aplastan a los que están trabajando, de modo que hasta buscar perlas y púrpuras en la profundidad del mar parece menos temerario. ¡Tanto más peligrosas hemos hecho las tierras! Por ello se dejan arcos a intervalos para sostener los montes».

4 Poco después del inicio del proyecto ZAMRedH, en marzo de 2022, se contactó con dos investigadores de la Universidad de Vigo, Leandro Alejano, experto en mecánica de rocas, y Elena Martín Ortega, experta en mecánica de fluidos, con el objetivo de considerar el estado actual de los conocimientos sobre las técnicas extensivas utilizadas por los romanos para explotar de forma masiva, mediante la *ruina montium* descrita por Plinio el Viejo, la zona principal de Las Médulas, en el sector 3 (concretamente todo el sector 3.11).

de la caracterización conocida de las formaciones geológicas afectadas (Médulas, Santalla y Orellán, ver apartado 1.3), así como de la información de las fuentes literarias antiguas y de los trabajos arqueológicos realizados en la zona a lo largo de las últimas décadas, según se ha expuesto en el apartado precedente, el 9.2. Esas hipótesis previas se basaban en algunas estimaciones y observaciones que requerían estudios más detallados de geometrías de la explotación, caracterización de los macizos rocosos, estimación más rigurosa de parámetros y cálculos analíticos y numéricos, y, basándose en observaciones *in situ*, caracterización de materiales de campo, ensayos de laboratorio, consideraciones y cálculos propios de la mecánica de fluidos y de rocas.

9.3.1. Descripción geotécnica de los materiales encontrados en Las Médulas

En las visitas de campo se observó que los conglomerados de estas formaciones podrían clasificarse como rocas formadas por bloques o cantos embebidos en una matriz de materiales finos, o como indica la bibliografía anglosajona «*bim (block-in-matrix) rocks*». Los materiales de la matriz parecen poco consistentes y no parecen cementados, por lo que las propiedades del conjunto van a depender de las propiedades de la matriz, principalmente, pero también de las propiedades y fundamentalmente del porcentaje en contenido volumétrico de clastos que lo forman. La fig. 276 muestra una imagen del conglomerado de la formación Santalla con un clasto de casi 1 m de dimensión máxima y una idealización de lo que se entiende por una *bim-rock*.

Los términos «*bim-rock*» y «*bim-soil*», referidos por primera vez por Medley (1994) y Lindquist (1994) hacen alusión a tipos diferentes y muy comunes de formaciones geológicas con una estructura de bloques embebidos en una matriz. Suelen ser formaciones geotécnicamente complejas y se caracterizan por una heterogeneidad interna y variabilidad espacial de parámetros mecánicos y composiciones litológicas (Napoli *et al.* 2020).

La determinación de sus propiedades mecánicas es extraordinariamente difícil por la imposibilidad de obtener muestras representativas para ensayar en laboratorio (debido al contraste de la resistencia a la perforación de sus elementos constituyentes: bloques de roca y matriz). Debido a estas dificultades intrínsecas, la comprensión y caracterización de su comportamiento geomecánico presenta todavía algunos retos en el ámbito de la ingeniería geotécnica.

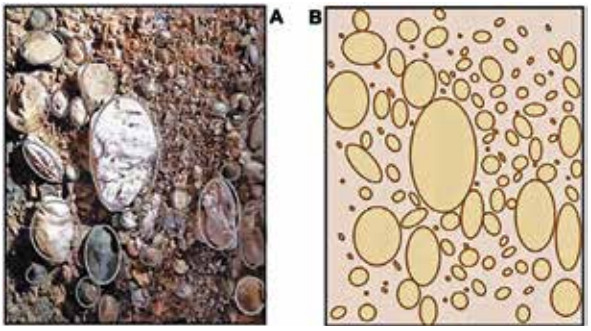


Figura 276. A) Imagen de detalle de unos 4 m x 3 m de la formación Santalla en una bodega del pueblo de Las Médulas y B) representación conceptual de esta roca como una *bim (block-in-matrix)* rock.

A esta dificultad de obtener (perforar) muestras, hay que sumarle que, según su origen geológico, puede haber una alta variación espacial tanto en grado de cementación como en la naturaleza de las partículas de roca, como ilustran las tres imágenes de los conglomerados de la zona de Las Médulas que se muestran en la fig. 277.

Una primera clasificación de las formaciones de Las Médulas se ilustra en la fig. 278. Según esta propuesta de Napoli *et al.* (2022), los conglomerados que encontramos en Las Médulas se podrían clasificar como «*Soft BIM rocks M5H*», materiales de matriz blanda, más o menos resistentes y con porcentajes elevados de clastos. En estos materiales es imposible obtener probetas, como hemos podido comprobar directamente sobre el terreno.

Tanto en la Formación Las Médulas, como en la Formación Santalla, pueden aparecer cantos rodados de grandes dimensiones (se han observado cantos de hasta 1 m de diámetro para Santalla y tamaños algo inferiores, en torno a 75 cm en Las Médulas). Adicionalmente, la matriz está formada por materiales finos (arenas finas, a veces limosas) aparentemente

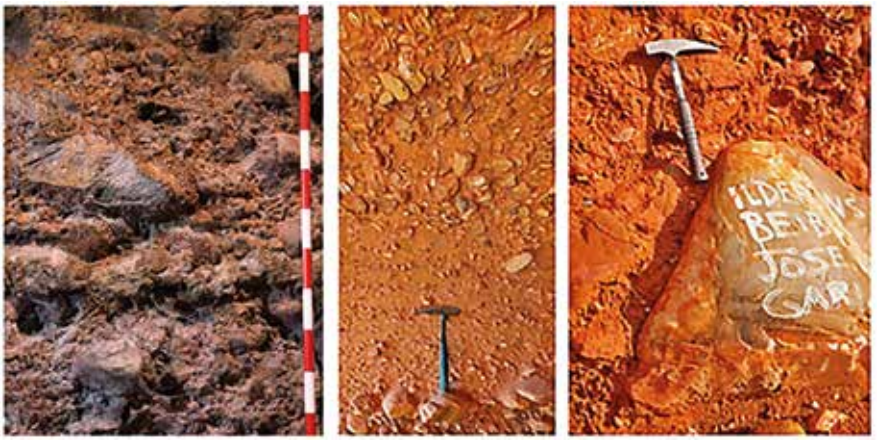


Figura 277. Fotografía de detalle de tres zonas de conglomerados en Las Médulas. A la izquierda, conglomerados de la formación Santalla en una bodega en Las Médulas. En el centro, conglomerados de la formación Las Médulas en La Cuevona. A la derecha, conglomerados de la misma formación con un clasto de 70 cm de dimensión máxima en la zona de Reirigo.



Figura 278. Ejemplo de un conglomerado de Las Médulas del tipo «Soft BIM rocks M5H» (Napoli *et al.* 2022): fotografía de la Formación Santalla en una bodega del pueblo de Las Médulas.



Figura 279. Bloques caídos en La Cuevona de donde se tomaron muestras en la visita a Las Médulas en septiembre de 2022.

poco resistentes. Todo ello, además de la protección patrimonial de la zona, impide tomar muestras representativas de estos materiales para que se puedan ensayar en laboratorio.

A causa de esas circunstancias adversas, solo fue posible recuperar bloques que se pudieran cortar y ensayar de las facies más finas de la formación Las Médulas, en aquellas zonas en las que fenómenos de desprendimiento asociados a meteorización mecánica (hidráulica o eólica) tuvieron lugar. En particular, se pudieron tomar muestras de unas decenas de kg en los cantiles de El Covayón, La Encantada y La Cuevona, todas ellas correspondientes a estratos de finos, que se corresponderían con los materiales típicos de la matriz de la formación Las Médulas (fig. 279). Conversaciones con personas de la zona que han excavado estos materiales con retroexcavadora nos permitieron, además, identificar estos materiales como difíciles de excavar, pero sensibles al agua.

Por lo tanto, caracterizar el comportamiento a escala real (tal y como responden las rocas a las excavaciones y taludes) resulta complejo y es objeto de investigaciones actualmente, aunque no hay muchos estudios relevantes que permitan caracterizar con rigor estos materiales. Se han propuesto tres tipos de enfoques para caracterizar las propiedades de estas *bim-rocks,* que se describen de forma resumida en los siguientes párrafos.

El primer tipo implicaría estudios experimentales sobre muestras (Afifipour y Moarefvand 2014),

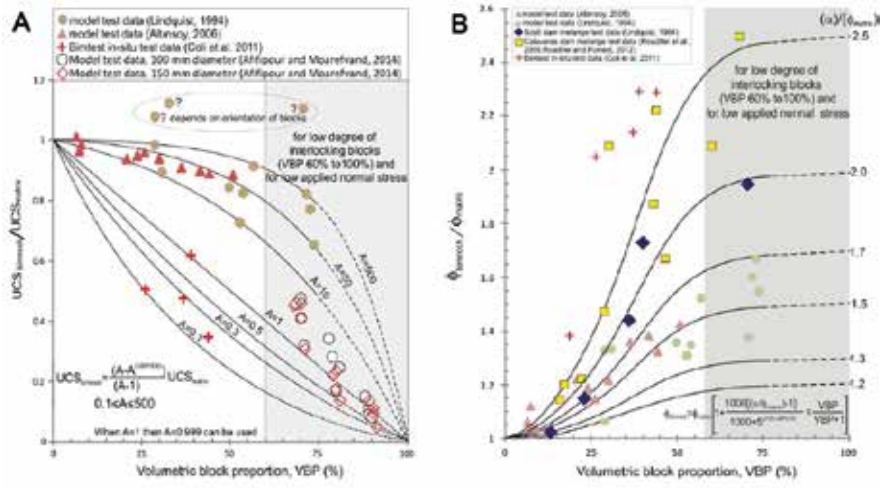


Figura 280. Gráficas de estimación de resistencia (A) y fricción (B) de un material tipo *bim-rock* a partir del porcentaje de bloques y los parámetros del material de la matriz (elaboración propia siguiendo a Kalender *et al.* 2014).

en el caso de que se pudieran tallar o ser creadas artificialmente, algo que no ocurre en el presente caso. El segundo tipo, usado en algunas grandes obras de ingeniería implicaría la realización de ensayos *in situ* a gran escala (Xu *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2016), por ejemplo, de corte directo, por lo que resultaría difícil implementar en Las Médulas, tanto en términos económicos como por los daños que originaría.

Un tercer tipo más general (Kaharman y Alber 2006, 2008; Sonmez *et al.* 2009, 2016), sería la caracterización de la matriz y de la cantidad y naturaleza de cantos y, mediante enfoques empíricos o numéricos, estimar las propiedades de manera indirecta. Se intentará caracterizar y estimar las propiedades de los conglomerados de Las Médulas mediante enfoques de este último tipo.

En este sentido, existen algunas técnicas del ámbito geotécnico que permiten estimar propiedades de estos materiales (Sonmez *et al.* 2009; Colli *et al.* 2009; Kalender *et al.* 2014; Napoli *et al.* 2020). En este caso, conviene tener un conocimiento lo más detallado posible de los materiales que forman estas rocas, especialmente de la matriz, para caracterizar adecuadamente estos materiales de comportamiento bastante complejo desde el punto de vista geotécnico.

En la fig. 280 se muestra la propuesta de caracterización realizada por Sonmez *et al.* (2009) y afinada posteriormente por Kalender *et al.* (2014), que se utilizará para estimar los parámetros de comportamiento geomecánico de los conglomerados de Las Médulas.

9.3.2. Observaciones sobre el terreno y comparación con el texto de Plinio

A lo largo de 2022[5] se realizaron diversas observaciones sobre el terreno cuya interpretación es relevante para una mejor comprensión de los procedimientos utilizados en la minería romana:

A) Topografía original y primera explotación romana

A partir de la información geológica, de la configuración del terreno y de las transformaciones sobre él producidas, podemos hacer una primera interpretación orientativa de cómo podría ser geológicamente la zona de Las Médulas en el momento en que llegaron los romanos. Desde el lago de Carucedo se extendería una suave ladera hacia el sureste, con algunos valles por los que circularían arroyos. Probablemente, las pendientes en terrenos de la Formación Orellán serían bajas (menos de 20º), algo mayores en la Formación Santalla y mayores aún, localmente con posibles cárcavas y valles, en la Formación Médulas.

5 Las visitas se llevaron a cabo concretamente en los meses de mayo, septiembre y diciembre de ese año.

En los primeros momentos de la presencia romana, una vez desarrollada la correspondiente labor de búsqueda y prospección de la zona aurífera de Las Médulas (ver apartados 2 y 9.2), descubrirían pronto que la Formación Santalla tenía oro especialmente en su base, con lo que parece lógico que plantearan la explotación de la misma, siguiendo una técnica de explotación selectiva mediante series de surcos convergentes (ver lo dicho a propósito de los sectores 1 y 2 en ls apartados 3.1 y 9.2), un tipo de *arrugiae* que ya podían haber en otras zonas del mismo noroeste peninsular. Para ello sería fundamental disponer de grandes cantidades de agua en la parte superior de las zonas donde aflorase la Formación Santalla. La puesta en marcha, creación de canales y explotación poco problemática de estas zonas de afloramiento de material especialmente rico en oro les llevaría del orden de algunos decenios, con resultados probablemente bastante positivos.

Indudablemente tendrían que excavar también en terrenos de la Formación Médulas, al menos para el trazado de canales y la creación de depósitos de agua, lo que les haría ver su dureza y dificultad de excavación. En todo caso, durante los primeros años de explotación de la zona de afloramiento de la Formación Santalla, no debieron tener grandes problemas, pero tarde o temprano se encontrarían en una situación más compleja, al encontrar que la Formación Santalla estaba cubierta por una capa más o menos grande la Formación Médulas, bastante resistente. Puede que en la zona hubiera arroyos encajados y ocasionalmente taludes de ribera con procesos de descalce, lo cual podría inspirarles un sistema similar.

Aunque, inicialmente y para pequeños espesores, podría ser viable picarla con mazas y martillos, en algún punto se darían cuenta que esta posibilidad iría siendo cada vez más poco práctica y finalmente inviable. En esta tesitura, se verían abocados a utilizar otro tipo de estrategia bien por minería subterránea, difícil de ejecutar, o abatiendo de alguna manera el recubrimiento de la Formación Médulas que además iría creciendo en espesor a medida que se avanzara en la explotación. La solución finalmente adoptada, sería la *ruina montium,* que ahora tratamos de comprender mejor. Dada la situación, probablemente fueron necesarias varias pruebas y errores hasta poner en marcha el sistema.

B) Uso masivo de agua y disponibilidad de la misma

Como se detalla en los capítulos 4 y 5, se han documentado centenares de kilómetros de canales y numerosos y grandes depósitos construidos por los romanos para llevar agua a las partes altas de la explotación (figs. 54 y 83-84). El uso de la fuerza hidráulica en las primeras fases de la explotación va unido ya a todas las fases del proceso minero: prospección, extracción, lavado y evacuación del conglomerado aurífero. Los canales y depósitos de agua ocupan todas las zonas altas alrededor de los sectores de explotación, lo que justifica esta aseveración de uso masivo de agua. Por tanto, durante todo el periodo de explotación de Las Médulas se dispuso de grandes cantidades de agua que podría ser también utilizada en labores de arranque como, por ejemplo, en erosionar galerías o generar grandes avalanchas de agua.

C) Presencia de taludes prácticamente verticales (frentes de explotación) de planta cóncava

Desde el punto de vista geotécnico, en una primera visita a Las Médulas, sorprende la presencia de taludes verticales o sub-verticales (figs. 281 y 282) situados todo alrededor de la zona de explotación (sector 3.11, conocido como la zona de Valiñas). Taludes sub-verticales de este tipo solo se suelen encontrar en la naturaleza en zonas de montaña muy escarpadas (grandes cordilleras como el Himalaya, los Andes, los Alpes o los Pirineos) o en el caso de ríos muy encajados que den lugar a formación de cañones y gargantas, circunstancias que definitivamente no se dan en Las Médulas.

Así pues, estos taludes de elevada pendiente en los conglomerados de la formación Médulas, unos materiales considerados rocas relativamente blandas, no han podido tener un origen puramente natural, sino que fueron necesariamente creados por el hombre, en este caso, por los romanos en el ámbito de un proceso minero.



Figura 281. Taludes verticales de los frentes de explotación del sector 3.11 entre Prado Barroso (izquierda) y la Valiña de Xan Bello (derecha).



Figura 282. Taludes verticales de los frentes de explotación del sector 3.11 entre la Valiña Fernández y la Encantada, en las inmediaciones de la Cuevona y la Cueva de la Encantada.

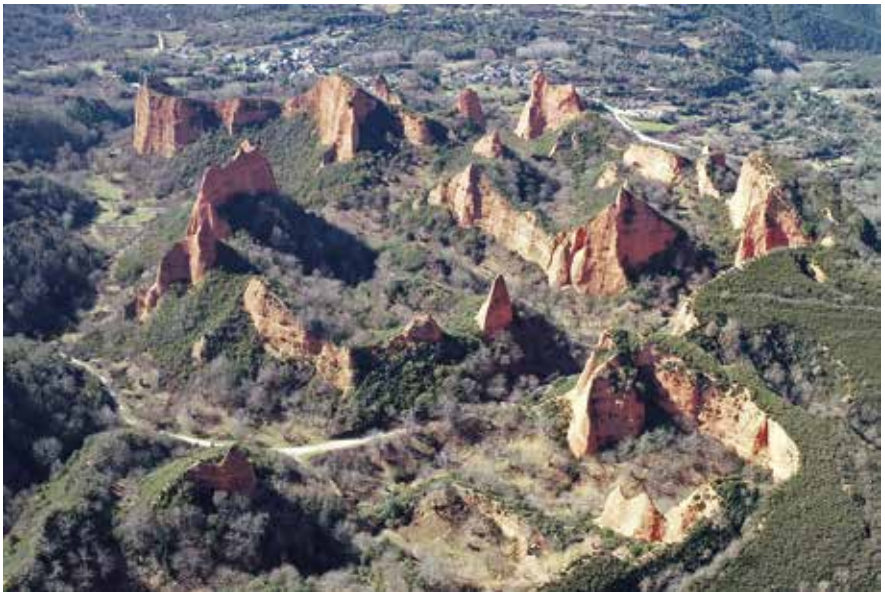


Figura 283. Fotografía aérea de los picachos o picuezos y aristas que caracterizan la topografía del interior del sector 3.11 de Las Médulas.

Si analizamos, además, la disposición en planta de estos taludes sub-verticales utilizando en este caso la fotografía aérea del PNOA del IGN de 2008, se observa que estos cañones forman una especie de circo al fondo de la zona de Valiñas, que se puede asociar con los límites del área explotada por los romanos, y que cada uno de estos taludes tienden a presentar una proyección vertical o planta cóncava (fig. 272). De esta manera, en las zonas que se juntan varios de estos taludes con planta cóncava se generan picos en el terreno, conocidos tradicionalmente en Las Médulas como *picuezos* o *picachos* (fig. 283).

Obsérvese además que esta interpretación de la foto aérea estándar coincide sensiblemente con la interpretación arqueológica propuesta en el apartado 3.2 (figs. 284 y 285), en la que se hacía más hincapié en la evolución temporal de los procesos de *ruina montium*. En general, una caída natural de un talud suele presentar una superficie más bien inclinada con sección circular, por lo que parece claro que estos taludes verticales fueron provocados por el proceso minero y que además tienen plantas más bien cóncavas.

Buscando en la naturaleza circunstancias capaces de generar taludes más bien verticales y con



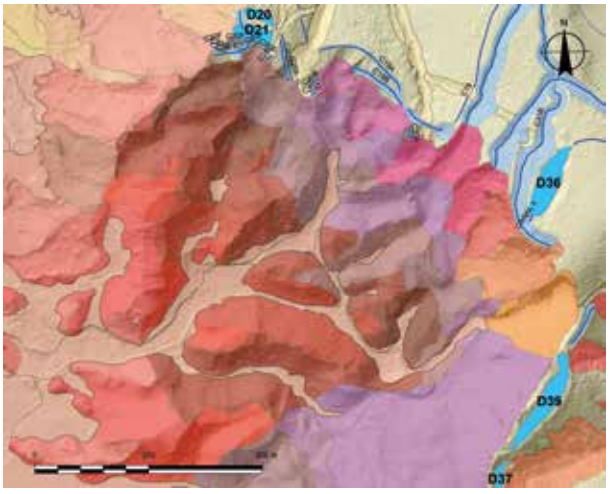
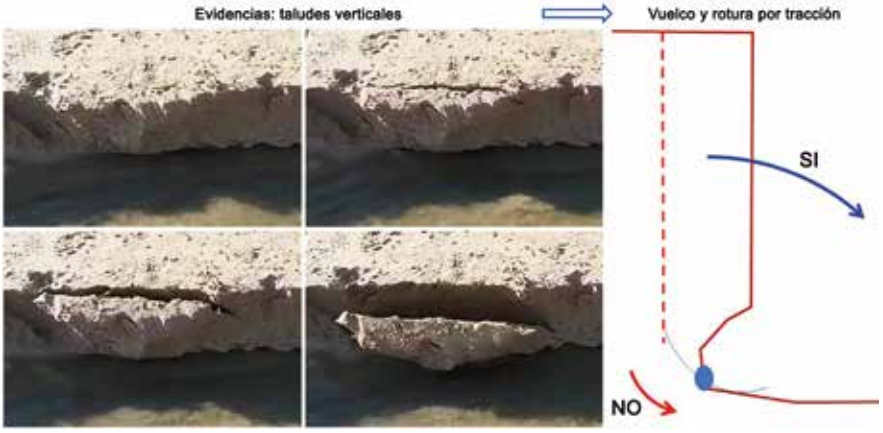


Figura 284 y 285. Fotografía aérea estándar (PNOA del IGN, 2008) con indicación de los taludes verticales más marcados y fotointerpretación de las zonas explotadas en el sector 3.11.

Figura 286. Ejemplos de taludes verticales de planta más bien cóncava. Caída por rotura a tracción y vuelco de un borde de arena de un arroyo en una playa por socavamiento del mismo por circulación de agua.



planta cóncava, uno de los fenómenos más conocidos es el de socavamiento de los taludes por corrientes de agua. A manera de ejemplo, la fig. 286 muestra cuatro fotografías consecutivas de un borde de una pequeña corriente de agua en la arena de una playa.

Como se observa en las fotografías tomadas en varios momentos (sobre un minuto de duración en total), a medida que el agua fluye, va erosionando y socavando el pequeño talud, hasta que en un momento se produce una inestabilidad por el descalce del mismo. Este se iniciaría por el peso del material descalzado, generando, poco antes de producirse la inestabilidad, una grieta de tracción en la superficie superior del talud (tercera fotografía), pero que enseguida, por el movimiento de la masa que cae generaría un fenómeno de vuelco de la masa descalzada, como claramente muestra la cuarta fotografía de la fig. 286.

Adicionalmente, y para que se pueda producir este fenómeno en un borde recto de un arroyo, la zona de material caído (grieta de tracción y continuación que separa al bloque) tiene una planta o forma ligeramente cóncava para que se pueda liberar la masa de material caído en cuestión. Este tipo de geometría pretende reproducir, a pequeña escala, lo que se observa en Las Médulas.

Tanto la geometría cóncava de este tipo de inestabilidades como la formación previa de una o varias grietas de tracción en una situación como la descrita,

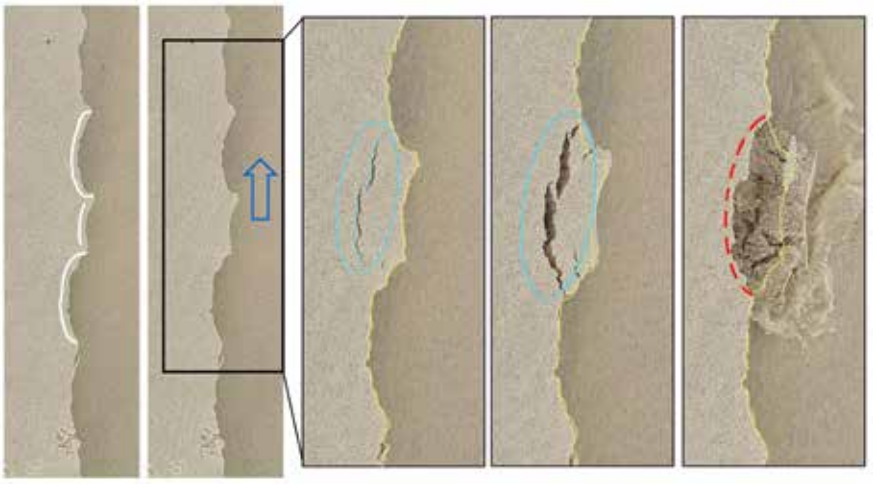


Figura 287. Ejemplos de taludes verticales de planta más bien cóncava. Fenómenos progresivos de inestabilidad de una arena de borde de arroyo en una playa por rotura a tracción y vuelco por socavamiento por erosión en la base del talud del mismo por circulación de agua. Obsérvese la concavidad en planta de las zonas caídas y la generación de grietas de tracción antes de caer.

se observa en la fig. 287, donde se reproducen imágenes de una situación análoga a la anterior que permiten discernir, de forma más clara, las geometrías indicadas.

Una metodología semejante se ha descrito en la excavación hace unos 60 años de las arenas de miga (materiales arenosos de poca resistencia típicos del subsuelo de la ciudad de Madrid) con destino a la construcción.[6]

Aparentemente, para excavar estas arenas se iba ejecutando un talud vertical de unos 3 m y, una vez preparado, varios operarios comenzaban a socavar con pico y pala la base del mismo. Un vigilante quedaba en la zona superior, observando atentamente la parte alta del talud y, cuando detectaba la formación de una grieta de tracción (por ejemplo, como en la tercera fotografía de la fig. 287), daba la voz de alarma inmediatamente para que se retiraran los operarios que estaban trabajando abajo, produciéndose a continuación la caída del talud, lo cual facilitaba la rápida excavación del terreno. Puede que si esta no se producía se vertiera agua. Este tipo de prácticas están hoy totalmente prohibidas por cuestiones de seguridad laboral. No obstante, la metodología podría ser parcialmente comparable a los mecanismos descritos arriba, pero en este caso la socavación del talud la llevarían a cabo operarios en vez del trabajo del agua. Este tipo de fenomenologías genera situaciones geométricas compatibles, si bien a escala menor y con materiales menos resistentes, con los taludes que se observan hoy en día en Las Médulas.

D) Presencia de materiales erosionables con agua, sensibilidad al agua y velocidad estimada de retroceso de frentes por erosión

Aunque tanto los conglomerados de la Formación Santalla como los de Las Médulas son relativamente duros, se observa cierta sensibilidad al agua y evidencias de erosión en ciertas zonas del sector 3.11 de Las Médulas (fig. 288).

La fig. 288 ilustra varias zonas donde se identifican fenómenos erosivos, que en algún caso pueden tener origen eólico (fig. 288A), pero que en otros casos van asociados necesariamente a la circulación de agua forzada o no, como en el caso de las galerías de Orellán (fig. 288C). En todo caso, queda claro que el agua puede utilizarse para erosionar los conglomerados duros de estas formaciones.

En este sentido, otras observaciones en la zona incluyen fenómenos de erosión en algunos taludes verticales donde se aprecian zonas de circulación de agua (chorretones) a simple vista y zonas donde se acumulan en forma de barro materiales arcillosos arrastrados

6 Se trata de un testimonio obtenido en una conversación reciente con el catedrático jubilado de ingeniería civil de la Universidad de Cantabria, D. César Sagaseta. El nombre de ese procedimiento no está demasiado claro, pero podría ser algo relacionado con *retumbe*.

por el agua (fig. 289). A su vez vecinos de Las Médulas indican que en periodos de heladas tras lluvias es común observar caída de cantos rodados de los frentes.

En este sentido se considera interesante estimar la velocidad de erosión de los frentes de explotación más o menos verticales de Las Médulas. Este fenómeno de erosión de acantilados, cañones y escarpes es objeto de estudio de la geomorfología, y depende de múltiples aspectos, incluyendo la tectónica local, la meteorología y su evolución temporal, el efecto del agua en sus diferentes formas (ríos, oleaje, lluvia, hielo) y la calidad de los materiales rocosos, pero intentaremos dar aquí una gama de valores razonables.

En estudios de acantilados costeros sometidos al oleaje en su base, Premaillon *et al.* (2018) indican velocidades medias de erosión de unos 20, 100 o 200 mm por año en función de que estén compuestos por rocas más bien blandas, medias o duras. Sin embargo, en zonas rocosas de montañas (Ott *et al.* 2023) o escarpes en rocas sedimentarias en zonas secas (Arauzo *et al.* 1996) se han estimado con rigor valores típicamente por debajo de 1 mm por año. La velocidad de erosión de los frentes de Las Médulas quedaría por lógica entre estos extremos, esto es, menos que en acantilados sometidos a oleaje en su base y más que en zonas de montaña o en laderas en zonas secas.

Veamos que ocurre en zonas más comparables a los frentes de Las Médulas. En los cañones calizos como en el del Colorado, donde apenas hay efecto erosivo del río por la baja cantidad de agua que lleva, se han estimado por varios autores velocidades de erosión del orden de 1,5 mm por año y en cañones similares con materiales algo más blandos de la zona de Canyonlands estos valores aumentarían hasta 3-3,5 mm/año (Darling *et al.* 2018). En estimación aproximada para cañones calizos y formados por conglomerados resistentes en el valle del río Arlanza en la provincia de Burgos, estimamos de manera aproximada velocidades de 5 mm año en zonas donde había efectos erosivos del río en la base (Alejano *et al.* 2013). En un estudio de detalle en la cuenca del Duero en Almazán, Gutiérrez Elorza y Sesé Martínez (1999) estimaron rigurosamente tasas de erosión o retroceso de escarpes en el rango de 0,5 mm/año a



Figura 288. Zonas donde se observan fenómenos de erosión: A) formación Las Médulas cerca de la Cueva de la Encantada, donde se observa un ligero socavamiento erosivo del talud que ha producido pequeños desprendimientos. B) erosión de capas de finos de la zona de La Cuevona y C) una de las galerías de Orellán erosionada posiblemente por flujo forzado de agua.



Figura 289. Zonas donde se observan fenómenos de erosión-precipitación (chorretones) en las zonas de: A) La Cuevona y B) La Cueva de la Encantada.

10 mm/año para un periodo de miles de años, siendo los retrocesos mayores los ocurridos en periodos fríos. Estos extremos de valores podrían indicar una gama razonable para los frentes que aquí se estudian.

En nuestro caso tenemos conglomerados de resistencia media con materiales finos sensibles al agua que generan los chorretones mencionados y efecto de la gelifracción como se indicó. No existe efecto erosivo de base por presencia de corrientes de agua. En todo caso, aunque la matriz de los conglomerados disminuye su resistencia en contacto con el agua, sin embargo, los conglomerados son prácticamente impermeables lo que hace que esta erosión no progrese muy rápidamente.

Adicionalmente, esos fenómenos erosivos han debido influir en la geometría actual de Las Médulas. Para estimar esto, se ha tomado como ejemplo la geometría del talud izquierdo de la entrada hacia el interior del sector 3.11 por Prado Barroso (fig. 281) con la inclinación del terraplén del fondo de valle y se ha estimado la cantidad de material que ha podido ser erosionada. Para ello se ha supuesto que se ha producido un retroceso R del talud en 1800 años. Se asume que la zona erosionada en la zona baja sería ligeramente menor, pero que al caer el material esponja algo, con lo que estos fenómenos de pérdida y ganancia de volumen se equilibran. Se asume la geometría de material caído que se presenta en la fig. 290, considerando que por debajo del fondo del valle hay 8 metros de sedimentos, según comprobaron vecinos al limpiar los pozos de la zona. A su vez, se estima que el 25 % del material caído fue arrastrado por el viento y el agua. Con estas hipótesis y la geometría estimada a partir de la topografía de la zona y comparando los volúmenes de material erosionado y acumulado se estima un valor del retroceso de R = 7,5 metros en 1800 años, que se corresponde con una velocidad de erosión del frente de 4,2 mm al año.

Un cálculo similar para la zona bajo el mirador de Orellán, con frentes más altos (próximos a 100 metros) daría un valor similar, en este caso un retroceso de 9,6 metros en 1800 años y una velocidad de erosión de 5,3 mm al año. Estos valores del orden de 4-5 mm/año son orientativos y para su estimación se han realizado varias hipótesis estimativas de porcentaje de material arrastrado por el agua, esponjamiento del material al caer, etc., por lo que errores del 50 % no serían extraños. En todo caso, concuerdan en orden de magnitud con las gamas de valores establecidas por otros autores para situaciones similares. Un análisis de detalle de la posición actual de algunos frentes en relación con su posición en el momento del vuelo americano del año 1956 podría contribuir a ajustar estos valores, siendo esperables de acuerdo con los valores estimados ordenes de magnitud de entre 30 y 40 cm de retroceso desde dicha fecha.

Estos cálculos que indican tasas de retroceso de frentes por erosión de 4-5 mm/año ± 50 % son estimativos, pero pueden dar un orden de magnitud medio de la velocidad de erosión de los frentes, que además probablemente habrá sufrido variaciones, siendo más rápida en periodos fríos y húmedos y más lenta en periodos cálidos y secos.

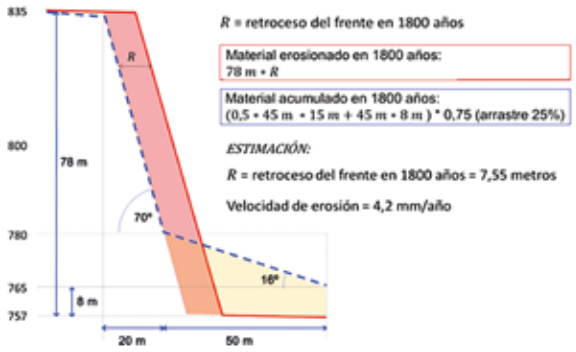


Figura 290. Geometría estimada de un frente de explotación en Valiñas cuando los romanos abandonaron la zona (rojo) y actualmente (azul a trazos) y estimación del retroceso por erosión del frente por comparación de volúmenes.



Figura 291. Presencia de galerías perpendiculares a los frentes: A) al fondo de Las Erbedeiras y B) galería erosionada en su base por circulación de agua accesible desde el mirador de Orellán.

E) Presencia de galerías erosionadas perpendiculares a los frentes

En varias zonas de Las Médulas se ha observado la presencia de galerías perpendiculares a los taludes verticales o frentes de explotación (fig. 291). Estas galerías presentan formas más altas que anchas, al revés que otras galerías típicas de igual anchura que altura.

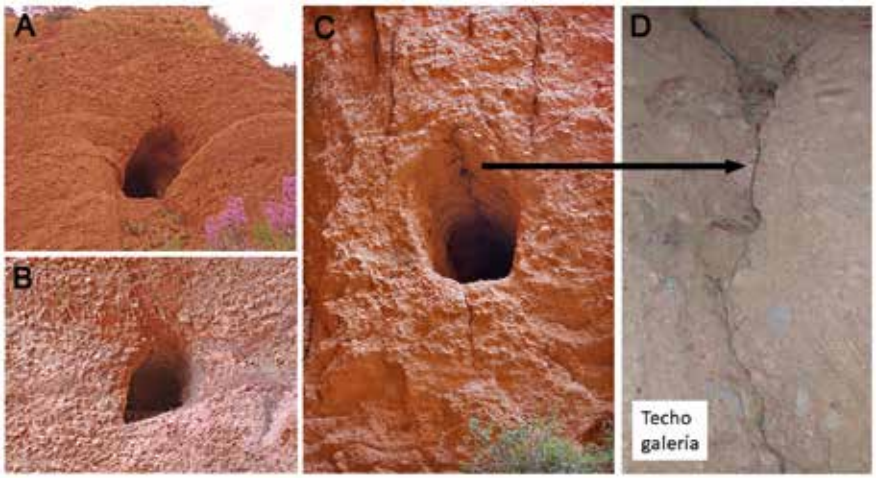


Figura 292. Galerías paralelas a los frentes verticales que muestran la salida de grietas de tracción desde su techo o su solera: A) frente oeste de Las Erbedeiras. B, C y D) La Encantada.

Donde se ha podido observar en detalle, parece que se han erosionado en su base por circulación de agua.

F) Presencia de galerías no erosionadas paralelas a los frentes

A su vez, se han observado en varias zonas de Las Médulas, y especialmente en el entorno de La Cueva da La Encantada y La Cuevona (fig. 292), galerías de similar anchura y altura (unos 2 m) excavadas en paralelo a los frentes, a poca distancia (5-10 m) de los mismos y a cierta altura sobre su base (10-15 m o más arriba, aunque este dato puede quedar enmascarado por la geomorfología actual).

Adicionalmente, en varias de estas galerías se ha observado la formación de grietas de tracción generadas desde su techo o base (fig. 292), indudablemente como respuesta mecánica del conglomerado a la carga soportada del terreno y la cercanía al talud vertical.

Una de estas grietas de tracción, en la única galería accesible de manera segura, se ha podido seguir a lo largo de su techo en toda la extensión (unos 10 m) de la galería paralela al frente accesible desde La Cueva de la Encantada (fig. 292, fotografías central y derecha).

Como se explicará con mayor detalle más adelante, estas grietas contribuirían a separar una zona de roca que luego podría comenzar a desgajarse totalmente del resto por las grietas de tracción previamente generadas y mediante fenómenos de superación de la resistencia al corte del terreno generada por el descalce del talud.

Sin embargo, en algunas galerías de esta geometría en la zona de Orellán (sector 3.11) y en la de Reirigo (sector 3.9), no se han observado estas grietas de tracción y en algunos casos las galerías no eran paralelas a los frentes, por lo que cabe concluir que algunas de estas galerías podrían tener otras funciones como, por ejemplo, canalizar el agua, en zonas donde no se podían hacer canales, hacia depósitos de agua en el perímetro de la explotación.

G) Comentario sobre la descripción de Plinio de la ruina montium

Para finalizar este apartado conviene considerar el pasaje concreto del libro XXXIII de la *Naturalis Historia* de Plinio el Viejo que se refiere a la *ruina montium*. De su descripción, se marcan en negrita los aspectos más relevantes desde el punto de vista técnico y se dejan en letra regular los que representan más bien opiniones o curiosidades a los ojos de este naturalista:

> «(70) El tercer procedimiento llega a superar las obras de los Gigantes. Mediante galerías hechas a lo largo de grandes espacios, se excavan los montes a la luz de las lámparas; la misma sirve de medida para los turnos, pues durante muchos meses no se ve el día.
>
> A este tipo lo llaman “arrugias”. De repente se producen desprendimientos y aplastan a los que están

trabajando, de modo que hasta buscar perlas y púrpuras en la profundidad del mar parece menos temerario. ¡Tanto más peligrosas hemos hecho las tierras! Por ello se dejan arcos a intervalos (*fornices crebri*) para sostener los montes. [...]

(72) Pues hay una tierra de un cierto tipo de arcilla mezclada con grava [es decir, el conglomerado aurífero] —la llaman "gangadia"— casi impenetrable. La atacan con cuñas de hierro y con los mismos martillos, pues nada consideran más duro, excepto que lo más duro por encima de todo es el hambre de oro. Terminada la obra (*peracto opere*) hacen caer los soportes de los arcos a partir del último; el derrumbe (*ruina*) da la señal que solo percibe el vigilante en la cumbre del monte. (73) Éste manda a voces y con gestos que se aparte a los trabajadores y al tiempo él mismo sale volando. El monte destrozado cae por sí solo con un gran estruendo (*longus fragor*) que no puede concebir la mente humana y al mismo tiempo con un vendaval increíble (*flatus incredibilis*). Contemplan victoriosos el derrumbe de la naturaleza. Sin embargo, ni todavía hay oro ni es posible saber si lo habrá cuando excaven, pero el hecho de esperar lo que deseaban había sido motivo suficiente para tan grandes peligros y gastos».

Resumiendo, los aspectos más importantes indicados incluyen las siguientes ideas:

1. Es necesario realizar galerías que cuesta mucho excavar.
2. A veces se producen accidentes, lo que implica que el método no era perfectamente controlado y se producirían muertes entre los operarios.
3. Indica que se dejaba algún tipo de sostenimiento que en su momento era retirado.
4. Un vigilante identificaba algún fenómeno indicativo del comienzo del colapso del talud.

El objetivo principal ahora es comprender cómo se llevaba a cabo de manera práctica y lo más exactamente posible la denominada *ruina montium*. Ya se ha señalado que en el pasado se sugirió que el efecto del golpe de ariete podría usarse para generar el hundimiento, algo que estudiaremos. En el texto de Plinio, el agua no se menciona explícitamente al respecto. Sin embargo, se menciona que se retiraban elementos de sostenimiento en un momento dado y que había un vigilante que podía identificar de alguna manera el inicio del proceso de colapso o hundimiento del talud.

9.3.3. Trabajos de laboratorio: caracterización de la matriz

Por su relación con el comportamiento geotécnico del macizo rocoso, es preciso determinar en laboratorio las propiedades geomecánicas y los parámetros-índice del material objeto de estudio. Para ello, se ha planteado la realización de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Difracción por rayos X de los materiales.
- Ensayo de ultrasonidos para determinar la velocidad de ondas p (v_p).
- Ensayo de densidad.
- Ensayo de resistencia a la compresión simple.
- Ensayo de carga puntual.
- Ensayo de penetración de aguja.
- Ensayo de resistencia a la tracción directa.
- Ensayo para la determinación de las características dispersivas de suelos arcillosos mediante *crumb test*.
- Alternativamente, se han realizado también granulometrías en las tres muestras representativas de la zona objeto de estudio en material parcialmente disgregado.

Los ensayos se han realizado tomando como base los distintos métodos sugeridos (o *Suggested Methods*) de la ISRM (2007), así como diversa normativa ASTM *(crumb test)* o UNE (granulometrías). Para la realización de estos ensayos se parte de algunos bloques de material recogidos en campo en tres zonas, específicamente designadas como La Cuevona (CP), El Covallón (YP) y La Encantada (EP) (fig. 293).

Para la realización de los ensayos se obtuvieron, en general, muestras paralelepipédicas. Se ha evitado el uso de muestras cilíndricas, debido a la imposibilidad de obtener este tipo de geometrías, tras sucesivas



Figura 293. Material recogido en campo para la realización de ensayos en las zonas de La Cuevona, A,La Encantada, B y El Covallón, C.

pruebas de perforación. En el caso de los ensayos de resistencia a la carga puntual, se utilizaron fragmentos irregulares que, en todo caso, presentaban geometrías adecuadas. Se describen, a continuación, los ensayos realizados, así como los resultados obtenidos.

A) Difracción de rayos X en las muestras estudiadas

La difractometría se puede utilizar para determinar la composición de muestras de suelos o minerales. Cada sustancia mineral forma cristales con una celda unidad y simetría determinada, que resulta en un patrón de difracción característico. La difracción por el método de polvo ha sido la utilizada para esta aplicación, por ser sencillo comparar el espaciado entre los anillos de difracción con los valores compilados en la literatura. Las proporciones relativas de los minerales presentes en una misma muestra se obtienen comparando las intensidades de sus respectivas líneas con aquellas de muestras de composición conocida.

Con el objetivo de determinar la composición mineralógica de las muestras, se llevó a cabo una cristalografía de rayos X en tres preparados obtenidos a partir de las mismas. En la tabla 48 se presentan los porcentajes aproximados de los componentes de cada muestra.

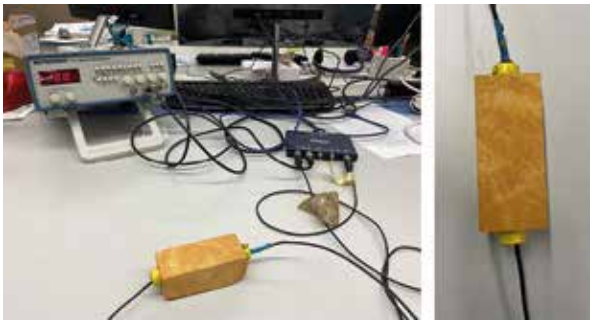


Figura 294. Ensayo de velocidad de propagación de ondas p en probetas de material recogido en campo. Detalle del sistema y de una probeta.

B) Ensayo de ultrasonidos para la determinación de la velocidad de ondas p (v_p)

El ensayo de ultrasonidos es ampliamente utilizado, como método no destructivo, para la caracterización de materiales rocosos (ISRM, 2007) y suelos. La

Minerales	Cuevona %	Encantada %	Covayón %	Promedio %
Moscovita	33,1	28,7	34,2	32,0
Cuarzo	55,8	62,3	55,6	57,9
Rutilo	1,53	1,33	0,98	1,28
Goethita	1,84	1,29	2,63	1,92
Caolinita	7,69	6,37	6,59	6,88

Tabla 48. Minerales y estimación de contenidos (%) basados en la DRX.

Probeta	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L (mm)	Δt_p (ms)	v_p (m/s)
CP-1	123,13	122,67	122,10	122,63	98,4	1246,3
CP-2	100,55	100,69	100,28	100,51	77,4	1298,5
EP-1	120,32	120,60	120,47	120,46	90,9	1325,2
EP-2	105,50	105,60	105,03	105,38	76,4	1379,3
YP-1	100,44	100,42	100,40	100,42	74,4	1349,7
YP-2	93,60	93,40	93,60	93,53	71,4	1310,0

Tabla 49. Longitudes medidas (Ln) y longitud media de las probetas (L) y resultados de los ensayos de ultrasonidos (Δt_p y v_p).

velocidad de propagación de las ondas P obtenida se puede correlacionar adicionalmente con parámetros mecánicos relevantes como la calidad geotécnica del material o su módulo de deformación elástica mediante diversas correlaciones (Barton 2002).

La propagación de ondas generadas por un osciloscopio se realiza a través de una probeta del material (fig. 294), registrando el tiempo transcurrido (Δt_p) entre la emisión del impulso (emisor) y su recepción (receptor). En este trabajo, se han determinado las velocidades de propagación de ondas p (v_p) en probetas prismáticas, situando el emisor y el receptor en el eje mayor (longitud). Los resultados de los ensayos, obtenidos para la longitud media de las probetas (L), se presentan en la tabla 49.

C) Ensayo de densidad

Debido a las características del material a ensayar, que impiden realizar una determinación de la densidad del material mediante la pesada hidrostática (este se desagrega parcialmente al ser sumergido en agua), este parámetro se ha obtenido mediante una medición de la masa y estimación geométrica del volumen en varias muestras prismáticas (fig. 295), a partir de mediciones realizadas con calibre. En la tabla 50 se presentan los resultados de densidad para varias probetas paralelepipédicas.

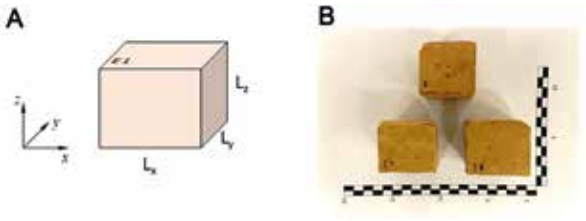


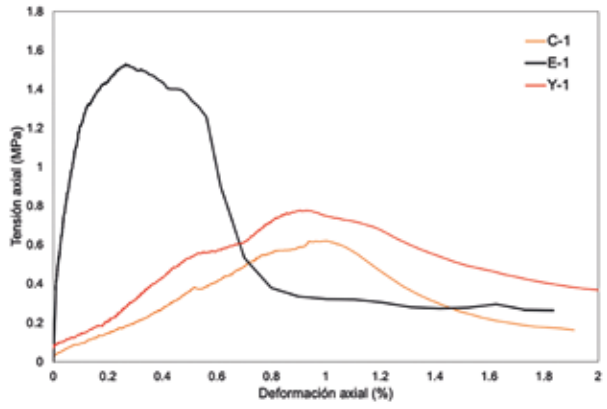
Figura 295. A) definición de las dimensiones según la posición de la probeta para calcular el volumen aproximado y B) ejemplo de probetas de la zona de La Encantada.

Probeta	L_x (mm)	L_y (mm)	L_z (mm)	Volumen, *V* (cm^3)	Masa, *m* (g)	Densidad, ρ (g/cm^3)
C1	49,98	49,05	46,73	114,56	228,6	2,00
C2	46,5	40,72	36,43	68,98	122,6	1,78
C3	46,4	40,66	40,55	76,50	138,9	1,82
E1	55,00	47,03	40,70	105,28	197,0	1,87
E2	49,41	43,53	36,37	78,23	147,6	1,89
E3	48,73	45,91	44,44	99,42	170,3	1,71
Y1	41,25	38,28	40,58	64,08	111,1	1,73
Y2	41,01	40,54	38,35	63,76	113,7	1,78
Y3	33,33	35,01	28,84	33,65	59,2	1,76

Tabla 50. Medidas de las probetas y valores obtenidos en la determinación de la densidad.

Muestra	L (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	A (mm²)	F (kN)	RCS (MPa)	E (GPa)
C-1	124	46,59	50,35	2345,81	1,5	0,62	0.63
E-1	119	43,47	45,66	1984,98	3,0	1,53	7,22
Y-1	95	42,30	41,05	1736,41	1,3	0,78	0,79

Tabla 51. Medidas de las probetas y resultados de los ensayos de resistencia a la compresión simple (RCS y E).





Figuras 296 y 297. Gráficas de tensión axial?deformación axial de los ensayos de resistencia a compresión simple realizados en muestras de La Cuevona (C-1), La Encantada (E-1) y El Covallón (Y-1) y estado de las probetas tras la realización de los ensayos (A, La Cuevona,B, La Encantada,C, El Covallón).

Teniendo en cuenta los resultados indicados en la tabla 50, la densidad media para el material de la zona de La Cuevona (ρ_C) se corresponde con un valor de 1,86 g/cm^3, para el material de la zona de La Encantada, ρ_E = 1,82 g/cm^3, y para la zona denominada El Covallón, ρ_Y = 1,76 g/cm^3.

D) Ensayo de resistencia a la compresión simple

Con el objetivo de determinar de manera directa la resistencia a la compresión uniaxial de los materiales, se realizaron tres ensayos en probetas prismáticas.[7]

Una vez cortadas las muestras prismáticas representativas de las tres zonas de las que se tomaron muestras, estas se han sometido a un proceso de carga creciente hasta alcanzar su resistencia máxima. Para ello, se dispone en el laboratorio de una prensa hidráulica formada por un marco de compresión con capacidad de carga de hasta 2000 kN que permite controlar y registrar la aplicación de la carga axial de manera suficientemente precisa.

Para el caso de los ensayos realizados en este trabajo, se aplicó una velocidad de carga aproximada de 0,1 kN/s. Asimismo, se registraron los desplazamientos por medio de *LVDTs* (transformador diferencial de variación lineal) que miden los desplazamientos entre las placas superior e inferior de la prensa en todos los ensayos.

En la fig. 296 se representan las curvas tensión-deformación de los tres ensayos, cuyos resultados se incluyen, junto con las dimensiones de las probetas, en la tabla 51. En las fotografías de la fig. 297 se muestra el estado de las probetas tras la realización de los ensayos de resistencia a la compresión simple.

E) Ensayo de carga puntual

El ensayo de carga puntual o *Point Load Test* se utiliza, principalmente, para determinar el índice de carga puntual o $I_{s(50)}$. Este índice se obtiene como resultado de aplicar una carga axial creciente a través

7 Aunque la metodología clásica sugiere probetas cilíndricas, tras varios ensayos de perforación en laboratorio fue imposible preparar probetas con esta geometría debido a la falta de consistencia de las muestras que se fracturaban al intentar ser perforadas.

Probeta	D (mm)	W (mm)	P (kN)	D_{eq} (mm^2)	I_s (kN/mm^2)	Is(50) (kN/mm^2)	σ_c (MPa)	σ_c media (MPa)
CI1	45	40	0,11	2291,83	0,05	0,05	0,67	1,04
CI2	30	40	0,13	1527,89	0,09	0,08	1,09	
CI3	30	30	0,13	1145,92	0,11	0,10	1,36	
EI1	35	45	0,19	2005,35	0,09	0,09	1,29	0,81
EI2	40	45	0,05	2291,83	0,02	0,02	0,31	
EI3	40	41	0,13	2088,11	0,06	0,06	0,85	
YI1	40	60	0,29	3055,77	0,09	0,10	1,42	1,29
YI2	22	41	0,10	1148,46	0,09	0,07	1,04	
YI3	34	30	0,15	1298,70	0,12	0,10	1,42	

Tabla 52. Medidas de las probetas y resultados de los ensayos de carga puntual. Se presenta una estimación de la resistencia a la compresión simple utilizando la correlación propuesta en Rabat ***et al.*** 2020.



Figura 298. Detalle de las puntas cónicas del ensayo de carga puntual y fragmento de roca del material de La Cuevona, sometido al ensayo.

de dos puntas cónicas, a un testigo cilíndrico o trozo irregular de roca situado entre ellas, hasta el fallo del material que se está ensayando.

A partir del índice $I_{s(50)}$, se puede predecir, mediante diversas correlaciones, el valor aproximado de la resistencia a la compresión simple del material. En la fotografía de la fig. 298, se muestra un detalle del equipo y las puntas cónicas mediante las cuales se aplica la carga, con un fragmento de roca sometido a este ensayo. Para este estudio, se ha recurrido a una correlación (ecuación 1) obtenida para rocas blandas (limolitas) propuesta por Rabat *et al.* (2020), donde UCS es la resistencia a la compresión simple. Los resultados se presentan en la tabla 52.

$$UCS = 14.2573 \bullet I_{s(50)} \quad (1)$$

F) Ensayo de penetración de aguja

Mediante el ensayo de penetración de aguja, se puede determinar el índice de penetración de la aguja o *needle penetration index* (indicado, normalmente, en unidades de fuerza/distancia). Este índice se puede utilizar para estimar otras propiedades mecánicas de las rocas como, por ejemplo, la resistencia a la compresión simple (ISRM 2007).

El ensayo consiste en la hinca de una aguja acoplada a un aparato (penetrómetro) en la superficie de una muestra de roca. El penetrómetro permite registrar tanto la fuerza ejercida en la hinca de la aguja, como la longitud de penetración de esta para una fuerza dada. En la fotografía de la fig. 299A se muestra un ejemplo de realización de un ensayo y en la fig. 299B un detalle de la aguja y de la marca dejada por la aguja en la roca.

Para el presente estudio, la estimación de la resistencia a la compresión simple del material se realizó mediante las correlaciones propuestas por Rabat *et al.* (2020) y por Aydan (2012) para rocas blandas tipo limolitas (Ecuaciones 2 y 3, respectivamente) y también mediante la correlación establecida por Okada *et al.* (1985) (ecuación 4.4).

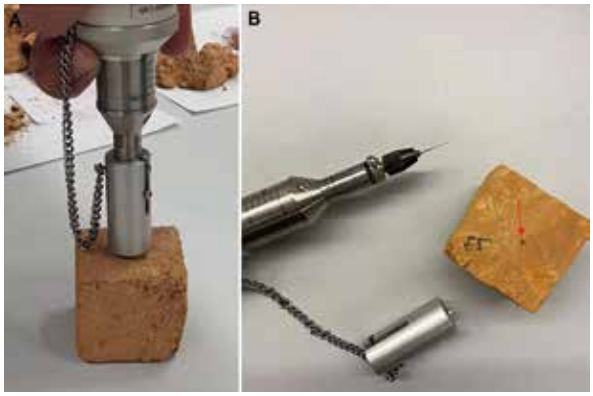


Figura 299. A) realización de un ensayo de penetración de aguja en una probeta de la zona de La Cuevona. B) detalle de la aguja y de la marca (indicada con una flecha roja) dejada por la misma en la superficie del material de la zona de La Encantada.

$$UCS = 0{,}13389 \bullet NPI \quad (2)$$

$$UCS = 0{,}2 \bullet NPl \quad (3)$$

$$\log UCS = 0{,}978 \bullet \log NPI + 1{,}599 \quad (4)$$

En la tabla 53 se presentan los resultados de diversos ensayos realizados en probetas de las tres zonas estudiadas en este trabajo, así como los valores de resistencia a la compresión simple obtenidos mediante las correlaciones anteriormente indicadas.

G) Ensayo de resistencia a la tracción directa

En paralelo a los ensayos de resistencia a la compresión simple, se realizaron también tres ensayos de resistencia a la tracción directa (RTD) en probetas prismáticas. Para ello, se adaptaron dos cilindros (platos) de acero, soldando un elemento tipo argolla a cada uno, que permitiese la conexión, mediante cables de acero, a los platos de una prensa universal *Shimadzu Autograph* con una capacidad máxima de carga de 250 kN. Para este tipo de ensayos, se seleccionó una velocidad de carga muy baja, alrededor de 1,5 N/s.

Probeta	F (N)	D (mm)	NPI (N/mm)	σ_c (MPa) [Rabat et al 2020)]	σ_c media (MPa) [Rabat et al. (2020)]	σ_c (MPa) [Aydan (2012)]	σ_c media (MPa) [Aydan (2012)]	σ_c (MPa) [Okada et al. (1985)]	σ_c media (MPa) [Okada et al. (1985)]
CN1	100	9,5	10,53	1,41		2,11		0,50	
CN2	100	6	16,67	2,23		3,33		0,61	
CN3	100	6	16,67	2,23	2,07	3,33	3,09	0,61	0,59
CN4	100	6	16,67	2,23		3,33		0,61	
CN5	100	6	16,67	2,23		3,33		0,61	
EN1	100	6	16,67	2,23		3,33		0,61	
EN2	100	6	16,67	2,23		3,33		0,61	
EN3	100	6	16,67	2,23	2,23	3,33	3,33	0,61	0,61
EN4	100	6	16,67	2,23		3,33		0,61	
EN5	100	6	16,67	2,23		3,33		0,61	
YN1	100	5	20,00	2,68		4,00		0,66	
YN2	100	3	33,33	4,46		6,67		0,82	
YN3	100	3	33,33	4,46	3,88	6,67	5,80	0,82	0,77
YN4	100	4	25,00	3,35		5,00		0,72	
YN5	100	3	33,33	4,46		6,67		0,82	

Tabla 53. Resultados de los ensayos de penetración de aguja (F = fuerza aplicada mediante el penetrómetro; D = profundidad de la hinca de la aguja). La estimación de la resistencia a la compresión simple se ha realizado mediante diversas correlaciones.

Muestra	W1 (mm)	W2 (mm)	A (mm^2)	F (kN)	RTD (MPa)
CT-2	37,5	41,4	1552,5	0,11	0,07
ET-2	42,6	41,9	1784,94	0,15	0,08
YT-2	44,4	47,1	2091,24	0,23	0,11

Tabla 54. Medidas de las probetas y resultados de los ensayos de resistencia a la tracción directa (CT-2, la Cuevona; ET-2, la Encantada; YT-2, el Covallón).

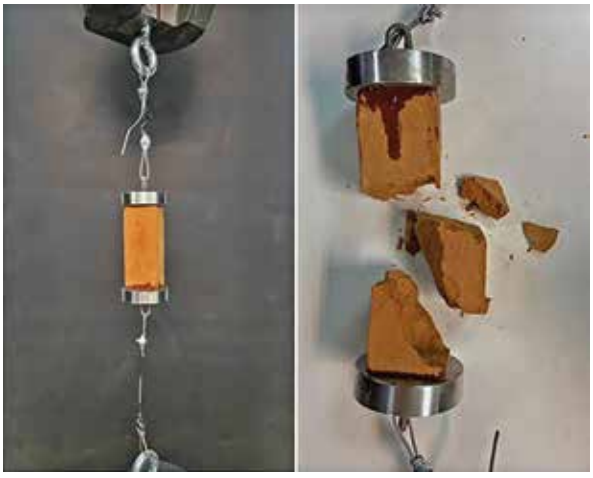


Figura 300. Montaje general de un ensayo de tracción directa y probeta de la zona de la Encantada después del ensayo.

En la fig. 300 se muestra una vista general del ensayo y una probeta de la zona de la Encantada después del mismo. Los resultados de los ensayos se presentan en la tabla 54, junto con las medidas de las geometrías de las probetas. Como se observa el valor medio sería de 0,09 MPa o 90 kPa.

H) Granulometrías en los materiales disgregados

Con el objetivo de obtener una distribución de los tamaños de grano de las muestras de material disgregado, se han realizado tres granulometrías. Para ello, cada muestra se desmenuzó cuidadosamente con la ayuda de un mazo de goma (para evitar la rotura de cantos).

Después de la preparación de las muestras, se cuarteó cada una de ellas para obtener una cantidad representativa. El tamizado de los materiales se realizó con la ayuda de un agitador electromecánico.

Para realizar una clasificación de las muestras analizadas, se deben calcular algunos parámetros, que se indican a continuación:

- D: tamaño máximo de las partículas (mm).
- D_{10}: abertura (mm) por la que pasa el 10 % del pasante; tamaño máximo de partícula del 10 % del pasante.
- D_{30}: abertura (mm)por la que pasa el 30 % del pasante; tamaño máximo de partícula del 30 % del pasante.
- D_{60}: abertura (mm)por la que pasa el 60 % del pasante; tamaño máximo de partícula del 60 % del pasante.

Estos índices se resumen, para cada muestra, en la tabla 55, junto con los coeficientes de uniformidad (C_u) y de curvatura (C_c). A partir de estos índices y coeficientes, se puede realizar una clasificación preliminar de los suelos analizados, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM D2487). Así, la muestra correspondiente a la zona de La Cuevona es una arena mal graduada con escasa presencia de finos (SP). La muestra correspondiente a la zona de la Encantada es una arena limosa (mezclas de arena y algo de limo), la cual podría denominarse SP-SM. Igualmente, la muestra correspondiente a la zona de El Covallón se clasificaría como una arena limosa (mezcla de arena y algo de limo).

A partir de esta granulometría de las muestras de roca disgregadas se puede concluir que estos materiales de la matriz serían arenas finas con posible presencia de algunos limos y que estarían sometidas a bastante consolidación.

Para este tipo de materiales Hough (1969) y otros autores sugieren un ángulo de fricción en la

Criterio o coeficiente	Cuevona	Encantada	Covallón	Cuevona		Encantada		Covallón	
				Tamaño de partícula (mm)		Tamaño de partícula (mm)		Tamaño de partícula (mm)	
% de pasante por el tamiz n.º 4 (5 mm)	96.65	98.22	99.96	D	10	D	12.5	D	5
% de pasante por el tamiz n.º 10 (2 mm)	88.90	89.20	95.32	D_{10}	0.15	D_{10}	0.10	D_{10}	0.08
% de pasante por el tamiz n.º 40 (0.4 mm)	36.52	39.27	48.43	D_{30}	0.30	D_{30}	0.30	D_{30}	0.15
% de pasante por el tamiz n.º 200 (0.08 mm)	2.39	6.76	9.97	D_{60}	0.70	D_{60}	0.70	D_{60}	0.60
Coeficiente de uniformidad, C_u	$C_u = D_{60} / D_{10}$			4.67		7.00		7.50	
Coeficiente de curvatura, C_c	$C_c = (D_{30})^2 / D_{60} \times D_{10}$			0.857		0.469		1.286	

Tabla 55. Índices granulométricos y coeficientes para las tres muestras analizadas.

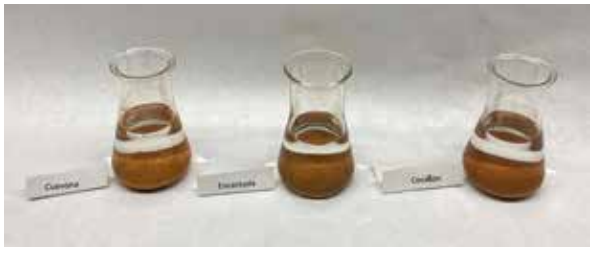


Figura 301. Estado de las muestras del material analizado a los 15' de ser sumergidas en agua destilada (*crumb test*).

gama 32-36°, de forma que estimamos para estos materiales un ángulo de fricción promedio de 34°.

I) Ensayo para la determinación de las características dispersivas de suelos arcillosos mediante crumb test

Aunque no se pueden considerar como suelos arcillosos las muestras analizadas en el seno de este estudio, se han realizado varios ensayos tipo *crumb test* para evaluar, de manera más o menos indicativa, cualquier tipo de tendencia al comportamiento dispersivo.

Para ello se seleccionó un pequeño fragmento de cada muestra, y se introdujo cada uno de ellos en un matraz previamente lleno de agua destilada a temperatura ambiente. Se observó el comportamiento de cada muestra a lo largo del tiempo. En los tres ensayos realizados, se comprobó que todas las muestras se disgregaban tras ser sumergidas, antes de que transcurriesen entre 10 y 20 minutos. Los resultados de estos ensayos se muestran en la fig. 301.

J) Parámetros geomecánicos medios de la matriz

A la luz de los resultados de los ensayos y teniendo en cuenta las características específicas de las muestras tomadas se puede proponer como resistencia a compresión simple media estimativa 1,5 MPa. Aunque los valores medios den algo más bajos (en torno a 1 MPa), se toma un valor algo más alto por considerar que algunas muestras se han podido deteriorar en el proceso de transporte y preparación.

Conociendo la compresión simple estimada (σ_c = 1,5 MPa) y el ángulo de fricción estimado de la naturaleza del material en el apartado anterior (φ = 34°), se puede estimar que la cohesión estimativa de estos materiales es de 400 kPa.

En cuanto a la resistencia a tracción simple de la matriz se puede estimar como el valor medio aproximado de los ensayos de tracción directa y por tanto σ_t = 0,09 MPa = 90 kPa.

En cuanto a la densidad media se estima en 1,85 g/cm^3.

9.3.4. Estimación del comportamiento del material in-situ

A) Introducción

Algunas obras se construyen en formaciones geológicas complejas: conglomerados, brechas de falla,

rocas piroclásticas gruesas... Este tipo de materiales geológicos son generalmente muy heterogéneos y caóticos. Los macizos rocosos de este tipo que están compuestos por inclusiones rocosas relativamente duras, rodeados por una matriz más débil son normalmente denominados *bimrocks* (*block-in-matrix-rocks;* Medley 1994). La preparación de probetas de este tipo de macizos rocosos para realizar ensayos de laboratorio convencionales es prácticamente imposible. Aunque en varios casos se han llevado a cabo intentos de superar esta dificultad mediante el desarrollo de enfoques empíricos basados en casos específicos y estudios de laboratorio sobre *bimrocks*, no existe un enfoque comúnmente aceptado.

Adicionalmente, las *bimrocks* se deben separar en dos grupos de comportamiento diferente, a saber, *bimrocks* soldadas y sin soldar. Las *bimrocks* que se formaron a niveles de presión y temperatura elevada, se denominan *bimrocks* soldados y en su caso es posible en ocasiones obtener probetas (Alejano *et al.* 2013). En este caso, la resistencia de los contactos entre la matriz y bloques se acepta como aproximadamente igual a la de matriz para *bimrocks* soldadas.

Las *bimrocks* que se formaron a niveles de presión y temperatura bajas, como el caso de los conglomerados de origen aluvial que nos ocupan, no presentan una marcada cementación y se denominan *bimrocks no soldadas*. El comportamiento resistente de las *bimrocks* sin soldar es diferente al de las soldadas. Como demostraron Lindquist (1994) y Lindquist y Goodman (1994), cuando el porcentaje volumétrico de bloques o *VBP* por sus siglas en inglés aumenta, también lo hace el ángulo de fricción interna (φ), mientras que la cohesión y la resistencia a compresión simple, disminuyen.

Para caracterizar este tipo de *bimrocks* no soldadas acudiremos a la propuesta realizada por Sonmez *et al*. (2009) y posteriormente formalizada por Kalender *et al*. (2014) que propone la estimación del comportamiento de estos materiales a partir del comportamiento de la matriz, las características físicas de los contactos y el ángulo de reposo de los clastos separados de la matriz. En todo caso debe considerarse un método indicativo, basado en la recopilación de la información del comportamiento de varios materiales de este tipo, que nos dará una idea inicial estimativa del comportamiento de los conglomerados a escala de los taludes observados en Las Médulas.

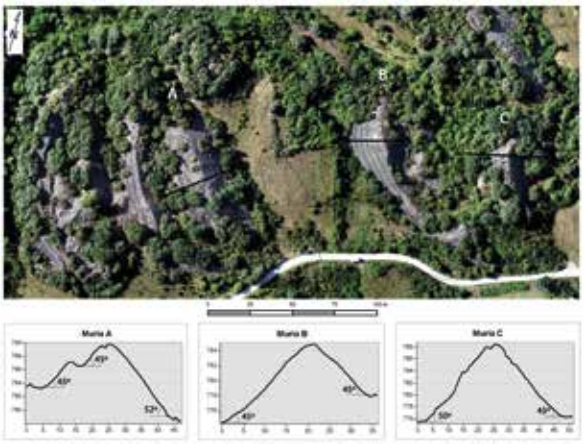


Figura 302. Acumulaciones de estériles gruesos o "murias" en el sector 3.7, entre Chaos da Cruz y Os Muriacales da Balouta.

B) Obtención de parámetros básicos

Para poder aplicar el método antedicho es necesario conocer los parámetros del comportamiento de la matriz que se han presentado en el apartado 9.3.3. Adicionalmente, es necesario estimar el ángulo máximo de reposo de los clastos o cantos rodados derivados de los conglomerados estudiados y un parámetro A que denota el nivel de adhesión entre los clastos y la matriz. Adicionalmente, es necesario conocer el porcentaje en volumen de clastos *(VBP)* cuyo estudio se presenta en el siguiente punto.

En cuanto al ángulo de reposo de los clastos se han observado en la zona de Las Médulas las denominadas *murias* o montones de cantos rodados que los romanos iban retirando ordenadamente a un lado a lo largo del proceso minero. Tras varias observaciones en la zona se ha estimado que este valor máximo sería de en torno a unos 45º (fig. 302). El parámetro para utilizar en los cálculos es la relación:

$$\tan(\text{ángulo de reposo}) / \tan(\varphi \text{ matriz}) = \tan(45º) / \tan(35º) = 1{,}48$$

Descripción	Valor de A
Mínima adherencia (cohesión) entre clastos y matriz con bloques redondeados.	0
Débil adherencia (cohesión) entre clastos y matriz con bloques semi-redondeados.	10
Adhesión moderada (cohesión) entre clastos y matriz con bloques semi-angulosos.	50
Adhesión fuerte (pero menos que la cohesión de matriz) entre clastos y matriz con clastos muy angulosos	500

Tabla 56. Estimación del parámetro de adhesión según Sonmez *et al.* (2009).

El parámetro A se estima en función del nivel de adhesión entre clastos y matriz según la tabla 56. En el caso de nuestro conglomerado la adherencia es entre media y moderada y los clastos son semi redondeados pero con formas a veces angulosas. De esta manera se ha estimado la adhesión como intermedia entre las dos clases centrales de la tabla 56 y se toma un valor de 25.

C) Obtención del porcentaje volumétrico de bloques (VBP)

Como se ha indicado, este es un parámetro relevante, que obviamente puede variar por zonas. En observaciones estimativas en campo, en varias zonas representativas se han estimado visualmente valores en la gama entre 50 y 90 %. Dada la relevancia de este parámetro se ha acudido a técnicas más avanzadas para lo que se ha realizado el desarrollo de una aplicación para determinar la proporción volumétrica de bloques de manera automática a partir de fotografías.

Ya se ha señalado que las formaciones encontradas en el entorno de Las Médulas se pueden clasificar como *bimrocks,* cuyo comportamiento depende del porcentaje de bloques o clastos, siendo este un parámetro difícil de estimar. El tamaño de los clastos suele ser variable, normalmente del orden de centímetros, pudiendo aparecer fragmentos de hasta 1 m de diámetro (por ejemplo, en la Formación Santalla). Por tanto, el objetivo de esta sección es estimar del valor de la proporción volumétrica de bloques *(Volumetric Block Proportion, VBP)* para poder obtener estimaciones de propiedades mecánicas y friccionales del conjunto. Estas estimaciones del *VBP* suelen realizarse *de visu* en campo, o a partir de fotografías de los taludes. Este proceso puede resultar tedioso, además de sesgado dependiendo de la persona que realice la estimación.

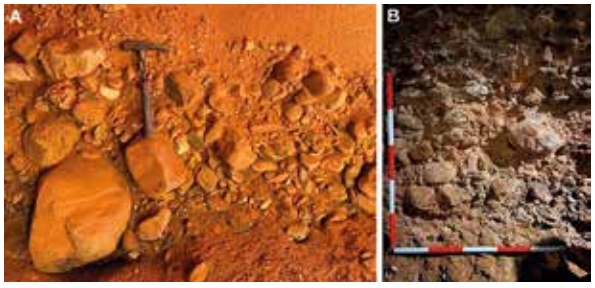


Figura 303. Formato de las fotografías sin tratar para la implementación del reconocimiento automático de cantos: A) 2048 × 1536 píxeles y B) 1536 × 2048 píxeles.

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente, se decidió investigar la posibilidad de realizar una estimación automática del *VBP* a partir de imágenes de los taludes del entorno de Las Médulas, identificando los cantos que aparecen en las fotografías y estimando qué porcentaje representan en función del área analizada. Aprovechando las técnicas y algoritmos actuales de visión artificial, se intentó desarrollar una aplicación en el lenguaje de programación *Python,* que estimase dicha proporción volumétrica de bloques de manera automática. Este problema planteado se engloba dentro del campo de la segmentación de imágenes y la detección de bordes, y representa un problema de clasificación.

C.1. Base de datos

Con el objetivo de disponer de información fotográfica de las zonas objeto de estudio, se tomaron un total de 72 fotografías en diversos puntos.[8] Las fotografías

8 Estas se realizaron con un teléfono iPhone 11, el cual dispone de una cámara con doble objetivo, con un sensor de 12 MP.

presentan un formato de bien m × n, o bien n × m píxeles, siendo m = 2048 y n = 1536, y una resolución de 72 ppp (fig. 303A y B). Estas fotografías conformarán la base para el desarrollo de la aplicación. Para agilizar el proceso de lectura de las imágenes con el código, se adecuaron sus posiciones para que todas estuviesen en el formato mostrado en la fig. 303B, es decir, 1536 × 2048 píxeles.

C.2. Metodología

La primera parte del problema consiste en poder dividir o segmentar las imágenes de cara a definir qué partes son cantos, y qué parte es matriz. Para ello, se planteó realizar una detección de bordes automática, con el objetivo de aislar los cantos identificados.

Tras considerar diversas metodologías existentes, se optó por el modelo *Segment Anything Model (SAM),* recientemente desarrollado por Meta AI (Kirillov *et al.* 2023) y programado en el lenguaje de código abierto Python.

La característica más relevante de este modelo es que ya está entrenado mediante un vasto y muy variado conjunto de imágenes previamente segmentadas (del orden de 11 millones), sobre las cuales se han aplicado, en total, más de 1000 millones de máscaras (es decir, se han reconocido más de 1000 millones de elementos en las mismas por usuarios colaboradores). Este modelo es de libre distribución y, además, su programación permite realizar un cálculo aproximado del *VPM* (ya que ofrece el valor del área segmentada en píxeles al cuadrado, así como la distribución por tamaños de los objetos detectados).

En la fig. 304 se muestra el resultado para la imagen seleccionada (IMG 6701), tras ser analizada con el modelo *SAM,* además de la máscara (objetos reconocidos) de manera aislada.

Hasta el momento, se seleccionaron varias fotografías representativas de diferentes zonas de Las Médulas de cara a probar el funcionamiento del algoritmo. Se realizaron pruebas con las imágenes en su tamaño original, y reduciendo este a la mitad, lo cual disminuye los tiempos de análisis de manera relevante, sin afectar al resultado.

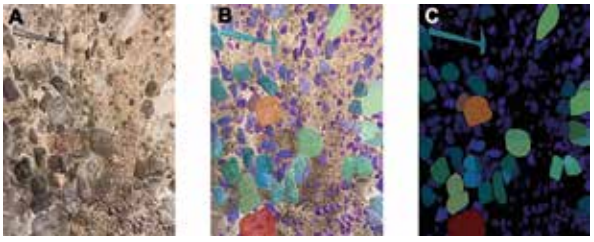


Figura 304. A) fotografía original del material. B) fotografía con los cantos reconocidos por el modelo y C) máscaras aisladas de la fotografía. El color asignado a cada objeto detectado es función de su área.

En la fig. 305 se muestran algunos ejemplos, junto con los histogramas donde se representan las áreas segmentadas, en función del tamaño de cada máscara. Si bien estos histogramas no ofrecen directamente el tamaño de los bloques, sí permiten tener una idea de su tipo de distribución en la zona de estudio.

C.3. Valores obtenidos

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, es posible obtener, para cada fotografía, el área total segmentada (A_s), es decir, el área correspondiente a los cantos identificados. Como también se conoce el área total de cada fotografía (A), pues es fija e igual a 1536 × 2048 píxeles^2, se puede conocer la proporción volumétrica de bloques o *VBP* a partir de la siguiente ecuación:

$$VBP\,(\%) = As / A \times 100$$

Así, se pueden estimar los valores de *VBP* para las fotografías mostradas en este documento, y que se presentan en la tabla 57.

Imagen	*VBP* (%)
IMG 6701	63,82
IMG 6710	57,90
IMG 6716	64,40
IMG 6762	88,71

Tabla 57. Valores del *VBP* estimados mediante segmentación de imágenes con el algoritmo SAM.

Finalmente, se ha estimado como gama típica del *VBP* para los conglomerados de Las Médulas un

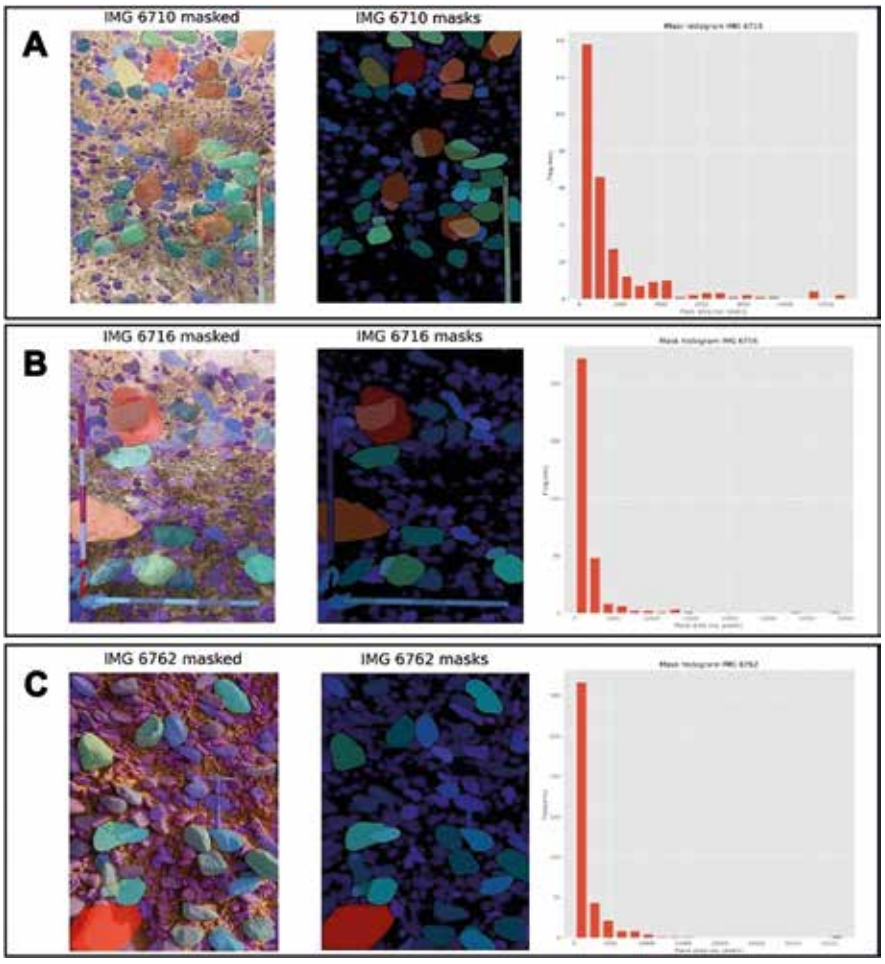


Figura 305. Imágenes segmentadas mediante el algoritmo SAM e histogramas correspondientes a las distribuciones de bloques de cada fotografía analizada.

valor en el intervalo 60-65 %, aunque se entiende que puede haber bastante variabilidad, especialmente en las zonas con bandas de finos detectadas durante la caracterización de campo.

D) Estimación de parámetros de los conglomerados de Las Médulas (bimrocks) *mediante un método empírico*

Dado que se conoce la resistencia a compresión simple de la matriz (σ_c) y se ha estimado el parámetro A, se puede estimar la reducción de esta al pasar de matriz a *bimrock* mediante el ábaco de la fig. 306B. Como se observa, se producirá una reducción al 70 % de la resistencia de la matriz al pasar al *bimrock*, quedando en un valor estimativo de 1,05 MPa.

Para estimar el aumento del ángulo de fricción se usa el parámetro de relación entre el ángulo de reposo de los clastos y el de fricción de la matriz que para el *VBP* estimado produce un multiplicador de la fricción de la matriz de 1.48 (fig. 306A), lo que genera un ángulo de fricción de la *bimrock* de 48º.

Con estos valores se puede, además, computar la cohesión estimada de los conglomerados de Las Médulas en un valor de unos 200 kPa (fig. 306B).

En cuanto a la densidad, dado que se ha estimado un valor de 1,85 g/cm^3 para la matriz, y de 2,6 g/cm^3 típica de las cuarcitas y otras rocas para los clastos, que ocupan el 60-65 % del volumen de la roca, se obtienen una densidad media estimada de 2,3 g/cm^3 para los conglomerados.

En cuanto a la resistencia a tracción del conglomerado, esta debería ser levemente superior a la de la matriz, ya que para generarse grietas de tracción habrá que bordear los clastos de roca dura. Se ha

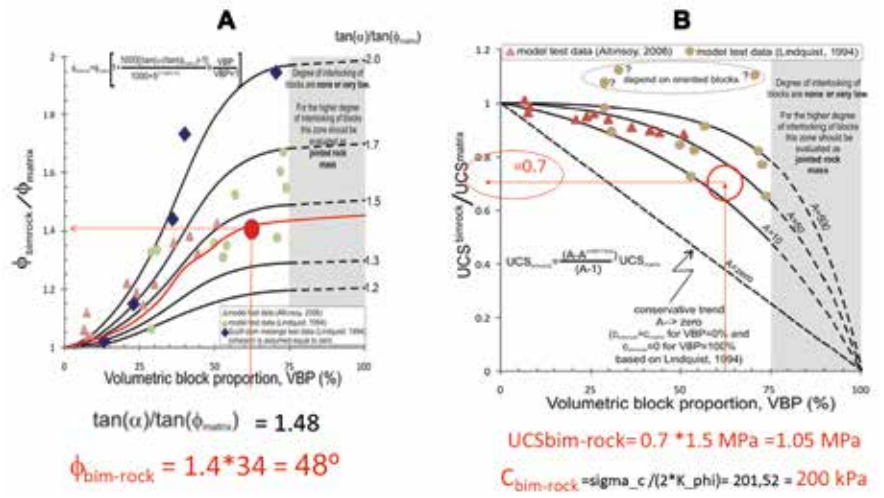


Figura 306. Aplicación de los ábacos de cálculo de los parámetros resistentes de *bimrocks* no-soldadas a los conglomerados de Las Médulas: A) ábaco de cálculo del ángulo de fricción y B) ábaco de cálculo de la resistencia a compresión simple.

seleccionado, así, un valor de 1,5 veces el observado en laboratorio y, por tanto, 0,14 MPa o 140 kPa.

En cuanto al módulo elástico, en la matriz se han observado valores entre 0,7 y 7 GPa, pareciendo un valor intermedio (3 GPa) razonable para la matriz.

Típicamente en estos materiales, la deformabilidad vendrá marcada por aquellos más blandos, esto es, por la matriz, por lo que el módulo elástico estimativo se puede considerar levemente superior al de esta y por tanto en torno a 4 GPa. Un coeficiente de Poisson de 0,25 es un valor razonable para estos materiales y en general para suelos duros y rocas blandas. Conviene, en todo caso, indicar que los parámetros elásticos mencionados en este párrafo no tienen una gran influencia sobre la respuesta a la rotura de la roca, por lo que una estimación poco exacta suele influir muy poco en los resultados. En todo caso, se han calculado por ser necesarios para los cálculos numéricos.

La tabla 58 presenta los parámetros estimativos del comportamiento de los conglomerados de Las Médulas. Se trata de una primera aproximación. Con más tiempo y ensayos se podrían afinar algo más estos resultados.

E) Análisis retrospectivo de estabilidad de taludes

Se puede realizar una pequeña comprobación de la exactitud de los valores de los parámetros resistentes atendiendo a metodologías empíricas. Así, se puede calcular retrospectivamente la gama de valores de cohesión y fricción que harían que un talud estuviera en equilibrio límite frente a la rotura circular

	Descripción	Valor
Valores básicos	Densidad (g/cm^3)	2,3
	VBP (%)	60-65
	A (-)	20
Parámetros resistentes	Cohesión (kPa)	200
	Fricción (º)	48
	Resistencia a compresión (kPa)	1050
	Resistencia a tracción (kPa)	140
Parámetros elásticos	Módulo de Young (GPa)	4
	Coeficiente de Poisson (-).	0,25

Tabla 58. Propiedades mecánicas de los conglomerados de Las Médulas.

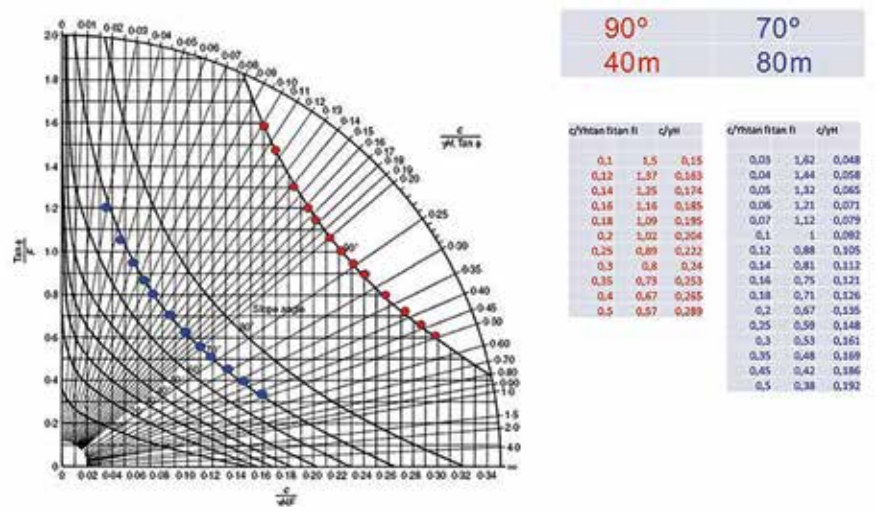


Figura 307. Aplicación de los ábacos de Hoek y Bray (1974) para rotura circular en seco a taludes de 40 metros de altura y 90° de pendiente y de 80 metros de altura y 70° de pendiente.

atendiendo a su altura e inclinación, y si estos se han visto en la práctica, la cohesión y fricción reales deberían quedar por encima de esos umbrales.

De esta manera se ha observado a partir de la topografía de Las Médulas, razonablemente exacta, taludes estables verticales de 40 m y taludes estables de hasta 80 m con inclinaciones estimadas en plano en 70°. A partir de estos valores y de los ábacos de Hoek y Bray (1974), se pueden obtener los pares de valores de cohesión y fricción que harían a esos taludes estar en equilibrio límite (fig. 307).

Estos valores se han representado en una gráfica cohesión-fricción (fig. 308), observándose que los parámetros estimativos de resistencia de los conglomerados arriba calculados se encuentran por encima de las líneas de cálculos, lo que indica que con esos parámetros los taludes serían estables, tal y como se han observado en campo. Adicionalmente, el valor estimado de c-φ (punto rojo en la gráfica de la fig. 308) se encuentran solo ligeramente por encima de estas líneas, lo que indica que estos taludes no se encuentran demasiado lejos de un potencial desequilibrio, algo que parece razonable a la luz de las observaciones realizadas en campo.

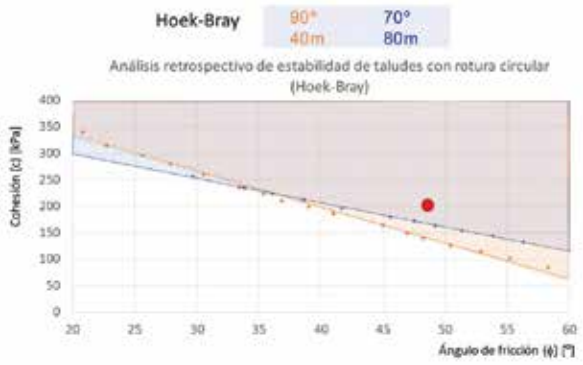


Figura 308. Gráficas de cohesión?fricción que marcan la estabilidad de los taludes analizados (zonas superiores) y localización de los valores estimados para los conglomerados de Las Médulas.

9.3.5. Mecánica de fluidos y *ruina montium*

Como se ha señalado ya con anterioridad (en el apartado 9.2 y al comienzo de este mismo, 9.3), una de las hipótesis para explicar la *ruina montium* implicaba el uso del denominado *golpe de ariete*.

A) Fenómeno del golpe de ariete

El fenómeno de golpe de ariete (*water hammer* en inglés) se puede producir exclusivamente en conductos funcionando a carga, es decir, en tuberías, cuando el fluido llena toda la sección del conducto.[9]

9 En canales, es decir, en conductos en los que el fluido no llena toda la sección, existe un fenómeno asociado, denominado resalte hidráulico, en el que la altura de la superficie libre cambia y viaja a lo largo del canal. Este fenómeno no tiene las consecuencias graves en términos de presiones y sobrepresiones para el conducto, que sí tiene el denominado *golpe de ariete*.

Es un fenómeno que, en caso de producirse, genera ondas de sobrepresión y depresión de fuerte intensidad que viajan dentro del conducto a grandes velocidades, que en algunos casos pueden llegar a ser del orden de los 1000 m/s (Viedma y Zamora 1997), siendo estas ondas reflejadas. Por ejemplo, la primera fase de la onda de golpe de ariete que se produjese en una tubería de 100 m de longitud tardaría aproximadamente una décima de segundo en recorrer la tubería. Generalmente cada ciclo del golpe de ariete está formado por 4 fases, 4 reflexiones de la onda, que recorren la tubería. Además, se suelen dar varios ciclos del golpe de ariete en la tubería, cada vez de menor intensidad respecto al primero debido a la energía que se pierde por fricción con las paredes de la tubería.

Estas ondas pueden llegar a comprometer una instalación hidráulica y, en el caso aquí estudiado, se está valorando si podrían ser capaces de producir un derrumbamiento de un frente grande de montaña.

El golpe de ariete se genera al producirse un cambio súbito de velocidad en el conducto, que, en el contexto de este trabajo, se conseguiría bien porque se cierra o bien porque se abre súbitamente una válvula o compuerta en la tubería.[10] El concepto de súbito o rápido es crucial para que se produzca el golpe de ariete. Cuanto más larga es la tubería, más fácil es que el cierre o apertura de la válvula (es decir, la anulación o la aparición de caudal en las tuberías) genere el fenómeno del golpe de ariete.

Existen dos tipos de golpe de ariete: uno muy rápido, denominado de cierre instantáneo, de consecuencias más severas para la integridad de la instalación y otro que, aunque rápido, es más lento y gradual que el anterior, en el que también se generan sobrepresiones y depresiones grandes, aunque inferiores al golpe de ariete instantáneo.

10 Dentro del golpe de ariete también se considera el efecto producido por el aire al escapar a la atmósfera por grietas del conducto. Esto podría ocurrir en zonas de elevada presión en tuberías (por ejemplo, en el punto más bajo de un sifón invertido). Ese escape súbito de aire generaría ondas de presión que recorrerían la tubería.

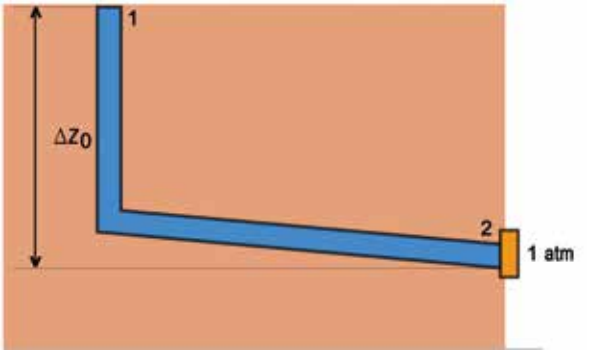


Figura 309. Esquema de una galería formada por un pozo vertical y un tramo de menor pendiente.

En el fenómeno de golpe de ariete, se considera un cierre instantáneo aquel en el que el tiempo de anulación o apertura de caudal, t_0, es menor que el tiempo de ida y vuelta, t_{iv}, que tarda la onda de presión en recorrer la tubería:

Cierre instantáneo: $t_0 \geq t_{iv} = 2L/c$

donde L es la longitud de la tubería y c es la celeridad de la onda, típicamente del orden de 1000 m/s, cuyo valor exacto depende del material y dimensiones del conducto.

El cierre rápido, pero no instantáneo, es aquel en el que el tiempo de anulación o apertura de caudal, t_0, es mayor que el tiempo de ida y vuelta t_{iv} pero menor que el tiempo de residencia de las partículas fluidas en el interior del conducto, t_{res}:

Cierre rápido, pero no instantáneo:
$t_{res} = L/V \geq t_0 \geq t_{iv} = 2L/c$

donde V es la velocidad que tiene el fluido en el interior del conducto, e igual al caudal Q que circula por la tubería, dividido por la sección de la misma:

$$V = Q / (\varpi D^2 / 4)$$

De nuevo, pongamos números en esta descripción. Supongamos una tubería (formada por un pozo vertical y un tramo largo casi horizontal) como la de la fig. 297, de longitud total L = 200 m de longitud,



Figura 310. Hipótesis sobre el tamaño del frente de explotación del mirador de Orellán.

sección transversal A_0 igual a unos 2 m^2, y con un desnivel inicial del agua entre los extremos de la tubería de $\Delta Z_0 = Z_1 - Z_2 = 100$ m.

Supongamos también que la tubería está completamente llena de agua en reposo y que se encuentra cerrada por su extremo más bajo (punto 2 de la fig. 309) mediante un dispositivo (una compuerta, rocas, un tramo de montaña sin excavar...), que impide su descarga a la atmósfera, tal y como indica la fig. 309. Supongamos que la apertura de la compuerta se realiza rápidamente, es decir, se consigue abrir el conducto en tiempos t_0 muy cortos, del orden de segundos. Cuanto menor sea ese tiempo, más potente será el fenómeno de ariete. En este caso, el tiempo de ida y vuelta de la onda, t_{iv}, será:

$$t_{iv} = 2L/c \sim 2 \times 2000 \text{ m}/1000 \text{ m/s} = 0{,}4 \text{ s}$$

Por un período muy corto de tiempo se tiene una onda viajando a elevada velocidad por el conducto, capaz de generar un vacío y una sobrepresión muy grande en la conducción. Asociada al paso de las ondas de vacío y sobrepresión, que generan esfuerzos normales a las paredes del conducto, se producen además grandes cambios de velocidad cerca de las paredes, que generan a su vez grandes esfuerzos tangenciales sobre las paredes del conducto durante el paso de la onda.

Finalmente, conviene destacar que, cuanto más larga es la tubería, más fácil es que el cierre o apertura de la válvula (es decir, la anulación o la aparición de caudal en las tuberías) genere el fenómeno del golpe de ariete, y este, además, será más severo. Asimismo, cuanto menor es el diámetro del conducto, mayor es la velocidad del fluido en su interior y, por tanto, se producirán sobrepresiones y depresiones de mayor amplitud. De la misma manera, cuanto menor es el tiempo de apertura, mayor es la intensidad del golpe de ariete.

B) Evaluación del golpe de ariete como hipótesis

De cara a dimensionar los escenarios, se toma como ejemplo el frente de explotación situado en el mirador de Orellán, que en planta podría estimarse de unos 100 m de longitud en línea recta y alrededor de unos 30-35 m de anchura (fig. 310). En cuanto a la altura/profundidad del frente que podría haberse explotado por *ruina montium,* el dato a escoger puede presentar más incertidumbre. Si bien la diferencia de altura entre la parte más elevada del frente y la inferior es actualmente de unos 40 a 60 m, la altura original del frente explotado probablemente fuese mayor, ya que parte del material abatido se acumuló en la zona baja.

Por ello, se tendrán en cuenta dos posibles alturas del frente: 45 y 90 m, respectivamente, que representarían dos casos límite de la altura de explotación.

Una vez fijadas las posibles longitudes y alturas del frente de explotación, es necesario estimar la

dimensión de los conductos o galerías excavados en el interior del frente explotado. Dado que es necesario que la excavación se realizase manualmente, la sección de los conductos excavados no pudo ser inferior (de media)[11] a los 1,5 m^2. Esta cifra podría corresponder a unas dimensiones (altura y anchura) de galería de 1,7 m × 0,9 m. Dado que los programas numéricos de cálculo de golpe de ariete únicamente manejan tuberías de sección circular, es necesario calcular el diámetro equivalente de conducto de sección circular. Esta área correspondería a un conducto de sección circular de diámetro equivalente, D = 1,38 m.

B.1. Definición de escenarios

A continuación, se propone definir los siguientes escenarios, mostrados en las figs. 311 y 312, compatibles con las dimensiones anteriormente presentadas.

En el primer escenario (fig. 311) se considera un sistema de galerías compuesto principalmente por un tramo descendente, de longitud L_2 y un único tramo largo de galería prácticamente horizontal, de longitud L_1, que vendría a estar excavado en la base del volumen que se buscaría desplomar. La galería horizontal en su extremo A no tiene salida. Todas las tuberías tienen el mismo diámetro D. En el estudio se considera que todas las galerías están inicialmente (en t = 0) llenas de agua. Es decir, previamente se han llenado las galerías con agua desde un depósito situado en la parte superior de la explotación.[12] La sección S marcada en rojo localiza la zona donde se ubicaría la salida del agua al exterior, una vez se abriese el sistema de retención (o cediese por la presión del agua). Inicialmente (en t = 0), esta salida S está cerrada.

En este tipo de sistema excavado de galerías, denominado E1, se estudian dos casos distintos, cada uno de ellos con distinta altura H:

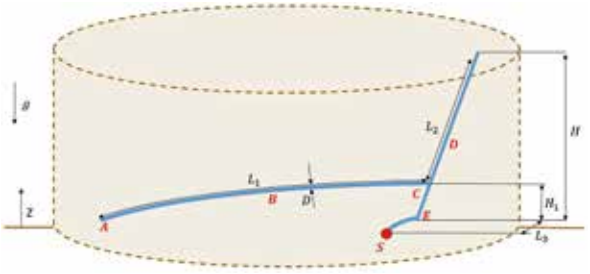


Figura 311. Esquema del escenario 1 (E1).

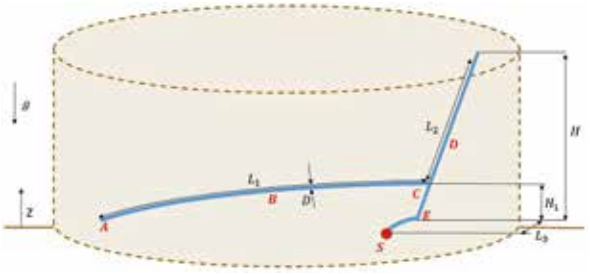


Figura 312. Esquema del escenario 2 (E2).

- Caso E1.1: H = 45 m.
- Caso E1.2: H = 90 m.

Para el primer caso E1.1, el volumen de agua inicial en el interior del sistema de galerías asciende a 260 m^3, mientras que para el caso E1.2 es de 402 m^3.

Asimismo, en la fig. 312 se muestra un segundo escenario, denominado E2, que difiere del anterior, en que se presentan dos tramos adicionales de largas galerías (prácticamente horizontales y de longitudes igual a L_1) por encima y por debajo de la galería considerada en el anterior escenario.

De forma análoga, se definen dos casos distintos con distinta profundidad del sistema de galerías:

- Caso E2.1: H = 45 m.
- Caso E2.2: H = 90 m.

Los volúmenes iniciales de agua en el interior del sistema de galerías son para estos dos casos, 620 y 761 m^3, respectivamente.[13]

11 Es posible que las galerías fuesen más estrechas en los tramos finales, lo que ayudaría a intensificar el fenómeno de golpe de ariete. Se toma este valor de sección 1,5 m^2 como un posible valor de referencia medio.

12 En el caso del frente de explotación de Orellán, la capacidad del depósito de agua para la explotación por el sistema de la *ruina montium* se estima igual a unos 18 000 m^3 de agua.

13 El volumen en el sistema de galerías es muy inferior al volumen disponible en los depósitos de agua de la explotación (ver tabla 23 en el apartado 5.3).

Caso	D[m]	L_1[m]	L_2[m]	L_3[m]	H[m]	H_1[m]	H_2[m]
E1.1	1.38	120	50	5	45	5	–
E1.2	1.38	120	144	5	90	5	–
E2.1	1.38	120	50	5	45	5	5
E2.2	1.38	120	144	5	90	5	5
E2.3	1.38	120	144	5	90	5	40
E2.4	1.38	120	144	5	90	5	75

Tabla 59. Evaluación del golpe de ariete como hipótesis. Valores de las dimensiones según los casos de los dos escenarios considerados. Dimensiones: D = diámetro. L = longitud. H = altura (ver figuras 311 y 312).

En la tabla 59 se indican los valores de las dimensiones del problema para los escenarios contemplados.

Respecto al tiempo de apertura de la salida *S*, crítico para el cálculo del golpe de ariete, se ha tomado un valor fijo igual para todos los casos estudiados de:

$$t_{0=} 4\ \text{s}$$

Aunque se ha comentado anteriormente, conviene insistir en que cuanto más pequeño sea este valor, más grandes van a ser los efectos del golpe de ariete sobre las galerías. Asimismo, en el cálculo de la celeridad de las ondas en las galerías, se ha tomado un valor constante e igual a $c = 1400\ m/s$ para todos los cálculos. En los cálculos de golpe de ariete, no se han tenido en cuenta pérdidas de carga secundarias en la red de tuberías, pero sí las pérdidas por fricción, asumiendo una elevada rugosidad ε de las paredes interiores de las galerías, igual a ε = 10 mm. La presión atmosférica en las simulaciones se tomó igual a 101 325 Pa. El tiempo total de flujo simulado se fija a 10 s.

El software de cálculo usado para evaluar el golpe de ariete en los distintos escenarios es el software Allievi13 (2018), desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, con licencia gratuita sin publicidad ni límites. Allievi es un software profesional para el cálculo y simulación de transitorios hidráulicos en sistemas a presión y en lámina libre que usa el método de las características. Primero realiza un cálculo del régimen permanente de la instalación para usarlo como como condiciones iniciales para la simulación del transitorio, que es donde puede aparecer el fenómeno de golpe de ariete. El manejo por parte del usuario es relativamente sencillo.

B.2. Conclusiones desde el punto de vista de la mecánica de fluidos

Se han realizado cálculos numéricos de golpe de ariete sobre distintos escenarios, diseñados a partir de una serie de conjeturas (sobre la disposición y dimensiones) de una red de galerías excavadas dentro de la zona de explotación. Los cálculos llevados a cabo han permitido cuantificar las cargas de presión que generaría un golpe de ariete, asumiendo un tiempo de apertura de la descarga determinado.

A la vista de los resultados, dependiendo de la longitud de las tuberías y del tiempo de apertura de la descarga del sistema de tubería, se han obtenido amplitudes de oscilaciones de presión del orden de ± 1,5 MPa en tiempos característicos muy cortos, del orden del segundo. Asimismo, se ha indicado que, si el tiempo de apertura de la retención es súbito, por debajo de décimas de segundo (lo que solo podría conseguirse con un *reventón* de la salida), el fenómeno de golpe de ariete es más intenso, pudiendo generarse oscilaciones de presión más elevadas. Debería comprobarse ahora, si este tipo de oscilaciones de presión pueden o no generar grietas en las formaciones de la zona que, eventualmente, generen el derrumbe de la zona de explotación. Para ello, es imprescindible contar con expertos en mecánica de rocas que aporten luz sobre este tema.

Por otro lado, sería necesario evaluar otra hipótesis de partida, que es el vuelco por erosión

mediante circulación continua de agua por galerías internas y externas (dirigidas hacia la base del frente de explotación). En el caso del frente de explotación de Orellán, la capacidad del depósito de agua para la explotación de *ruina montium* se estima en algo más de 10 000 m^3 de agua (ver apartado 5.3.1, tabla 23). Sin embargo, el volumen estimado de agua en las posibles galerías necesario para un golpe de ariete (al menos para los escenarios aquí contemplados) podría ser del orden de unos 1000 m^3. Por tanto, parece que esos depósitos podrían estar sobredimensionados si solo están orientados a una explotación mediante golpe de ariete. Quizás, el tamaño del depósito pueda estar indicando la necesidad de circulación constante de agua por las galerías, y, por tanto, más en la línea del proceso por erosión.

C) Implicaciones para la estabilidad

Los efectos de las sobrepresiones por golpe de ariete pueden tener una influencia muy grande en tuberías debido a su espesor, típicamente pequeño, que hace que su resistencia, especialmente a compresión, no sea demasiado elevada. Sin embargo, la roca que rodea una galería sería equivalente a una tubería de roca de metros de espesor, por lo que estos efectos de sobrepresión dinámicos, pues duran pocos instantes, no deberían afectar de manera muy relevante.

En el caso de la fracturación hidráulica, técnica utilizada hoy en día comúnmente en el ámbito de la ingeniería del petróleo para generar fisuras en la roca y aumentar la permeabilidad de las formaciones, se aplican típicamente presiones de agua de algunas decenas de MPa, es decir, muy por encima de las que se podrían generar por golpe de ariete.

En el caso que nos ocupa, ilustrado en la figura 313, y considerando que efectivamente se hubieran generado golpes de ariete con picos de tensión de hasta 1 o 1,5 MPa de compresión o tracción, y aunque estos valores están incluso algo por encima de la resistencia a compresión simple estimada para matriz y valores de tracción varias veces superiores al del material, la roca rodea completamente la galería, no es un tubo, por lo que parece complicado que esto pudiera afectar mucho a su estabilidad general y resultaría imposible que esas tensiones puntuales pudieran romper y movilizar la roca para generar en incluso desencadenar una *ruina montium*.

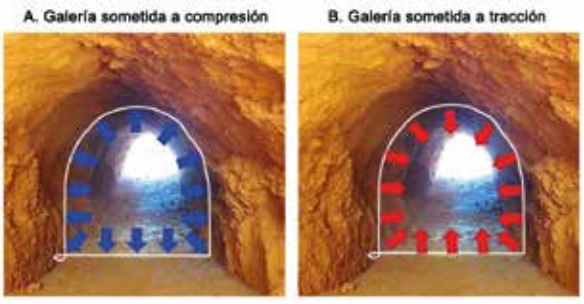


Figura 313. Ilustración indicativa del posible efecto de golpe de ariete sobre las galerías de las Médulas.

En el caso de una onda de compresión (fig. 313A), esta no debería afectar apenas nada, incluso, de alguna manera, contribuiría a restablecer el equilibrio tensional de antes de excavar la galería. En el caso de la tracción (fig. 313B) esta podría contribuir a la erosión de las paredes de la galería, arrancando algún clasto del conglomerado. En este sentido, puede que circulaciones fuertes de agua, más que golpes de ariete propiamente dichos, fueran utilizadas para erosionar, especialmente en su parte baja algunas de las galerías perpendiculares a los frentes observados en Las Médulas (ver apartado 9.3.2.E).

Tal vez, en algunas circunstancias, como por ejemplo en caso de galerías previamente agrietadas por su posición y geometría, estas presiones sí podrían contribuir levemente a condicionar la estabilidad de las galerías, sobre todo por entrada de agua en grietas y deterioro de propiedades.

En todo caso, y para concluir, no existe constancia de que los romanos estuvieran familiarizados con el concepto del golpe de ariete. Además, lograr las condiciones para que se diera este fenómeno en el ámbito de las geometrías observadas en Las Médulas resultaría muy complicado y las fuentes literarias antiguas, es decir, Plinio el Viejo, no indican nada que permita suponer que se usaron este tipo de técnicas. Adicionalmente, en el caso de que se hubieran logrado aplicar, su repercusión sobre la estabilidad del entramado minero sería, como mucho, escasa.

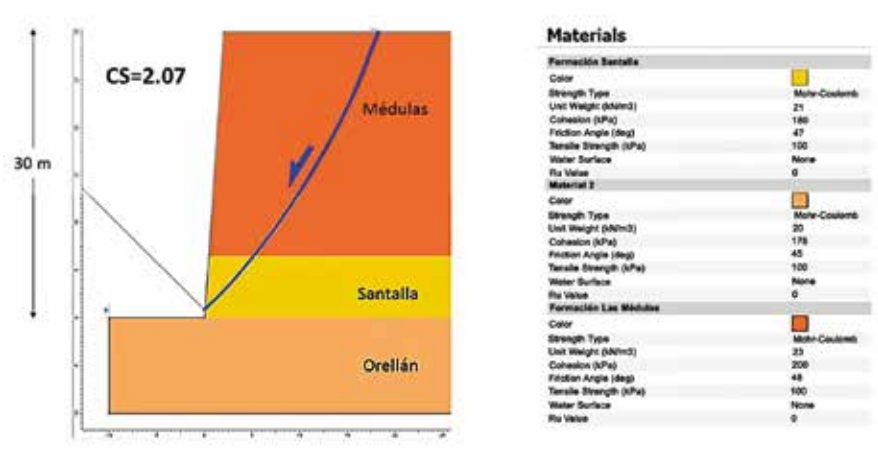


Figura 314. Análisis de estabilidad frente a rotura circular de un talud sub?vertical de 30 m en los conglomerados de Las Médulas.



Figura 315. Mecanismos de inestabilidad de taludes por rotura circular que, como se observa, dejan marcas claramente curvadas en el terreno.

Por todo ello, en definitiva, se considera que la hipótesis de que un fenómeno tipo golpe de ariete fuera usado para desencadenar el derrumbamiento de un frente minero por *ruina montium* resulta poco plausible.

Esto no implica que otros usos del agua, como la inundación de galerías, el flujo rápido de agua por las mismas o su utilización para la erosión del terreno en zonas blandas, no pudieran ser usados para favorecer la *ruina montium*.

9.3.6. Hacia una explicación de la *ruina montium*

En este apartado se presentan razonamientos propios de la mecánica de rocas y la minería, de cara a poder explicar las técnicas que se pudieron utilizar para explotar las zonas ricas de oro de Las Médulas situadas sobre todo hacia la base de la formación Santalla, de manera que sean compatibles con las observaciones realizadas en la zona y las fuentes literarias antigua, en particular, la mencionada descripción de Plinio el Viejo al respecto.

A) Roturas de taludes que dejan taludes verticales

Si los romanos hubieran excavado taludes verticales hasta una altura tal que se produjera su inestabilidad, el mecanismo natural de caída de los mismos habría sido una rotura circular.

Por ejemplo, en la figura 314 obtenida con el programa de cálculo de rotura de taludes por rotura circular SLIDE (Rocsience 2020), se observa un cálculo de rotura circular con parámetros aproximados a los conglomerados de Las Médulas, que indica, primero, que un talud de 30 m de altura sub-vertical habría sido muy estable, como cabría esperar a la luz de los resultados del análisis del apartado 9.3.4.E (coeficiente de seguridad mayor que 2), pero que, de caer, seguiría una trayectoria circular como la curva azul indicada en la figura 314, incompatible con los taludes sub-verticales observados en la zona.

Así, el resultado en el terreno de roturas circulares genera estas superficies curvas muy marcadas como las que se pueden apreciar en la figura 315, que incluye una rotura controlada en una mina a cielo abierto de cobre en Arizona (A) y una rotura natural en una zona de cañones en Marte, en una instantánea recogida por la NASA (B).

Sin embargo, es claro que los taludes que se observan en Las Médulas son sub-verticales. Haciendo una revisión práctica y de acuerdo con la literatura

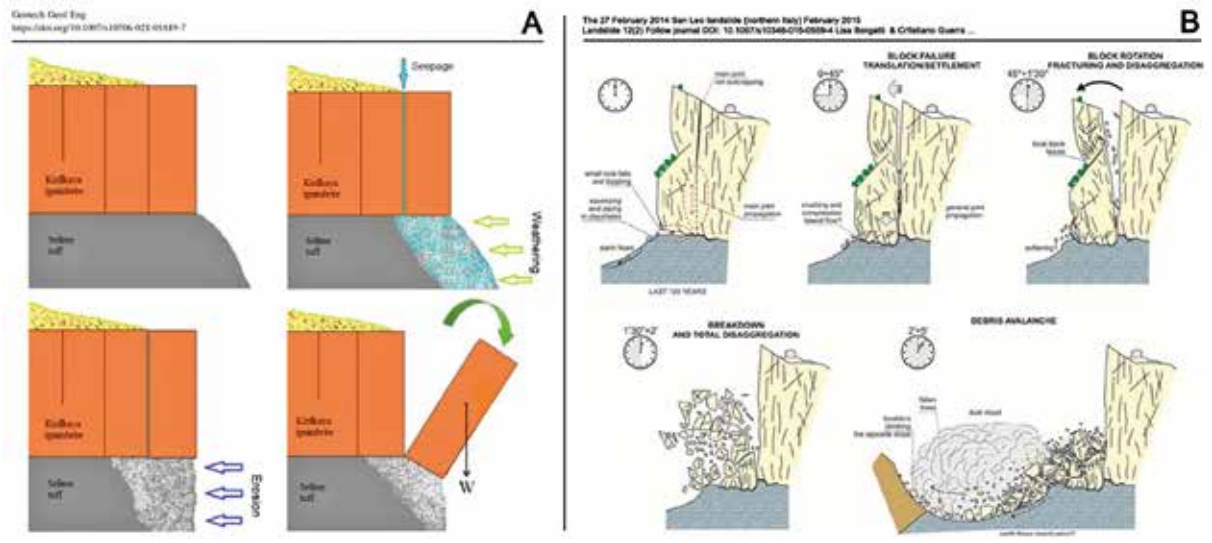


Figura 316. A) vuelco secundario de capas de basalto sobre toba volcánica en Capadocia (Sari 2021, fig. 3). B) vuelco secundario de una pared de roca en Italia (deslizamiento de San Leo) por colapso de una cavidad pre-existente, equivalente al socavamiento del cantil (Borgatti *et al.* 2015).

en ingeniería geológica de en qué situaciones se pueden generar taludes de este tipo, encontramos que en general los taludes verticales o sub-verticales van asociados a mecanismos de vuelco (Goodman y Bray 1976; Alejano *et al.* 2010), y que en algunas ocasiones estos pueden venir inducidos por fenómenos de socavamiento.

En términos de ingeniería geológica actual, este tipo de mecanismos que pueden ocurrir de forma natural por la acción del mar socavando acantilados, la meteorización y erosión de la base de un talud vertical en macizos con juntas verticales (fig. 316A), el hundimiento de cavidades que socavan taludes verticales o acantilados (fig. 316B) o incluso por erosión eólica como en Monument Valley en Arizona (EE. UU.), suelen denominarse siguiendo la nomenclatura de Goodman y Bray (1976), mecanismos de vuelco secundarios y se caracterizan por que suelen generar paredes sub-verticales, algo claramente observable en Las Médulas.

También puede darse este tipo de mecanismos, como se ha mencionado en el apartado 9.3.2.C, por el socavamiento de un borde de arroyo asociado a la erosión generada por el propio curso (fig. 317). En todos estos casos se generan taludes verticales o sub-verticales similares a los que se observan en Las Médulas. Todos ellos llevan consigo una acción de socavamiento o debilitamiento o meteorización en

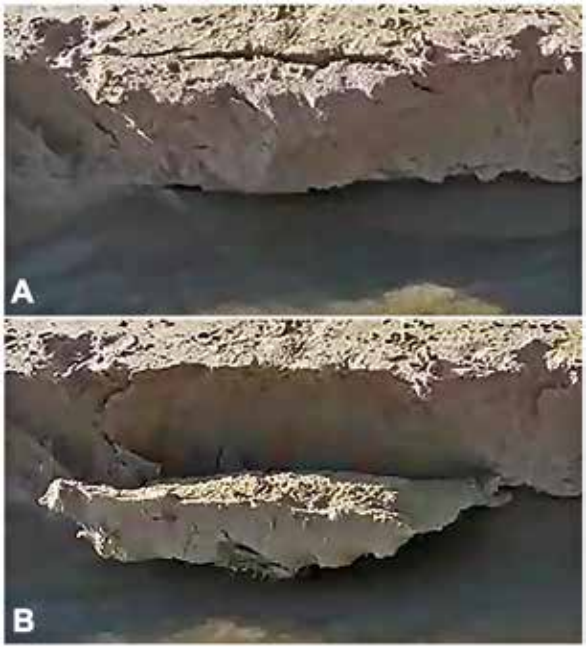


Figura 317. Mecanismos de vuelco por socavamiento del borde de un arroyo en una playa de arena: A) apertura de una grieta de tracción. B) vuelco de bloque inducido por socavamiento.

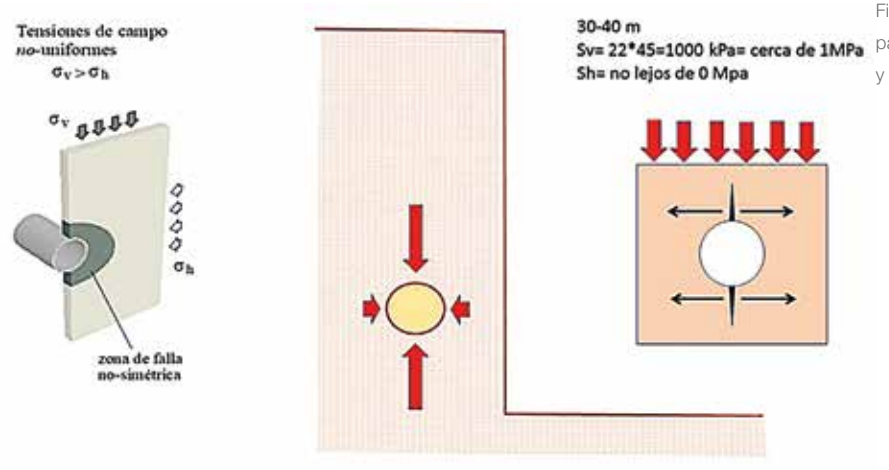


Figura 318. Localización de galería paralela a un talud vertical para análisis y cálculo de tensiones.

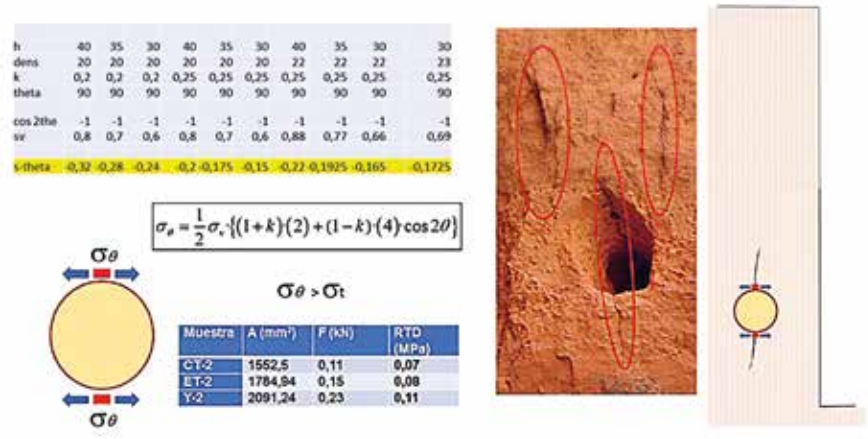


Figura 319. Análisis y cálculo de tensiones y constatación de tensiones de tracción superiores a la resistencia de la roca en la base y techo de la galería. Fotografía de una galería de este tipo junto a La Cueva de la Encantada donde se aprecian las grietas de tracción generadas.

la base del talud y en todos ellos es necesaria la existencia o generación de discontinuidades sub-verticales paralelas al talud, que permitan la separación de bloques más o menos prismáticos que puedan volcar.

Para forzar este tipo de mecanismos, por tanto, habría que socavar o debilitar la base. Se podría, sencillamente, excavar mecánicamente (a pico y pala) en la base de la Formación Santalla, lo que tendría mucho riesgo. Tal vez fuera posible forzar la circulación de agua por un canal en la base para ir poco a poco erosionando el pie de la Formación Santalla hacia el interior del talud para ir socavándolo. Esta técnica también tendría cierto riesgo. Para ambos tipos de socavamiento, si se entibara o sostuviera lo socavado con postes de madera, la respuesta de estos (la madera de roble chirría antes de romperse) podría ser indicativa de la respuesta del talud.

Aparte del socavamiento, es necesaria la existencia o generación de grietas o discontinuidades verticales paralelas al talud. En el caso de las Médulas, los conglomerados carecen de estas discontinuidades. Sin embargo, y tal y como se ha indicado en el apartado 9.3.2.E, los romanos indudablemente excavaron galerías paralelas a los frentes.

Si se hace un análisis tensional de una de estas galerías, por ejemplo, situada a una altura de 10 m sobre el pie y 5 m hacia el interior de un talud vertical de 30 o 40 m en un material como los conglomerados de Las Médulas (fig. 292), se podrían calcular

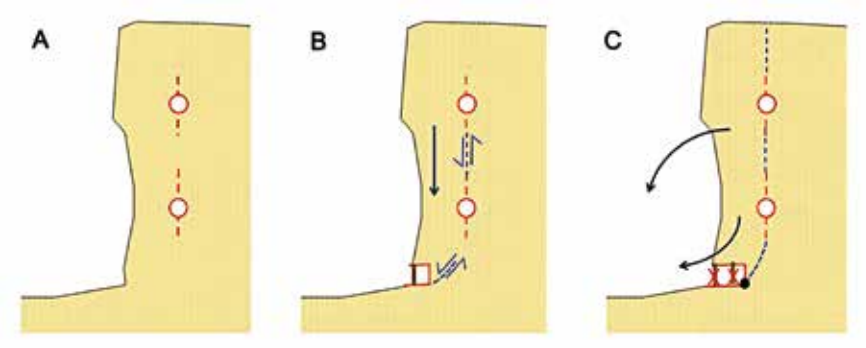


Figura 320. Pasos mecánicos básicos que podrían generar un fenómeno del tipo descrito en la *ruina montium:* A) excavación de galerías que generan grietas subverticales. B) socavamiento del talud por algún método (picando, erosionando) que genera cortantes en la base y cortante en la parte superior del talud. C) retirada del sostenimiento y hundimiento con separación de bloques y potenciales vuelcos: *ruina montium*.

las tensiones tangenciales en los puntos superior e inferior de dicha galería, mediante las fórmulas de Kirsch (1898).

Haciendo dicho cálculo para varios posibles escenarios, se observa que esas tensiones siempre serían negativas (de tracción) y siempre estarán por encima de 0,15 MPa, valor estimado como resistencia a tracción de los conglomerados (fig. 318).

Esto indica que se generarían grietas de tracción en la base y cúpula (punto más alto) de las galerías, grietas que podrían propagarse. Como ilustra la fotografía de la figura 319, este cálculo teórico queda refrendado por las grietas observadas en el entorno de una galería de este tipo en la zona de A Cova da Encantada, dentro del sector 3.11 de Las Médulas. Estas grietas tienen una extensión vertical hacia arriba y abajo de varios metros, y la grieta superior puede seguirse los aproximadamente 10 m que tiene de corrida la galería (fig. 319).

B) Posible mecanismo tipo ruina montium

Así pues, ya tenemos unas grietas verticales que podrían propagarse (fig. 320A). Si a la presencia de estas grietas añadimos un fenómeno de socavamiento en la base, el peso del bloque que se vaya generando reducirá las tensiones horizontales hasta hacerlas negativas e irá contribuyendo a que dichas grietas se propaguen por esfuerzos cortantes y de tracción.

Adicionalmente, el socavamiento generará tensiones cortantes saliendo de la base del talud que tenderán a que el bloque que se vaya formando, se separe definitivamente (fig. 320B). El socavamiento se realizaría eliminando material en el pie del talud. Esto se podría hacer picando o haciendo pasar un canal que llevase agua por la base. En cualquiera de los casos, si esto se hiciera en una banda de materiales más finos, facilitaría significativamente la labor. Parecería lógico, también, entibar (soportar con postes de madera) la zona para evitar desprendimientos de rocas. Adicionalmente, los postes de madera pueden servir como indicadores de la estabilidad, si empiezan a chirriar o doblarse, indicando que su máxima resistencia está a punto de ser alcanzada.

Si la parte socavada se sostiene o entiba, y en un momento determinado se retira esta entibación, la salida natural de este mecanismo sería posiblemente un hundimiento explosivo (fig. 320C) con cierta tendencia al vuelco. Esto podría bien corresponderse con lo que Plinio denominada *ruina montium*. Sería un vuelco si se generara un único bloque, pero dado que probablemente el material se fisurará en el proceso de rotura, ser produciría más bien un hundimiento caótico, aunque algunos bloques tenderían a volcar.

La generación de un mecanismo de este tipo, a parte del propio riesgo para los trabajadores, generaría una rotura poco controlada. Los romanos, en todo caso, jugarían con el tiempo, la prueba y error y distintas técnicas para ir logrando un mejor control de la operación en los que se refiere a la zona que se socava y hunde. Adicionalmente, las galerías laterales erosionadas podrían contribuir a controlar la extensión lateral del fenómeno.

Este tipo de mecanismo es compatible con las explicaciones de Plinio el Viejo al respecto, ya que una vez retirados los soportes es cuando ocurriría el proceso de rotura.[14]

Adicionalmente, justo antes de romper se observaría una grita de tracción en superficie, tal y como se observa en las roturas de canales de arroyos de playa (fig. 321). Como ya se ha comentado (apartado 9.3.2.C), para excavar arenas de miga para cimentaciones en Madrid, se utilizaba el método de dejar un talud vertical de unos 3 m y socavar, para lo cual el jefe de obra se situaba en superficie y avisaba cuando aparecía la grieta de tracción en la parte superior, instante en que los trabajadores se retiraban justo antes de producirse el colapso del talud. Tode esto encaja también con lo explicado por Plinio.[15]

El mecanismo final de colapso del frente se asimilaría más a un principio de vuelco con colapso final que a un vuelco de un bloque limpio, pero en todo caso se podría investigar esto con códigos avanzados en el futuro.

Así pues, un enfoque de este tipo sería compatible con lo observado en las propias Médulas. Se considera esta posible explicación como una hipótesis básica de partida a constatar, en la que por otro lado quedan varios aspectos abiertos, como la altura real de los taludes, número de galerías utilizadas, el cómo se realizaba el socavamiento, etc.

Una vez que se lograra que ocurriera el mecanismo principal de arranque por socavamiento y colapso del talud, sería aún necesario disponer de grandes cantidades de agua para deshacer y dirigir las zonas ricas en mineral, adecuadamente machacadas, hacia la zona de lavado y concentración del oro (en el *agoga* o *sluice*) e ir retirando el material estéril (Plin., *HN,* XXXIII 76).

14 «Peracto opere ceruices fornicum ab ultimo caedunt», es decir, «terminada la obra hacen caer los soportes de los arcos a partir del último» (Plin., *HN,* XXXIII 72).

15 «Dat signum ruina, eamque solus intellegit in cacumine eius montis uigil», o sea, «el derrumbe da la señal que solo percibe el vigilante en la cumbre del monte» (Plin., *HN,* XXXIII 72).

C) Un primer modelo tentativo de ruina montium

En el núcleo de la metodología del estudio de la respuesta de excavaciones en macizos rocosos se encuentra un modelo analítico o numérico, que es el aparato matemático capaz de describir los fenómenos observados (Starfield y Cundall 1988) y que ha de estar diseñado de acuerdo con las cuestiones a analizar y a los datos de partida. La solución de un problema concreto se presenta en forma de la distribución de las variables principales en el dominio considerado, tales como esfuerzos inducidos, deformaciones y desplazamientos (Brady y Brown 1985).

Los modelos numéricos no deben utilizarse esperando que nos den un comportamiento exacto de la realidad, más bien son herramientas que nos permiten estudiar desde un punto de vista heurístico («What if...») como responderían los macizos rocosos ante determinado tipo de situaciones (Starfield y Cundal 1988).

Para realizar un primer análisis del posible fenómeno del colapso de los taludes de Las Médulas a partir de las hipótesis previamente presentadas, se ha utilizado el programa RS2 (Rocscience 2021), para analizar la evolución del estado tenso-deformacional en una sección representativa de un talud de Las Médulas si se realizan una serie de acciones (creación de galerías, socavamiento y entibado, etc.). En este modelo, se han seleccionado unas dimensiones razonables, más o menos representativas de las que pudieron utilizarse, pero no deben considerarse como definitivas. Asimismo, se ha simulado la presencia de entibación, que no es un hecho que se pueda confirmar con pruebas fehacientes sobre el terreno hasta la fecha.

El modelo se correrá con el programa basado en el MEF RS2 (Rocscience 2021), programa bidimensional continuo de análisis de tensiones y desplazamientos. Al ser continuo, es solo capaz de simular cómo se inician los procesos de rotura (su aplicación busca identificarlos), no permite simular la progresión de la rotura, generación de fisuras, formación de bloques y caída de los mismos ni, consecuentemente, el estado final del fenómeno. RS2 está conformado por 3 módulos o sub-programas:

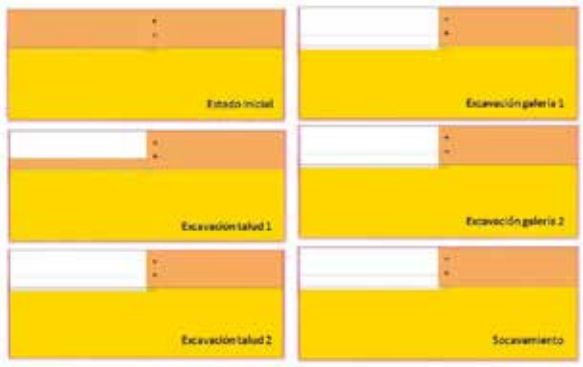


Figura 321. Dominio de discretización, separación de materiales y pasos mecánicos básicos del modelo hasta empezar la fase de socavamiento.

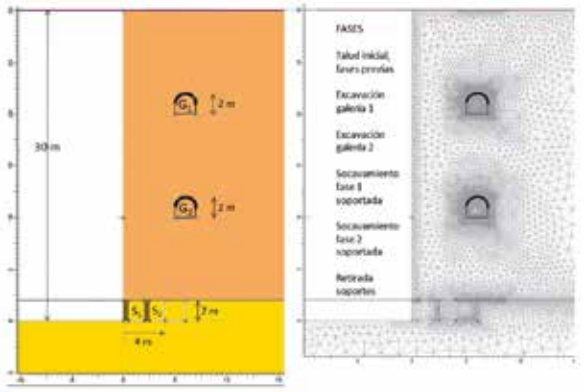


Figura 322. Detalle con características geométricas de la zona del talud, mallado en dicha zona e indicación de las fases del modelo.

1. *Model:* módulo de pre-procesamiento del modelo. Incluye definición y edición de la geometría del modelo, generación de la malla, definición de las condiciones de contorno, sostenimiento, esfuerzos iniciales, propiedades del material, etc.
2. *Compute:* módulo de procesamiento del modelo.
3. *Interpret:* módulo de postprocesamiento del modelo. Incluye herramientas para la visualización de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos resultantes, extracción de datos, etc.

El modelo parte de un terreno llano (más o menos representativo de lo que había antes de la llegada de Roma), que posteriormente se excava en tres fases para generar un talud vertical de 30 m, 28 m en la formación Médulas y 2 m en Santalla, para ir a una situación previa a la explotación específica de dicho talud (fig. 317). Esta fase inicial es mecánicamente importante para estimar la distribución de tensiones previa a la excavación. Posteriormente, se incluyen 5 fases que representan las hipótesis planteadas de cómo podían actuar los mineros romanos.

Primero, se excava una galería superior a 20 m sobre la base del talud y 5 m hacia el interior del mismo. Luego, otra galería a 10 m sobre la base del talud. En ambos casos, las galerías tienen 2 m de diámetro como las observadas en la zona de A Cova da Encantada. Finalmente, se realizan dos fases de socavamiento y entibación, y en cada caso se realiza una excavación de 2 × 2 m, dejando una entibación en el exterior, por lo que se va progresando hasta 4 m la socavación del talud. En la fase final se retiran los postes de entibación, que se simulan con un comportamiento elástico similar al de la madera.

Las fases generales del modelo hasta comenzar la socavación se ilustran en la fig. 321. La geometría de detalle y malla del modelo en las zonas de excavación, y por tanto de mayor interés, se muestran en la fig. 322, donde se han incluido las dos galerías típicas de 2 m de diámetro 10 y 20 m por encima del pie del talud y 5 m por detrás de su cara exterior. En cuanto al socavamiento o descalce, se ha mallado la zona para simular dos fases de avance de 2 × 2 m en la base del talud, dejando para cada caso un elemento (soporte o pilar) que simula el sostenimiento con las propiedades elásticas de la madera.

En cuanto a las condiciones iniciales, se ha partido de un estado tensional con las tensiones horizontales iguales a 0,7 veces las verticales, que puede representar razonablemente las condiciones de una cuenca sedimentaria (Jing y Hudson 2002), aunque la experiencia de los autores es que este estado de tensiones iniciales afecta poco a los resultados de estabilidad que se obtengan.

Como condiciones de contorno, se han fijado los desplazamientos en *x* e *y* en la base del modelo y *x* en los laterales, condiciones típicas que han demostrado no afectar significativamente los resultados en el

estudio de estabilidad de taludes (Ramírez-Oyanguren y Alejano 2004).

Las propiedades de los materiales utilizadas derivadas de los estudios previos se muestran en la fig. 323. Para interpretar los resultados, se van a presentar las distribuciones de deformaciones cortantes plásticas que marcarán las zonas en las que se está produciendo la rotura del material. Se representarán después de cada etapa o fase relevante del modelo.

Las distribuciones de deformación cortante plástica se presentan en la fig. 324, tras la excavación del talud y tras la excavación de las galerías; en la fig. 325

Material Properties	Formación Las Médulas	Formación Santalla
Material Color		
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.023 MN/m3	0.021 MN/m3
Elastic Type	Isotropic	Isotropic
Poisson's Ratio	0.25	0.3
Young's Modulus	3000 MPa	2500 MPa
Use Residual Young's Modulus	No	No
Failure Criterion	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Material Type	Plastic	Plastic
Peak Tensile Strength	0.15 MPa	0.14 MPa
Peak Friction Angle	50 degrees	48 degrees
Peak Cohesion	0.25 MPa	0.2 MPa
Residual Tensile Strength	0.01 MPa	0 MPa
Residual Friction Angle	52 degrees	48 degrees
Residual Cohesion	0.3 MPa	0.15 MPa
Dilation Angle	0 degrees	0 degrees
Material Behaviour	Drained	Drained
Porosity Value	0.5	0.5
Static Water Mode	Dry	Dry

Figura 323. Propiedades de los materiales utilizados en el modelo.

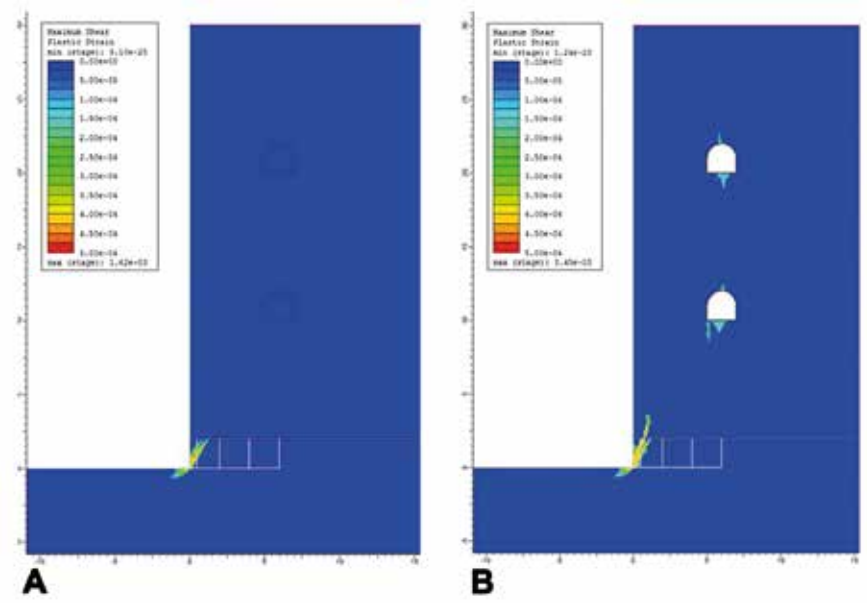


Figura 324. Distribución de la deformación cortante plástica: A) tras la excavación del talud y B) tras la excavación de las galerías.

tras cada una de las fases de socavamiento y sostenimiento y en la fig. 326, tras la retirada de la entibación.

Tras la excavación del talud, se observa una zona muy pequeña de comienzo de daño en la base del talud (fig. 324A). Tras la excavación de las galerías se observan la formación de grietas incipientes de tracción hacia arriba y abajo en el centro de las mismas, y en la galería de abajo también en la base lateral más próxima al talud (fig. 324B), en línea con lo observado en campo para la galería inferior (fig. 292 y 319).

En las fases de socavamiento, se observa la creciente formación de zonas de daño en el entorno de las nuevas zonas excavadas y el crecimiento de las fisuras preexistentes (fig. 325A y B). Al retirar la entibación, las fisuras crecen uniéndose por nuevas grietas la zona socavada y la galería inferior, y esta galería con la superior. Adicionalmente, nuevas grietas se forman creciendo hacia la superficie del talud con direcciones conjugadas sub-paralelas a la vertical (fig. 326A). Uniendo estas grietas (fig. 326B) se puede delimitar de forma aproximada un elemento significativo del terreno que tenderá a colapsar (con mecanismos de deslizamiento y vuelco, según la separación de bloques) y que, al hacerlo, generará un

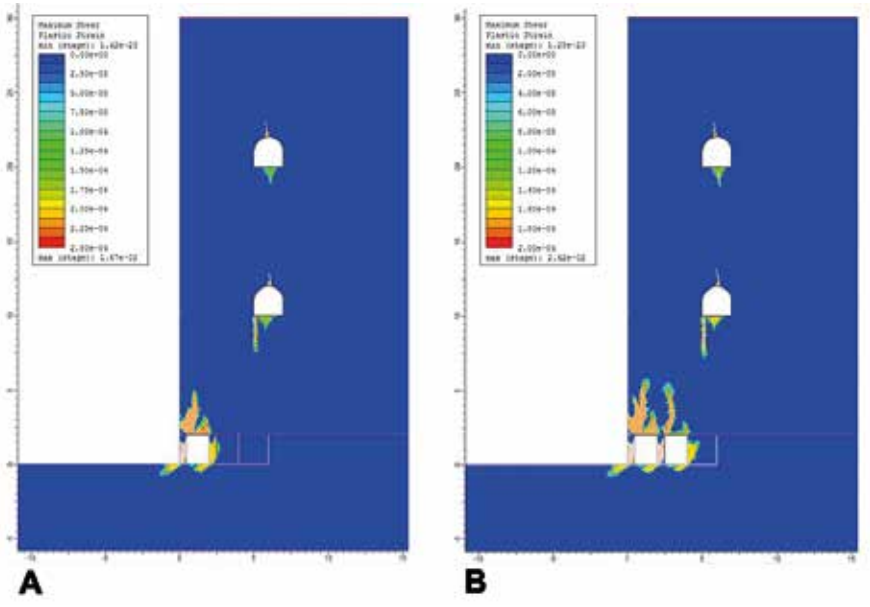


Figura 325. Distribución de la deformación cortante plástica: A) tras una primera fase de socavamiento de 2 m y entibación y B) tras una segunda fase de socavamiento de 2 m y entibación.

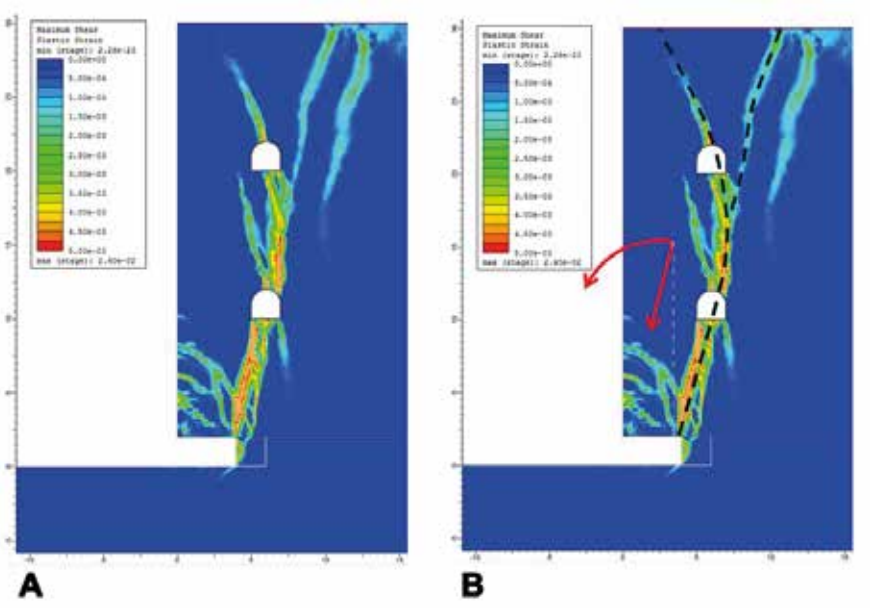


Figura 326. Distribución de la deformación cortante plástica: A) tras retirar la entibación y B) como la anterior, pero delineando zonas de posible separación de bloques.

colapso similar a lo que entendemos como descripción de la *ruina montium* según Plinio el Viejo. Los desplazamientos horizontales y verticales solo incipientes que marcan de forma estimativa la posición de este bloque, que tenderá a separase del resto del terreno y colapsar, se ilustran en la fig. 327.

Antes de separarse el bloque y comenzar el proceso de hundimiento se formará, al menos, una grieta de tracción en superficie lo que podría permitir identificar el comienzo de la inestabilidad (como en talud de la ribera del arroyo de la fig. 317 o según la técnica de excavación de arenas de miga antigua en Madrid por socavamiento) y dar la alarma para que se retiren los trabajadores. En todo caso, la remoción del sostenimiento debería marcar la iniciación del proceso de colapso.

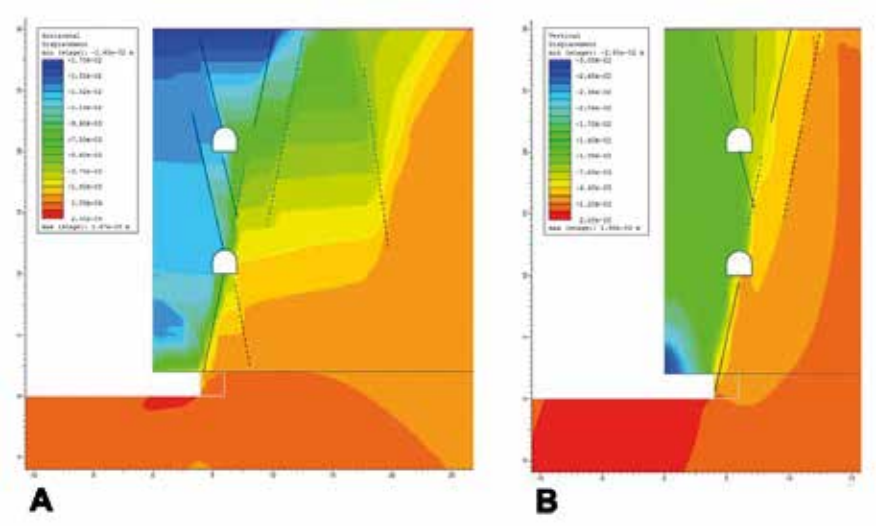


Figura 327. Distribución de desplazamientos incipientes: A) horizontales y B) verticales en el talud que nos indican las posibles zonas de separación de elementos de roca similares a las derivadas de la deformación cortante plástica.

El modelo presentado es un indicador de la viabilidad del colapso del talud siguiendo los pasos planteados en las hipótesis de partida. Se puede considerar un resultado provisional pendiente de afinar los contenidos de bloques de los conglomerados por zonas, los parámetros de comportamiento, las geometrías (frentes de 20 m, 40 m o 70 m) y técnicas de excavación (picando, picando y echando agua, direccionando canales como *arrugiae* a pie de talud) y posible socavamiento y entibación utilizadas en época romana. En todo caso, parece aproximarse de una manera razonable a la descripción realizada por Plinio, resulta un enfoque factible para la excavación de estos materiales con los medios disponibles en la época en la que se explotó Las Médulas y el resultado final generaría taludes sub-verticales y geometrías como las que se observan hoy en Las Médulas.

Se podría trabajar en modelos más avanzados que permitieran simular la evolución del colapso, pero esto requeriría el uso de modelos discontinuos o modelos que puedan simular la generación de fisuras, como los denominados «FEM-DEM» (Jing 2002). En todo caso, y según la experiencia de los autores, para poder avanzar con cierta seguridad en esta línea convendría ser capaz de conocer con más detalle las posibles geometrías reales (posición de galerías, altura de talud), el comportamiento de los materiales (bandas de finos implicadas, detalle de la disposición exacta de las rocas en el talud...) y las técnicas utilizadas para el socavamiento (galerías o huecos, dimensiones, entibación, humectación...).

Para finalizar este apartado, parece conveniente exponer algunas consideraciones sobre este primer modelo tentativo de *ruina montium,* que lo matizan, complementan o abren nuevas alternativas:

- La metodología de excavación propuesta permitiría desde luego explotar los conglomerados auríferos desde abajo, desde su base, y sería compatible con la aparición de los llamados *picachos* o *picuezos* (fig. 283), que serían difíciles de justificar de otra manera.
- La propuesta de las técnicas aplicadas en el socavamiento o descalce planteadas, así como el uso de soportes son hipotéticas. Aspectos como el uso de madera en la zona, la revisión en detalle de las zonas hundidas y el entramado de galerías (como las de La Cuevona o La Encantada, etc.), o una relectura de las fuentes a la luz de estás hipótesis podrían contribuir a definir con mayor exactitud este proceso.
- Las labores de socavamiento o descalce resultarían más sencillas si se elige para socavar una zona de materiales finos (fig. 328). Se podría analizar el impacto de socavar en materiales blandos a través de modelos. Una

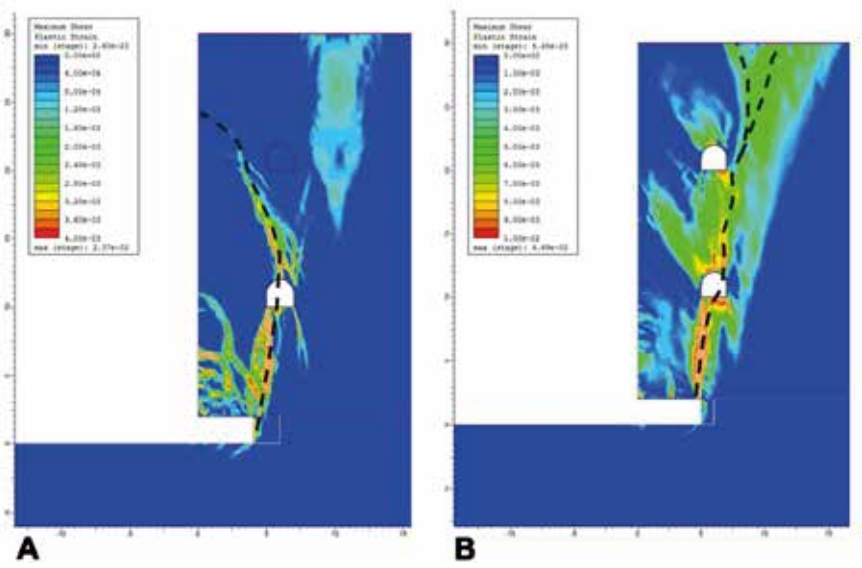


Figura 328. Distribución de la deformación cortante plástica en dos nuevos casos: A) cuando no se excava la galería superior y B) cuando se incrementa la extensión de la zona descalzada de 4 a 5 m.

posibilidad sería realizar el descalce direccionando una corriente de agua (ampliamente disponible) por la base del talud. En este sentido, podría haber ocurrido que, en la zona de Las Médulas, al llegar los romanos, hubiera algún arroyo encajado donde el fenómeno de colapso por descalce se produjese, lo que podría haber servido para inspirar a los mineros de la época.

– La aplicación de modelos numéricos se revela como una herramienta útil al objeto de plantear hipótesis nuevas (una galería en vez de dos, socavamiento de 5 m en vez de 4 m, diferentes alturas de talud, diferentes posiciones de las galerías, etc.) y observar cómo estás influirían en la respuesta general del frente. A manera de ejemplo, la figura 328 muestra los resultados de las deformaciones cortantes plásticas indicativas de generación de zonas de rotura para el caso de que no se hubiera excavado la galería superior, y para el caso de que se hubiera descalzado el talud hasta una distancia de 5 m en vez de 4 m. En el primer caso se observa que sería más difícil que la grieta de tracción de la zona alta del frente apareciera o aflorara en la cabecera del talud pudiéndose producir un colapso que no alcanzara la superficie original del terreno, tal y como parece que se produjo en las zonas de La Cuevona y La Encantada. En el segundo caso se observa que la zona colapsada tendería a crecer, dañando probablemente la superficie libre que quedará tras el colapso. En este segundo caso, cabría plantearse si las entibaciones de madera podrían soportar la carga, para lo cual habría que realizar hipótesis sobre el tipo de soportes utilizados por los romanos.

– Tal y como se ha indicado, al ser el modelo bidimensional, no tiene en cuenta el efecto de resistencia de las potenciales superficies laterales de separación del terreno, lo que se ha ajustado incrementando levemente los parámetros resistentes del material superior (Formación Médulas) en relación con los estimados. Como se ha señalado, las galerías esbeltas por erosión y perpendiculares a los taludes (fig. 291) podrían contribuir a controlar el fenómeno de colapso y limitarlo lateralmente. Una visión con las tres vistas de cómo se entiende el mecanismo hipotético planteado se muestra en la figura 329. Para acercarse a la realidad, serían necesarias nuevas revisiones de las geometrías de las

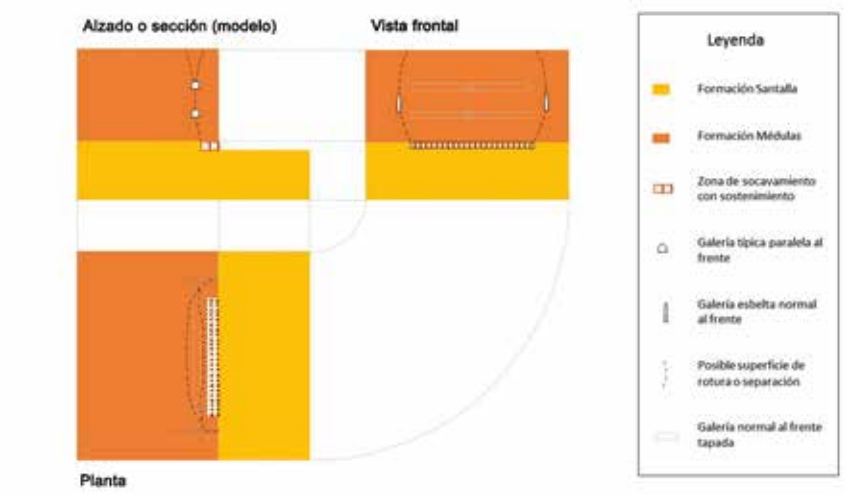


Figura 329. Alzado, planta y vista frontal de una operación de ruina *montium* tal y como la que se hipotetiza en este documento.

zonas excavadas para estimar las posibles extensiones de cada fase de *ruina montium*.

– En general, la versión de *ruina montium* propuesta sería viable y compatible con la descripción de Plinio (*HN,* XXXIII 70-73). Para llevarla a cabo sería necesario «mediante galerías hechas a lo largo de grandes espacios, excavar los montes». Si se excava bajo el talud no sería extraño que «de repente se produjeran desprendimientos y aplastaran a los que estaban trabajando». En la propuesta planteada, se dejarían soportes para sostener al talud y así podría interpretarse que Plinio diga: «por ello se dejan arcos a intervalos *(fornices crebri)* para sostener los montes». Adicionalmente, para generar el colapso se retiraría la entibación o los soportes, lo que parece ser compatible con la afirmación: «terminada la obra hacen caer los soportes de los arcos a partir del último». Finalmente, parece probable que instantes antes de producirse el colapso apareciera una grieta de tracción en la parte superior del talud (como en el ejemplo en el canal de playa de la fig. 317), por lo que una vez adquirida cierta experiencia quizá un vigilante pudiera identificarla y dar una voz de alarma a los trabajadores (que se habrían ido mayoritariamente en el momento de retirar la entibación, pero podría referirse a otra gente trabajando en la zona, canalizando material, etc.), como en el método ya mencionado (apartado 9.3.2.C) de socavación de arenas de miga utilizado en Madrid en los años sesenta (a una escala y con un riesgo menores). Estas descripciones podrían adaptarse a la descripción de Plinio «el derrumbe (*ruina*) da la señal que sólo percibe el vigilante en la cumbre del monte. Éste manda a voces y con gestos que se aparte a los trabajadores y al tiempo él mismo sale volando. El monte destrozado *(mons fractus)* cae por sí solo con un gran estruendo».

– En consecuencia, el modelo estimativo planteado de excavación y colapso del frente parece razonablemente compatible con la principal fuente descriptiva del proceso de *ruina montium* y así, lo sería con las observaciones realizadas en Las Médulas. En todo caso, puede servir como modelo de base para ir comprobando desde distintas perspectivas su viabilidad y realismo, que era el objetivo principal planteado en este estudio.

9.3.7. Conclusiones: la *ruina montium* desde la perspectiva de la mecánica de fluidos y de la mecánica de rocas

En este apartado se han presentado los resultados de un estudio en el que se ha intentado entender cómo los mineros romanos ejecutaban el abatimiento de

la roca mediante el método denominado *ruina montium* para explotar el oro de Las Médulas. El estudio se basa en observaciones de diversa índole y en los principios de la arqueología, la mecánica de fluidos y la mecánica de rocas. Finalmente, se propone una posible hipótesis de ejecución, que deberá ser constatada en el futuro.

Para evaluar la posibilidad de que se pudieran iniciar fenómenos de abatimiento de rocas con la ayuda de grandes flujos de agua a través de galerías, se han realizado varias simulaciones de la respuesta de fluidos basadas en la geometría de las labores observadas *in situ*, para analizar la viabilidad de la generación y posibles efectos de estos golpes de ariete, con base en los principios de la mecánica de fluidos. La conclusión preliminar sería que el uso del efecto de golpe de ariete como mecanismo básico de abatimiento en la *ruina montium* no parece una suposición muy plausible, ya que las presiones máximas alcanzadas apenas serían capaces de dañar la roca.

A partir de la caracterización de los conglomerados típicos de la zona de Las Médulas y de las observaciones *in situ*, se considera que una aproximación preliminar razonablemente sencilla de idear y ejecutar y factible para generar el colapso de un talud vertical de unos 30 m de altura sería la que se describe a continuación.

Primero, sería necesario excavar una o varias galerías paralelas al rumbo del talud en una o dos posiciones a lo largo de su altura. Esto se puede verificar mediante cálculos y observaciones *in situ*.

Después, sería necesario socavar o descalzar de alguna manera el talud, ya sea directamente en su pie o mediante una galería paralela al mismo y unos pocos metros hacia adentro. Esto podría generarse bien excavando con pico y regando la zona para facilitar el trabajo, o con la ayuda del potencial erosivo del agua, desviando un canal por esa zona.

Además, esta zona socavada podría ser entibada (sostenida con postes de madera), por lo que esta madera, al menos, advertiría cuando dicha excavación estuviese a punto de volverse inestable y consecuentemente toda la parte superior del talud. Este derrumbe sería la *ruina montium* y el procedimiento descrito se puede relacionar con la afirmación de Plinio: «terminada la obra hacen caer los soportes de los arcos a partir del último».

Los elementos básicos para que se produzca el fenómeno de colapso del talud según esta hipótesis son la generación de fisuras verticales paralelas al talud y el socavamiento del mismo para que el bloque en voladizo genere las fuerzas suficientes para romper y hacer colapsar la roca. El control de este proceso de hundimiento se beneficiaría de las superficies de separación lateral, aunque aun así sería complejo y habría requerido de la experiencia acumulada a lo largo de los años a través de ensayos tipo prueba y error.

Esta suposición se basa en la caracterización de los materiales, las observaciones limitadas en el área, los resultados numéricos presentados, en la razonable compatibilidad con las descripciones de las fuentes literarias antiguas y de Plinio el Viejo en particular, y en un análisis contextualizado de viabilidad minera basado en el sentido común.

Para avanzar en el conocimiento, sería conveniente mejorar la caracterización geomecánica de los materiales con base en nuevos ensayos y en metodologías de estimación de materiales tipo *bimrock* más avanzadas, disponer de una información geométrica más precisa de los frentes y posición de las galerías en época romana, realizar pruebas numéricas compatibles con este conocimiento más detallado y finalmente avanzar hacia modelos con códigos discontinuos que permitan simular la evolución del proceso de abatimiento de la roca.

10 *Transformaciones del territorio y evolución paleoambiental de la ZAM*

Yolanda Carrión Marco
Universidad de Valencia

Sebastián Pérez Díaz
Universidad de Cantabria

José Antonio López Sáez
Instituto de Historia del CSIC

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Almudena Orejas
Instituto de Historia del CSIC

Las transformaciones topográficas de la zona arqueológica de Las Médulas no terminaron con el final de la minería romana. Las producidas en aquellos momentos siguieron condicionando su evolución física, haciendo así cada vez más evidente que no se trata de un paisaje fósil, sino cultural y vivo, en el que incluso el aprovechamiento de los recursos se ha ido transformando al ritmo de esa evolución, interviniendo lógicamente en ella.

En este capítulo se van a considerar, en primer lugar, los principales cambios producidos en el territorio con posterioridad al abandono de la mina de oro romana, como consecuencia más o menos directa de ella. A continuación, se hará una valoración detenida del paleoambiente a partir de los datos que han proporcionado a lo largo del tiempo los análisis paleoecológicos llevados a cabo, centrándose en particular en aquellos inéditos realizados sobre las estructuras mineras de la ZAM.

10.1. EL LAGO DE CARUCEDO Y LOS DEPÓSITOS DE MATERIAL POST-ROMANOS

La formación del lago está ligada a las últimas fases de la explotación minera antigua: los estériles finos, y excepcionalmente algunos gruesos, se fueron acumulando hacia su salida natural en dirección al río Sil, es decir hacia el noroeste. En ese lugar, a pie de mina, existía

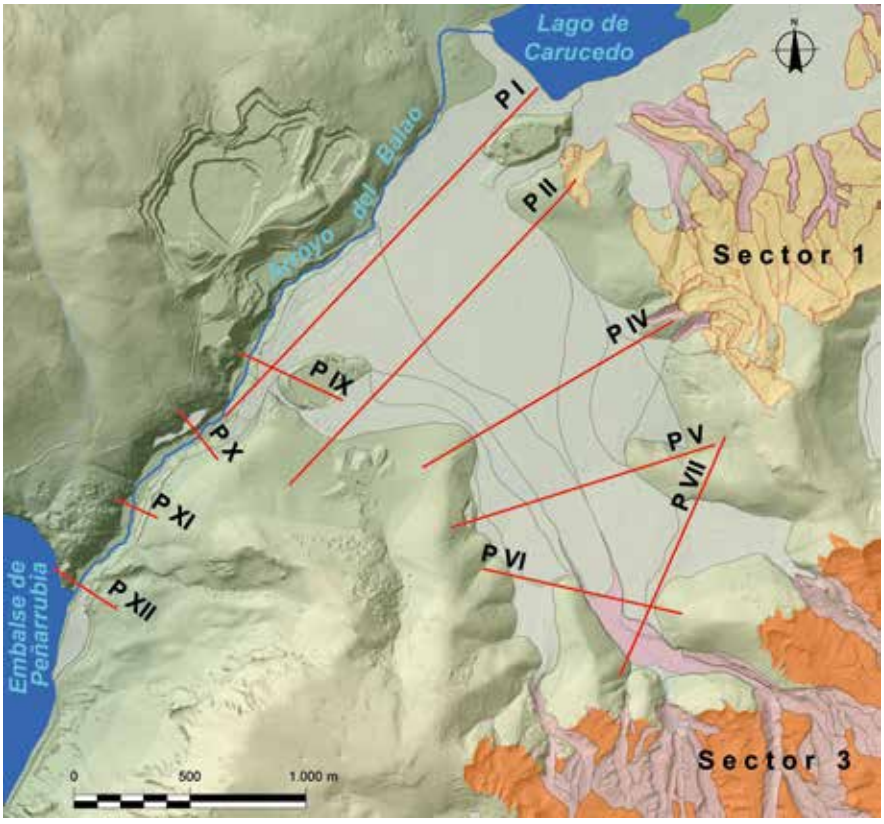


Figura 330. Situación de los perfiles topográficos y por SEV (sondeos eléctricos verticales) de la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros.

originariamente un valle con un perfil ligeramente en forma de W, según revelaron los estudios geofísicos realizados a finales de la década de 1990 (Sánchez-Palencia *et al.* 2000, ver en especial las figs. 5 y 6). Ese valle se fue colmatando poco a poco con el vertido de estériles hasta dar lugar a la gran cola de lavado de Chaos de Maseiros (figs. 330 y 331). Tal acumulación se vio favorecida por la existencia al oeste de las formaciones de calizas de la Aquiana, que se extendían al noroeste de la mina y formaban un cuello de botella en la salida del antiguo valle hacia el Sil por la zona de la actual Peñarrubia. Tuvo lugar así el embalsamiento del agua que dio origen al lago. Posteriormente el emisario del lago, el arroyo del Balao, en su extremo sudoeste, reexcavó su cauce sobre esa salida, conectándolo así con el Sil (fig. 331, perfiles IX a XII, figs. 324 y 332).

La superficie actual del lago es de 50 ha y su profundidad media de 9 m (fig. 333). Tradicionalmente la pesca en el lago (sobre todo de anguilas) fue un recurso importante para los núcleos vecinos. Durante siglos el lago perteneció al monasterio de Carracedo y una normativa regulaba la captura. En época moderna, la explotación incontrolada del lago ha provocado la extracción de agua de forma aleatoria y la práctica desaparición del curso de agua del emisario (arroyo del Balao), impidiendo la migración de especies como las anguilas, incluso antes de la aparición de los numerosos embalses del Sil. La vegetación de las orillas del lago está formada por cañaverales y juncales (*Phragmites* sp., *Juncus* sp., *Typha* sp.), sauces (*Salix* sp.), chopos (*Populus* sp.) y alisos *(Alnus glutinosa)*. En las proximidades hay también castaños (*Castanea sativa*) y alcornoques *(Quercus suber)*. En las aguas del lago, marcadas por la eutrofización, hay lentejas de agua (*Lemna* sp.), persicaria *(Lythrum persicaria)* y ranúnculos (*Ranunculus* sp.).

El entorno del lago de Carucedo es especialmente rico en colonias de aves (anátidas e insectívoras). De forma permanente hay ánade real, zampullín chico, somormujo lavanco, rascón, polla de agua y focha

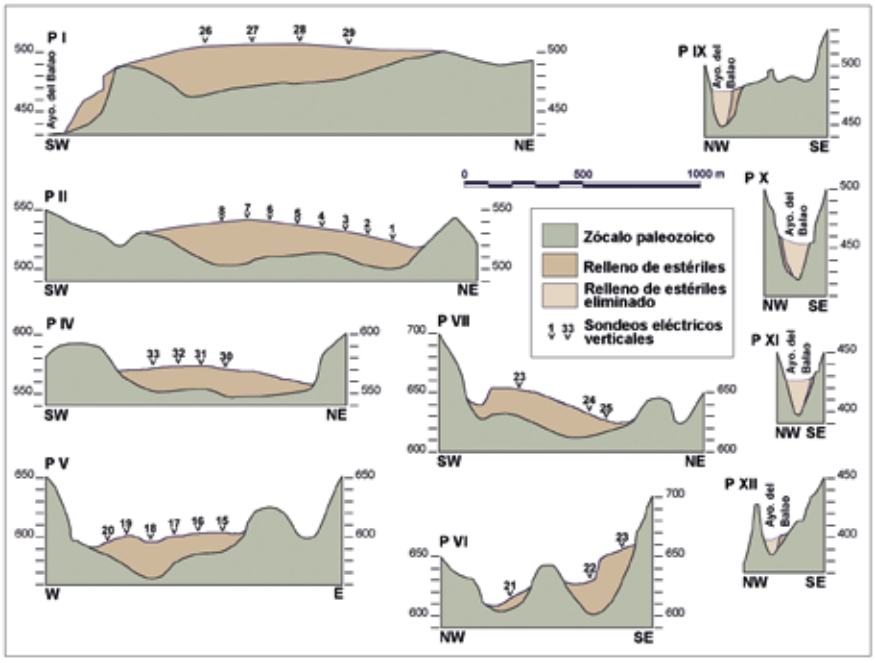


Figura 331. Perfiles topográficos y por SEV (sondeos eléctricos verticales) de la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros (según Sánchez-Palencia *et al.* 2000).

de agua. En invierno acuden además porrones, ánade silbón y pato cuchara. También se pueden ver en sus proximidades ruiseñores, carriceros, avetorrillos, cigüeñas (que anidan en los núcleos de población cercanos), lavanderas, vencejos, aviones, golondrinas e incluso algunas rapaces (alcotanes, milanos, ratoneros). Los anfibios y reptiles son los propios de ámbitos húmedos (tritones, sapos, ranas y culebras viperinas y de collar). En la actualidad, en sus aguas hay sobre todo especies introducidas recientemente por el hombre (gambusia, carpa, perca, boga y cacho), mientras que las especies tradicionales han desaparecido casi en su totalidad.

El lago es por lo tanto un espacio excepcional, pero cuyas condiciones se están deteriorando rápidamente por la conjunción de varios factores, entre los que se encuentran los vertidos de los núcleos próximos, que provocan la eutrofización de las aguas, y la afluencia de turismo en verano. El lago de Carucedo ha sido objeto de estudios específicos y de medidas de protección particulares debido, en especial, a la diversidad de la fauna que lo puebla.

Como se acaba de señalar al hablar del lago de Carucedo, una de las consecuencias permanentes de la explotación de la mina de oro de Las Médulas en la



Figura 332. Desembocadura del arroyo del Balao en el Sil (embalse de Peñarrubia). A la izquierda, restos de estériles romanos. Vista aérea desde el noreste.

antigüedad fue la alteración de la circulación del agua en la zona y, en definitiva, la aparición del lago.

En sus primeras fases, el lago tuvo una cola relativamente amplia, que cubría los terrenos actualmente comprendidos entre La Vega y La Pradería en Carucedo y los denominados Las Suertes, ya en Borrenes (fig. 334), subiendo incluso ligeramente por el arroyo que viene de La Lombela. Al irse retirando las aguas dejaron unos terrenos limosos, depositados en capas horizontales colmatando el antiguo cauce del arroyo que por allí transcurría (actual Valderrío).

Esa zona, convertida en tierra de cultivo, ha sido tradicionalmente muy apreciada por su fertilidad en todo el entorno, de ahí sus denominaciones. Actualmente solo una parte de las parcelas se encuentran cultivadas, especialmente en el lugar conocido hoy precisamente como Las Parcelas, en la proximidad del caserío de Carucedo e inmediatamente al este de la orilla del lago (fig. 333).



Figura 333. Panorámica del lago de Carucedo desde el norte.



Figura 334. Los depósitos postromanos de Las Suertes de Borrenes, en primer término, seguidos por los de La Pradería y La Veiga de Carucedo, con el lago de Carucedo al fondo. Panorámica desde el este, desde el Castro de Borrenes (comienzos de los años 1990).

Pero también las características de los terrenos situados más arriba, en las mencionadas zonas de La Vega, La Pradería y Las Suertes, e incluso en el Prao de Chana y un poco más arriba por el río Isorga dentro del mismo término de Carucedo, responden a diversas operaciones llevadas a cabo por el ser humano que han provocado una alteración de procesos de erosión y sedimentación naturales, con consecuencias duraderas, favoreciendo, en este caso, un uso agrícola del suelo. Todas estas tierras se extienden en una franja paralela a la carretera N-536 entre Carucedo y la llamada Casa de la Francesa, a una cota constante y muy ligeramente superior a la del lago (fig. 334).

En otras zonas de Las Médulas también se depositaron algunos retazos de sedimentos a causa de las acumulaciones de estériles romanos. Así ocurre en el valle del río Isorga un poco aguas arriba de El Cabuerco de Valdelobos. También, a causa de la cola de lavado E6 de Val da Mola, en el arroyo que procede de Campo de Braña y otro en el que viene de Las Majadas. Por último, igualmente, en la cola de lavado E5 de Yeres, se produjo un pequeño relleno en su margen izquierda, a la altura de la confluencia de los arroyos de Rebordelo y del Boqueirón. De cualquier forma, ninguno de estos pequeños retazos de sedimento postromano ha tenido tanta importancia histórica como el lago de Carucedo y su entorno inmediato.

10.2. ESTUDIO ARQUEOBOTÁNICO DE LA RED HIDRÁULICA DE LAS MÉDULAS: UN EJEMPLO DE PAISAJE GESTIONADO

10.2.1. Estudios arquebotánicos en zonas mineras antiguas del noroeste hispano

La presencia de restos vegetales en los yacimientos arqueológicos es testimonio directo de la relación entre los humanos y las plantas, hayan sido estas aportadas

de forma intencional al lugar, con una finalidad específica, sean fruto de una gestión forestal, o reflejo de la vegetación circundante. Son evidencias de las especies presentes en el entorno de un lugar en un momento dado y de su evolución a lo largo del tiempo, por condicionantes climáticos o edáficos o, como en este caso, por efecto de la acción humana. Es bien sabido que con el dominio de Roma se expandieron tecnologías capaces de modificar el paisaje a gran escala y de forma profunda: fueron herramientas esenciales para la reorganización territorial de las zonas conquistadas, para la realización de grandes obras de infraestructura y para la obtención de recursos, como es el caso de la zona minera de Las Médulas y otras en el conjunto del cuadrante noroccidental peninsular (Orejas y Sánchez Palencia 2002; Sánchez Palencia *et al.* 2006; Pérez-Díaz *et al.* 2021; Orejas *et al.* 2024).

Como se ha descrito anteriormente con más detalle, las labores para la extracción del oro implicaron no solo la remoción de grandes volúmenes de tierra, sino la explotación de otros recursos (como la madera o el hierro) y una gestión del agua que provocaron cambios sustanciales del paisaje. No se puede olvidar, además, que los pobladores del área desarrollaron actividades ganaderas y agrícolas para su subsistencia, aprovechando las áreas aptas, próximas a las minas (López Merino *et al.* 2010). Es patente la complejidad de este paisaje en el que, aunque la minería ha dejado una huella más reconocible, intervino la explotación de múltiples recursos.

Efectivamente, todas estas labores alteraron profundamente la cubierta vegetal de la zona, que se encuentra en una encrucijada entre la influencia atlántica y mediterránea continental, a caballo entre las comarcas de El Bierzo y La Cabrera. Actualmente, la vegetación ha ganado terreno en el entorno de Las Médulas, y la cobertura arbórea es relativamente densa en algunas áreas, aunque desigual, dada la orografía escarpada resultado, en parte, de la explotación. Abundan los robles *(Quercus pyrenaica),* las carrascas *(Quercus rotundifolia)* y los castaños *(Castanea sativa),* pero también las zonas de matorral con leguminosas, brezos y jaras, entre otros. La vegetación de ribera está compuesta principalmente por alisos, sauces y chopos (Acedo *et al.* 2008; López Merino *et al.* 2010). Es evidente que, durante el periodo de funcionamiento de las minas, tuvo que realizarse una gestión de la cubierta vegetal que permitiera la explotación a cielo abierto y, sin duda, el fuego debió de tener un papel fundamental en estas prácticas, ya que una densa cobertura arbórea no habría permitido el trazado de la red de canales ni su posterior funcionamiento y mantenimiento. Efectivamente, por lo que sabemos, en momentos previos a la explotación romana, esta zona tenía una cobertura arbórea importante, dominada por robledales y algunos carrascales, que generaban bosques densos (López Merino *et al.* 2010); la presencia de diversos mesófilos y un amplio abanico de especies de ribera indicarían un importante desarrollo edáfico y una red hidráulica muy activa; esta cobertura vegetal habría sido un impedimento para el desarrollo de la actividad minera.

Los análisis paleobotánicos son aún escasos en estos contextos, a pesar de que ya se ha incidido anteriormente en su importancia para obtener evidencias de las diferentes actividades productivas llevadas a cabo. El impacto de la minería romana ha sido estudiado en otras zonas del noroeste, como en el occidente de Asturias, a partir del registro de la turbera de La Molina (López Merino *et al.* 2014), a partir de los análisis polínicos de otras redes hidráulicas mineras (Orejas *et al.* 2024) y de estructuras castrenses romanas (Pérez-Díaz *et al.* 2021). El análisis de micro- y macrorrestos vegetales acometido en este estudio en Las Médulas tiene como objetivo, precisamente, caracterizar el entorno en que se desarrollaron estas actividades y esclarecer la naturaleza de la gestión de las formaciones vegetales. Se complementa con un trabajo previo, centrado en datos procedentes de poblados antiguos de la misma zona (López Merino *et al.* 2010).

10.2.2. Material y métodos

Los estudios arqueobotánicos emprendidos en la zona minera de Las Médulas comprenden el análisis de microrrestos vegetales (polen, esporas y microfósiles no polínicos) y macrorrestos (carbones), todos ellos preservados en diferentes niveles estratigráficos

Canal o depósito	Localidad	Municipio	Altitud	N.º muestras
C1	Pombriego	Benuza	607	4
C5	Orellán	Borrenes	713	3
C18	Llamas de Cabrera	Benuza	843	3
C25	Corporales	Truchas	1240	6
C26	Corporales	Truchas	1251	5
C30c	Orellán	Borrenes	973	2
C32	Corporales	Truchas	1335	2
CEF	Las Médulas	Carucedo	712	3
CDC	Corporales	Truchas	1247	4
D19	Las Médulas	Carucedo	780	16
D23	Corporales	Truchas	1240	6
D39	Orellán – Las Médulas	Borrenes – Carucedo	938	20

Tabla 60. Relación de canales y depósitos de la red hidráulica de Las Médulas con muestreos arqueobotánicos.

y procedentes tanto de canales como de depósitos empleados para la explotación del oro (tabla 60).

10.2.2.1. *Análisis arqueopalinológico*

Se ha analizado un total de 74 muestras de sedimento. Todas ellas han sido tomadas siguiendo los más estrictos protocolos de muestreo (Burjachs *et al.* 2003; López Saéz *et al.* 2003), con el objetivo de minimizar los riesgos de contaminación por aportación de pólenes actuales o de otros estratos arqueológicos.

Las muestras fueron tratadas químicamente en el laboratorio de palinología del Instituto Catalán de Paleoecología Humana y Evolución Social (IPHES), siguiendo los protocolos habituales (Girard y Renault-Miskovsky 1969; Goeury y Beaulieu 1979; Faegry e Iversen 1989; Burjachs 1990; Moore *et al.* 1991). La preparación para su observación al microscopio óptico se ha realizado usando portaobjetos de 76 × 26 mm, de 1 mm de espesor, sobre los cuales se han colocado cubreobjetos de 24 × 60 mm, sellándolas finalmente con *hystolaque* para evitar perder la muestra y que esta quede fijada y sea más fácil su lectura. La identificación se ha realizado mediante microscopía óptica (microscopio Nikon, objetivos de 40x y 100x).

La identificación del polen es posible gracias a que una de las paredes del grano (esporodermis) está constituida por esporopolenina, un biopolímero altamente resistente a la degradación fisicoquímica, lo que permite su conservación a lo largo del tiempo, así como resistir el proceso químico al que son sometidas las muestras. La estructura y composición de la esporodermis de las esporas de pteridófitos es similar a la de los pólenes, por lo que también es posible su conservación y estudio. Los principales caracteres diagnósticos de los pólenes son los siguientes:

a) *Número de granos*. Los pólenes dentro de la antera se encuentran unidos de cuatro en cuatro, en forma de tétradas, pero al ser liberados de esta la mayoría se dispersan de manera individual (mónadas). Más excepcionalmente pueden aparecer unidos en grupos de 2 (diadas), 4 (tétradas) o >4 granos (poliadas).

b) *Ornamentación y estructura de la exina*. La exina es la capa más externa de la esporodermis, formada a su vez por diferentes capas, la más externa de las cuales (ectexina) puede tener un aspecto liso (sin ornamentación), baculado (presencia de elementos de más de una micra y más altos que anchos), equinado (elementos puntiagudos de más de 3 micras), etc.

c) *Distribución y forma de las aperturas*. Las aperturas son zonas en las que la exina se adelgaza e incluso puede desaparecer,

favoreciendo la salida del tubo polínico a través del cual se produce la fecundación de la ovocélula. Caracterizan al grano de polen en función de su número, forma y distribución. Existe una denominación específica para estos tipos de caracteres según el número de aperturas, existiendo especies que carecen de ellas y otras que pueden superar el medio centenar (0: *inapeturado*, 1: *mono-*, 2: *di-*, 3: *tri-*, 4: *tetra-*, 5: *penta-*, 6: *hexa-*, >6: *poli-*). Según la forma de estas aperturas los granos de polen se clasifican en colpados (apertura el doble de larga que de ancha), porados (apertura igual de larga que de ancha) y colporados, una mezcla de ambos. La distribución de las aperturas también es un elemento definitorio, ya se localicen en la zona del ecuador (*zono-*), se distribuyan por toda la superficie (*panto-*) o se limiten a los polos.

d) Forma y tamaño del polen o espora. Debido a que, una vez fuera de la flor, la forma y el tamaño del grano de polen pueden sufrir variaciones como consecuencia de la exposición a las condiciones medioambientales y de sedimentación, estas características son tenidas en cuenta con carácter más orientativo que determinante.

Para la identificación de los morfotipos polínicos se han utilizado colecciones de referencia. Además, se ha recurrido a bibliografía especializada sobre las características morfométricas de los palinomorfos (Moore y Webb 1978; Bonnefille y Riollet 1980; Moore *et al*. 1991; Blackmore *et al*. 1992; Reill 1992 y 1995).

Un avance muy importante relacionado con los estudios paleoambientales, que viene desarrollándose desde mediados de los años setenta del siglo pasado, es la identificación de microfósiles o palinomorfos no polínicos (MNP). Se trata de un conjunto de elementos que se conservan en el residuo palinológico, formado tanto por materia orgánica como mineral, que incluye esporas algales, cianobacterias, esporas fúngicas y restos de talo, cuerpos fructíferos de hongos, fragmentos de briófitos o pteridófitos, microrrestos animales, microfósiles de naturaleza biológica desconocida, etc. (López Sáez *et al*. 1998, 2000; van Geel 2001; Galop y López Sáez 2002).

El estudio de los MNP no supone preparaciones ni tratamientos químicos adicionales, ya que son los mismos utilizados en los análisis palinológicos tradicionales (van Geel 2001). Constituye, por lo tanto, una indispensable fuente de información complementaria sobre aspectos paleoecológicos y paleoambientales difíciles de detectar con los análisis basados exclusivamente en el estudio del polen.

En el protocolo palinológico, los microfósiles no polínicos pueden contribuir eficazmente al conocimiento de cuestiones como el grado de contaminación de las aguas, la evolución temporal del trofismo, la utilización selectiva del fuego, el origen natural o antrópico de los incendios, la relación entre los periodos de sequedad y humedad, el nivel de circulación del agua, la variación del nivel de la capa freática, el grado de erosión e incluso del nivel de antropización de un yacimiento al cuantificar la intensidad de la ocupación. Para la identificación de estos MNP se ha recurrido a referencias bibliográficas (van Geel 1978; Pals *et al*. 1980; van Geel *et al.* 1981, 1983, 1989 y 2003; Bakker y van Smeerdijk 1982; Pantaleón *et al.* 1996; López Sáez *et al*. 1998 y 2000, Miola 2011, Shumilovskikh *et al.* 2022).

A la hora de considerar si una muestra polínica es representativa para la interpretación de un análisis paleopalinológico, hay que tener en cuenta dos conceptos: la suma base polínica *(pollen sum)* y la diversidad taxonómica. En este trabajo se acepta que una muestra es representativa de la vegetación de su entorno cuando (López Sáez *et al*. 2003):

- La suma base polínica cuenta con al menos 200 granos de polen, descontando los *taxa* hidro-higrófilos, microfósiles no polínicos, *Aster* tipo, Cardueae y Cichorioideae.
- Estén presentes al menos 20 *taxa* diferentes en la suma base polínica.
- El porcentaje de pólenes indeterminables no supere el 50 % de la suma base polínica.

Para el tratamiento de los datos se han excluido de la suma base los *taxa* hidro-higrófilos, los microfósiles no polínicos, así como *Aster*, Cardueae y Cichorioideae, debido a que por su carácter zoófilo suelen estar sobrerrepresentados (Bottema,1975; López Sáez *et al.* 1998, 2000 y 2003). El porcentaje relativo de estos palinomorfos excluidos se ha calculado respecto a la suma total.

10.2.2.2. *Análisis antracológico*

La antracología se encarga del análisis de los carbones y maderas recuperados en contextos arqueológicos o depósitos naturales. Su desarrollo está estrechamente relacionado con el interés creciente por el conocimiento de los paisajes del pasado y la interacción humana con el mismo. La presencia de material carbonizado en un yacimiento arqueológico es el resultado directo del uso de la madera y de la gestión del medio por parte de los grupos humanos. En el caso de Las Médulas, la actividad desarrollada ha generado residuos relacionados con el fuego, que han quedado depositados, con desigual concentración, en los rellenos de canales y depósitos de la red hidráulica, que se formaron a medida que estos se fueron colmatando, de modo que ofrecen una visión diacrónica del funcionamiento de esta red, hasta el momento de su abandono, y los cambios ulteriores, tras el cese de la minería.

Se ha estudiado carbón procedente de varios canales y de los depósitos de La Horta (D39), Chaos da Cruz (D19), Las Pedrices (D22) y Campo de Braña (D28). En los dos primeros se recuperó la mayor cantidad de carbón, pero en los dos últimos apenas si se encontró materia orgánica carbonizada. Por otro lado, en los canales la concentración de carbón era muy desigual, pero generalmente baja, de menos de 10 fragmentos por muestra, por lo que los resultados han sido tratados como presencia-ausencia (tabla 61), aunque ha sido posible realizar algunas valoraciones sobre la ubicuidad de las especies. Es una excepción el canal C1, que ha ofrecido un conjunto de carbón más rico a nivel cuantitativo. Como se ha indicado en el capítulo 6, en los canales se han excavado tramos cortos de sus recorridos, por lo que la cantidad de sedimento disponible ha sido menor. Este sedimento se ha procesado mediante el sistema de flotación, aunque también se tomaron muestras directas durante la excavación.

Una vez obtenidas las muestras de carbón, se procedió a su estudio en el Laboratorio de Arqueología Milagros Gil-Mascarell de la Universitat de València. El análisis realizado se ha basado en la identificación botánica de los carbones, es decir, determinar las especies vegetales de las que proceden, además de en otras observaciones morfológicas de las maderas carbonizadas (Chabal *et al.* 1999). Se ha efectuado a partir de criterios biométricos, mediante la observación de los elementos anatómicos de la madera que caracterizan y permiten diferenciar unas especies vegetales de otras, y por comparación con una colección de referencia de maderas carbonizadas y bibliografía especializada (Jacquiot 1955; Jacquiot *et al.* 1973; Schweingruber 1990, entre otros). El carbón se ha observado a través de un microscopio óptico de luz a reflexión de campo claro-oscuro Leica DM6000 M, con diferentes objetivos que van desde 50 a 1000 aumentos. Para ello se han practicado cortes limpios al carbón, buscando los tres planos anatómicos de la madera: transversal, longitudinal tangencial y longitudinal radial, sin necesidad de ningún tratamiento químico, por lo que estos carbones pudieron ser utilizados para su datación radiocarbónica (Vernet *et al.* 1979), lo que ha resultado imprescindible para contextualizar la secuencia de estos canales y depósitos (ver capítulo 6.4). En general, el carbón era de muy pequeño tamaño y se encontraba bastante alterado, lo que ha supuesto, en ocasiones, cierto grado de indefinición en la identificación botánica. Por este motivo, cuando ha sido necesaria una mayor magnificación o profundidad de campo, se ha utilizado un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo con haz de iones enfocado (SCIOS 2 FIB SEM), en el Servei Central de Suport a la Investigació Experimental de la Universitat de València, en el que también se tomaron las fotografías.

Como se ha mencionado, una de las tareas realizadas en este estudio ha sido la selección de carbones de los diferentes canales y depósitos para la obtención de una batería de dataciones ^{14}C. La elección del

material para este propósito ha seguido un estricto protocolo que implica, en primer lugar, la identificación botánica de los carbones para poder seleccionar las especies más ubicuas en el registro (que deberían ser las más disponibles y abundantes en el lugar, en cada momento). Lo ideal es la datación de muestras de vida corta, en caso de que existan, por ejemplo, órganos vegetativos diferentes al xilema. En este estudio no se documentaron estos restos entre las muestras, de modo que también se aplicaron algunos criterios dendrológicos, como la presencia de ramitas de pequeño calibre (que eran bastante abundantes y algunas de las cuales contaban con dos o tres años de vida, lo que equivaldría a muestra de vida corta) o madera con presencia de corteza (que correspondería a los últimos años de vida de la planta antes de ser quemada). En algunos casos, el tamaño o el peso de la muestra supusieron un inconveniente, de modo que se seleccionaron algunos restos de especies arbóreas. Generalmente se han escogido carbones recuperados mediante flotación, ya que buena parte de las muestras recogidas directamente presentaban problemas de fragmentación, pertenecían a un agregado de diferentes carbones (que no se puede distinguir a simple vista) o incluso, se trataba de materia orgánica muy degradada, en la que no se podía aislar ningún carbón.

10.2.3. Resultados

10.2.3.1. *Resultados del estudio palinológico*

El estudio palinológico incluye un total de nueve canales y tres depósitos, en los que se han estudiado 74 muestras de sedimento procedentes de sus diferentes secuencias estratigráficas (tabla 60). Se ubican en altitudes comprendidas entre 607 y 1335 m s.n.m., por lo que la vegetación circundante en cada uno de los elementos de la red pudo estar condicionada inicialmente por este factor.

Del total, 14 han resultado estériles por no contar con el número mínimo de palinomorfos requerido para poder considerarlas estadísticamente válidas y representativas de la vegetación del entorno. En cada una de las muestras consideradas fértiles y estadísticamente fiables, se ha identificado una media de más 300 restos esporopolínicos para computar la suma total, lo que hace, finalmente, un número superior a los 21 500 restos identificados. Los restos palinológicos se agrupan en diferentes estratos vegetales: árboles, arbustos, herbáceas y comunidades hidro-higrófilas, junto a los antes mencionados microfósiles no polínicos. En las figuras 335 a 346 se recogen todos los diagramas polínicos a los que a continuación se hace referencia.

Entre los árboles, que en conjunto alcanzan valores máximos de 43,6 % (muestra procedente de

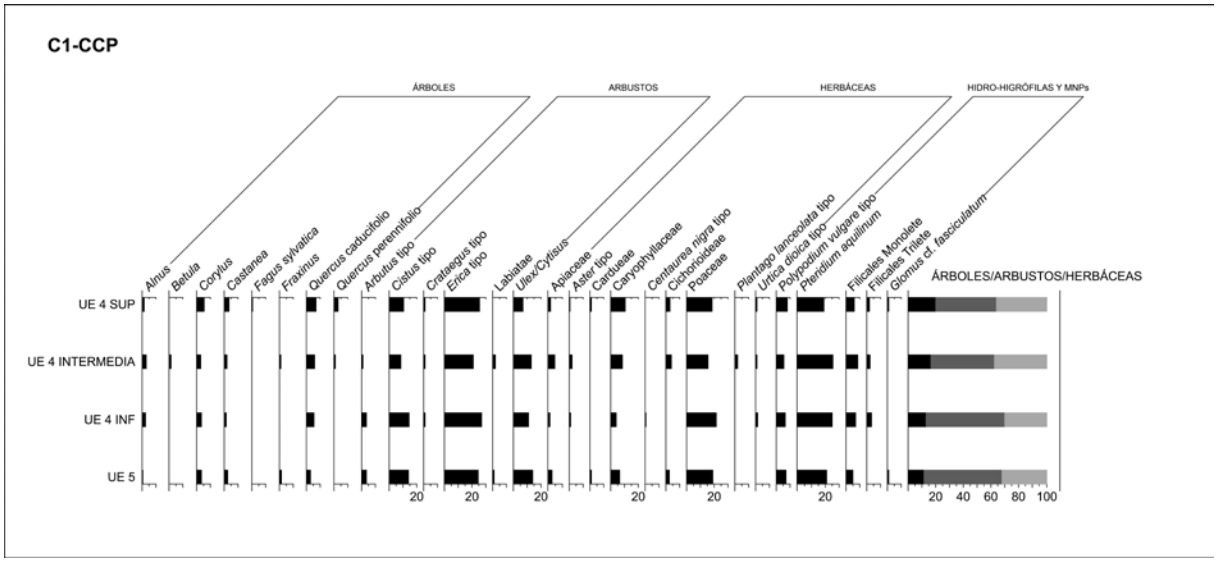


Figura 335. Diagrama palinológico del canal C1.

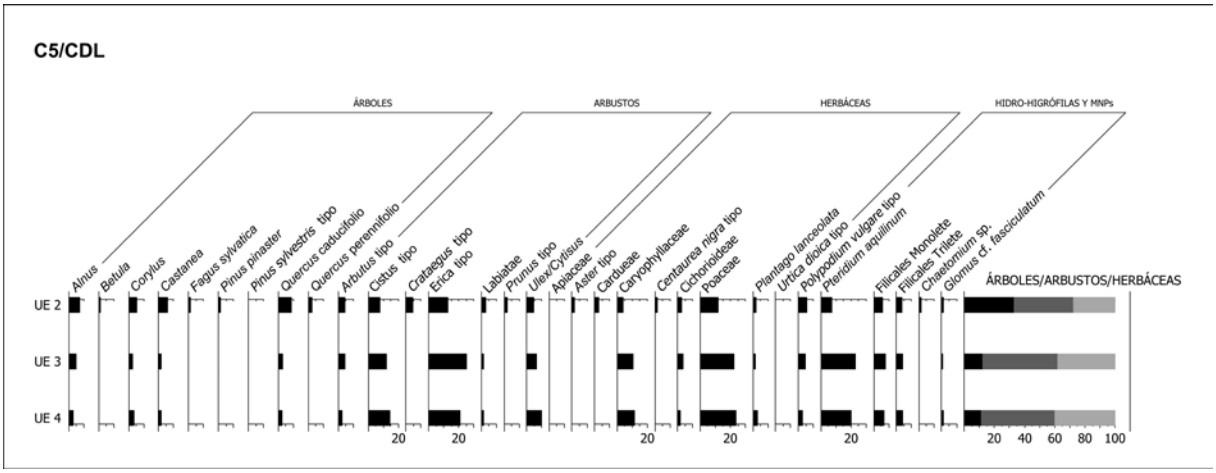


Figura 336. Diagrama palinológico del canal C5.

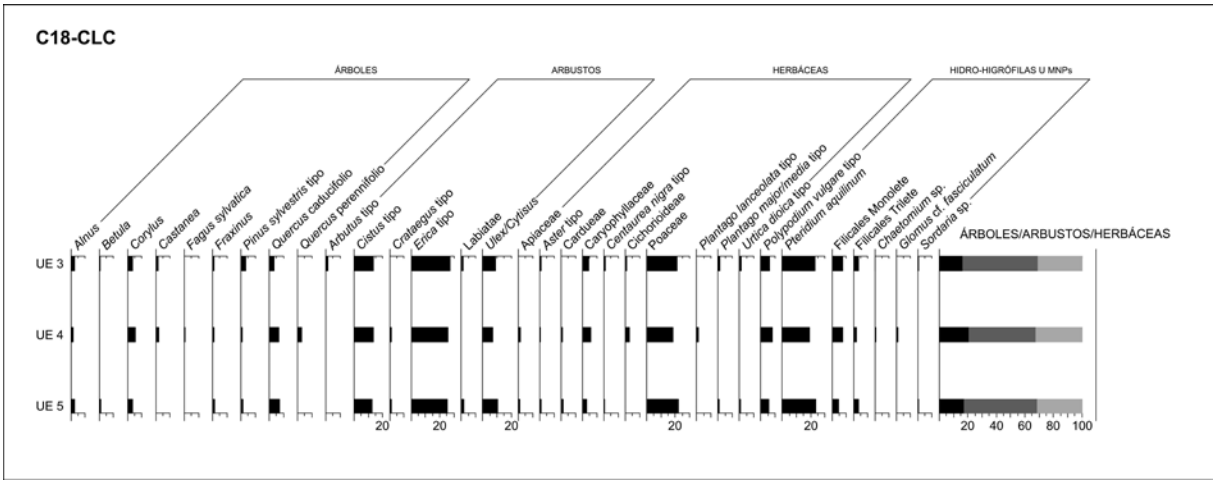


Figura 337. Diagrama palinológico del canal C18.

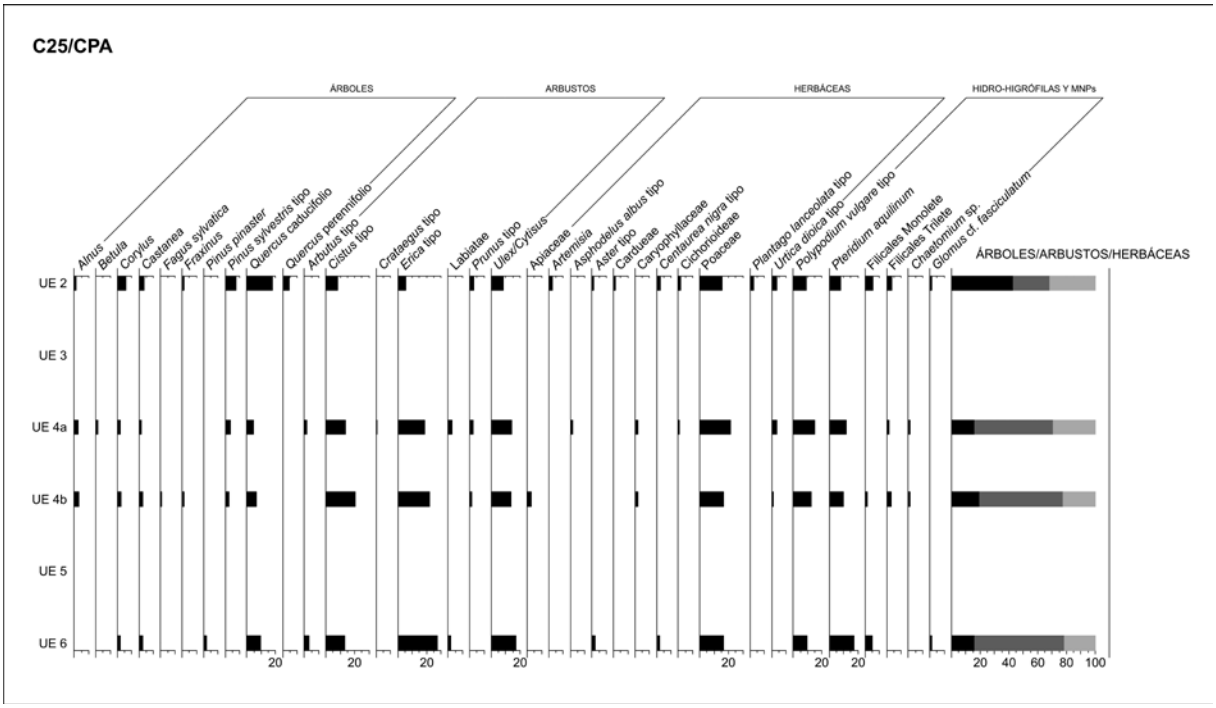


Figura 338. Diagrama palinológico del canal C25.

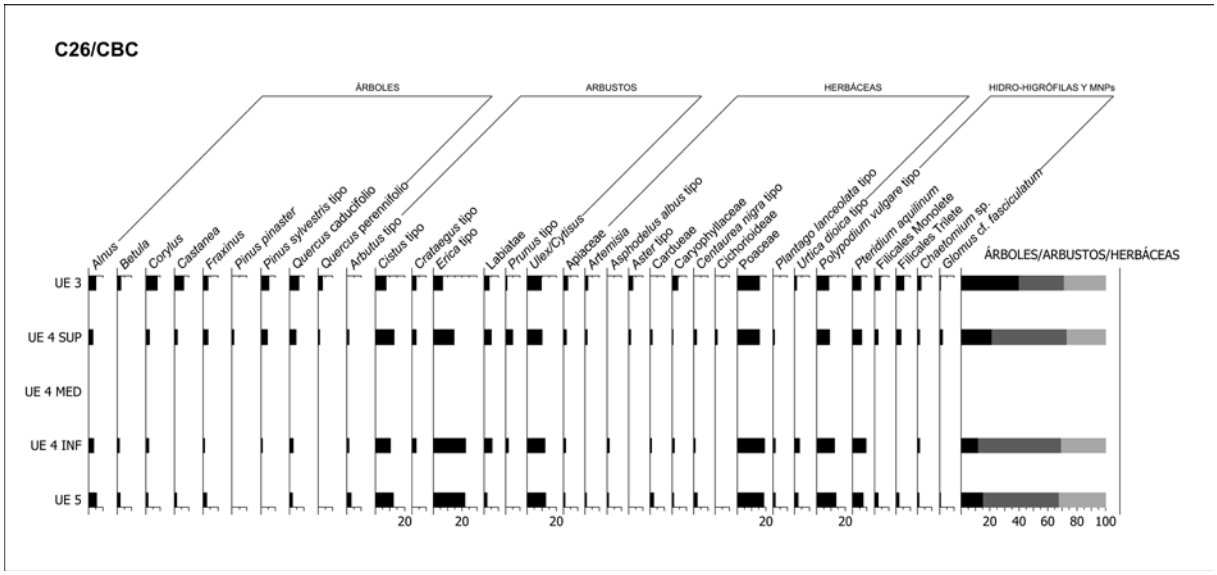


Figura 339. Diagrama palinológico del canal C26.

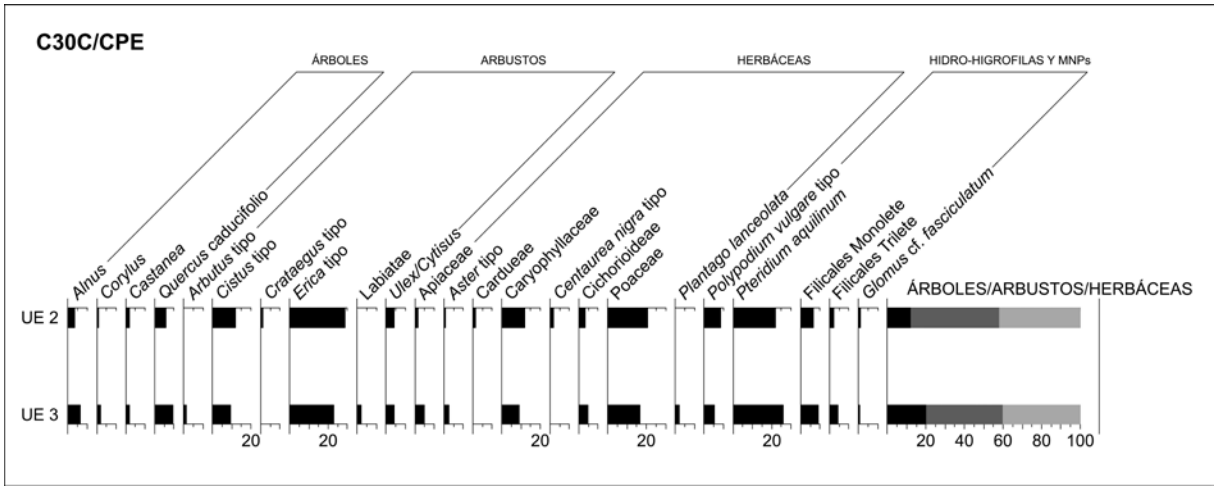


Figura 340. Diagrama palinológico del canal C30c.

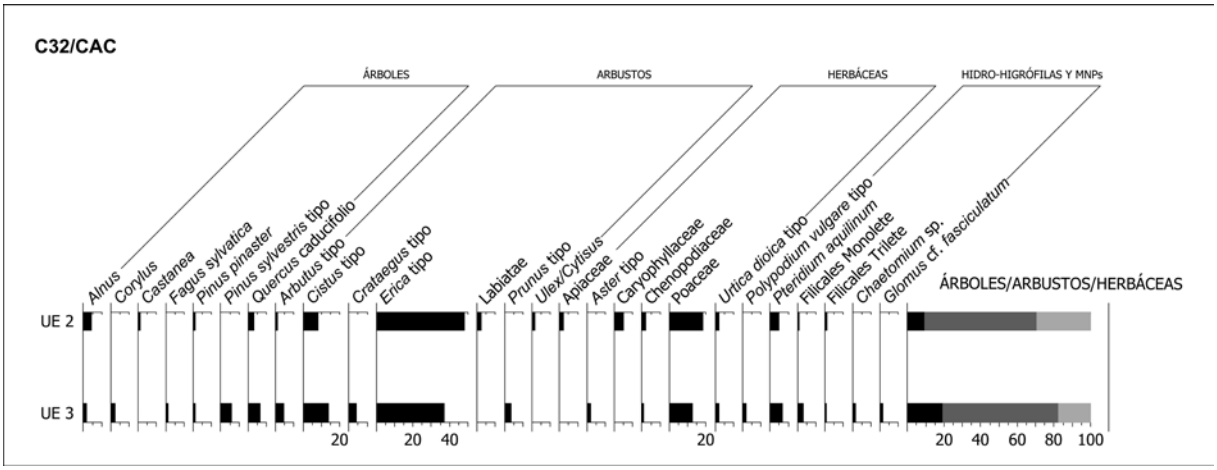


Figura 341. Diagrama palinológico del canal C32.

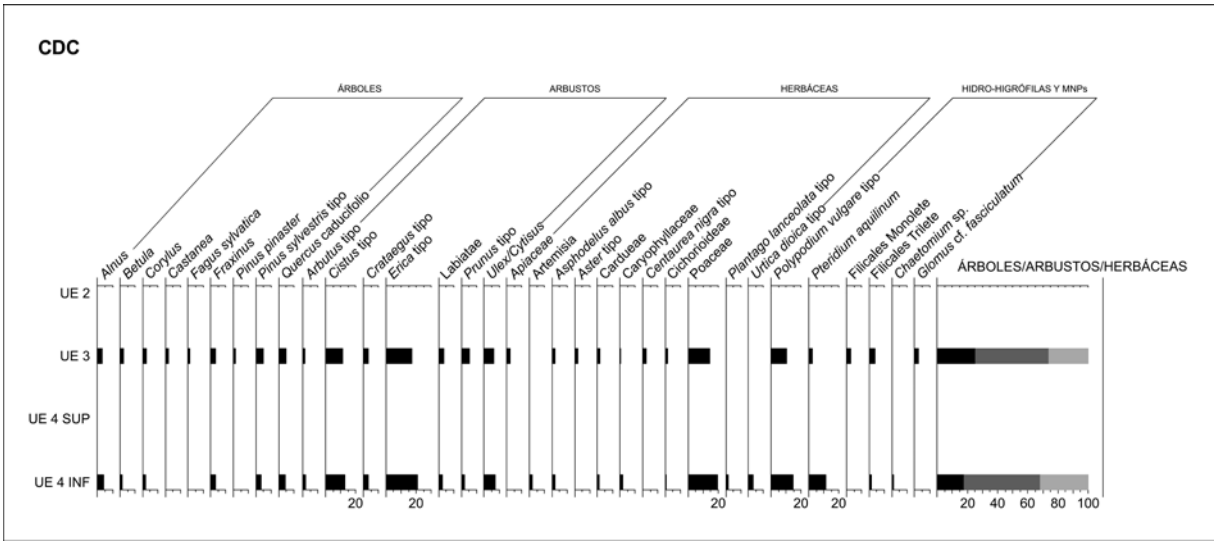


Figura 342. Diagrama palinológico del canal CDC.

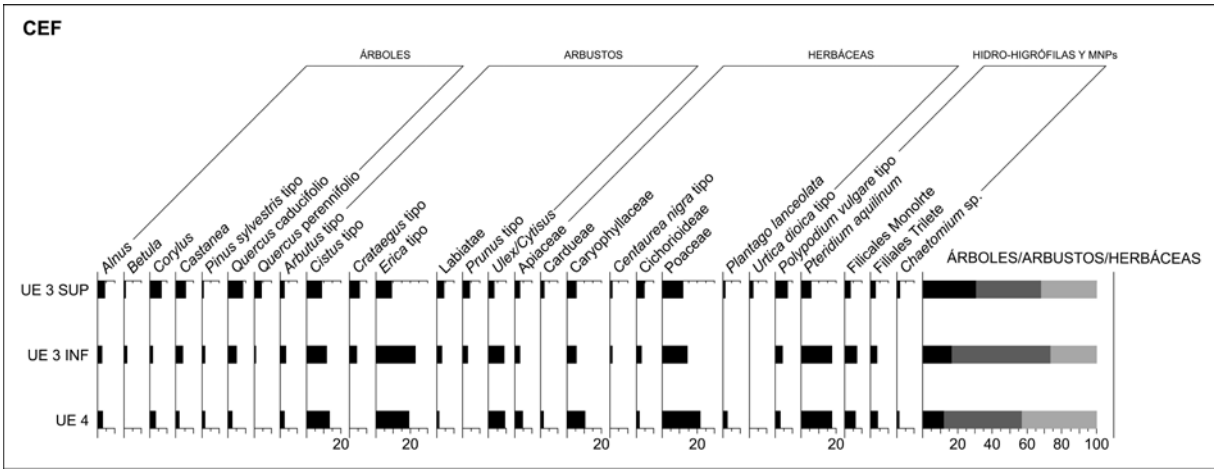


Figura 343. Diagrama palinológico del canal emisario CEF.

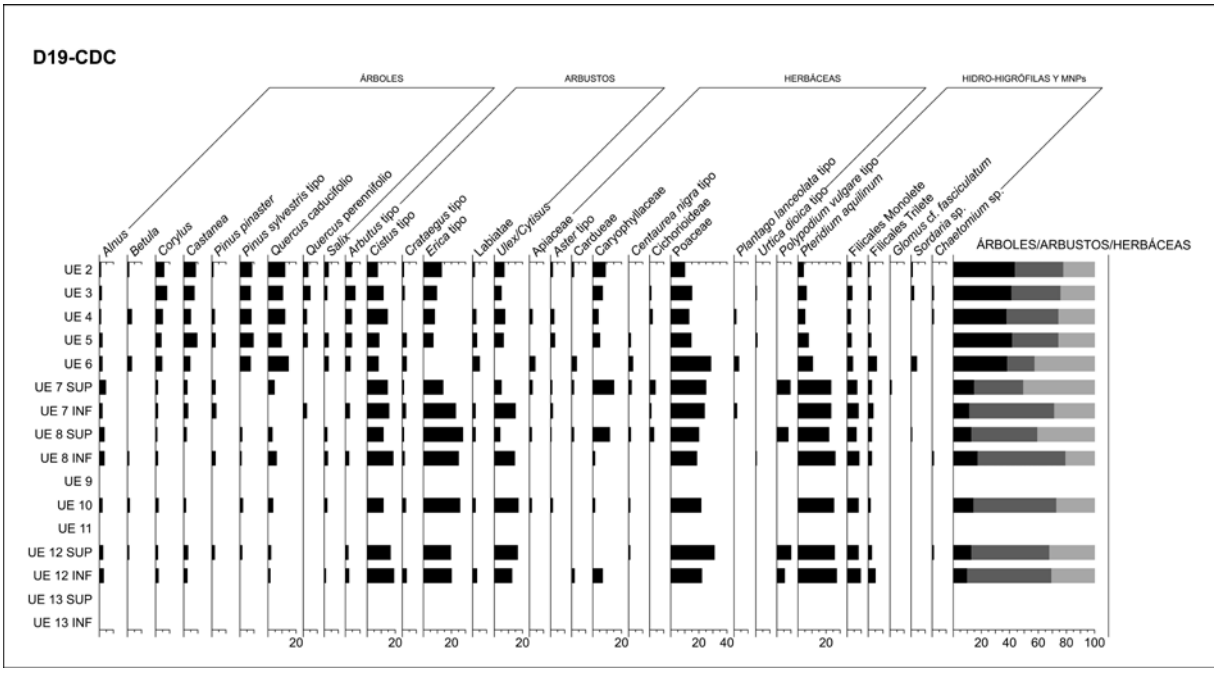


Figura 344. Diagrama palinológico del depósito D19.

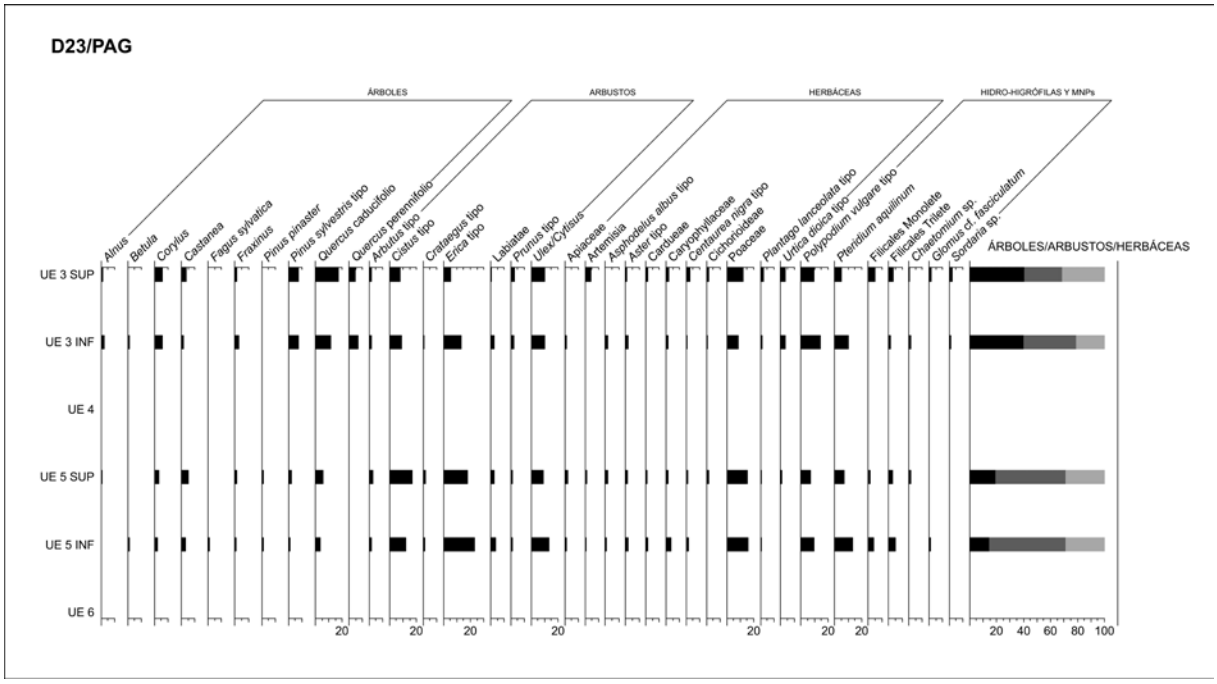


Figura 345. Diagrama palinológico del depósito D23.

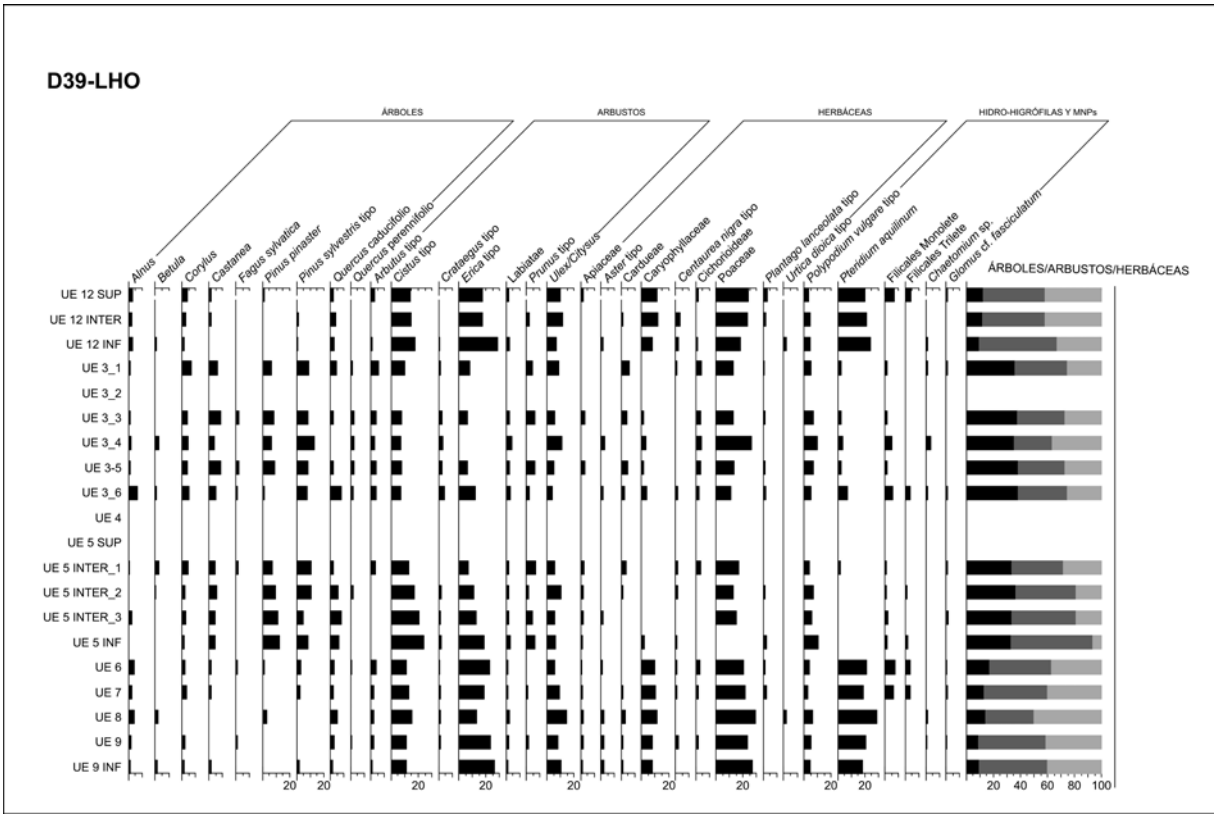


Figura 346. Diagrama palinológico del depósito D39.

la UE2 del depósito D19), se han identificado fundamentalmente especies caducifolias, entre las que destaca *Quercus* caducifolio. Sus porcentajes máximos rondan el 17-18 % en las muestras tomadas en estratos superiores (y por lo tanto más recientes) de los registros de C25 (UE2, 18,1 %) y D23 (UE3sup, 17 %), mientras que en el resto los valores medios se sitúan en torno al 10 %.

Otra especie caducifolia documentada es el avellano *(Corylus),* con una presencia frecuente en prácticamente todas las muestras analizadas, con valores máximos de 7,8 % en la procedente de la UE3 del canal C26. Junto a ellos se constatan porcentajes reducidos (no superiores al 5 %) de otros taxones mesófilos como abedules *(Betula),* castaños *(Castanea sativa)* y hayas *(Fagus sylvatica).*

Además, se han identificado algunas especies riparias, o cuando menos dependientes de una importante humedad edáfica, posiblemente en relación con cursos de agua cercanos o con la misma red hidráulica. Se trata de alisos *(Alnus),* fresnos *(Fraxinus)* y sauces *(Salix).* Sus valores porcentuales son bajos, siendo los máximos los registrados en la muestra procedente de la UE2 del canal C5 (7,4 %), UE3 del depósito D39 (6,8 %) y UE3 del canal C30c (6,3 %).

También se ha documentado la presencia, en general minoritaria, de *Quercus* perennifolio, que se puede relacionar con encinares de *Quercus rotundifolia,* con valores inferiores al 6 %. En el entorno actual se describen algunas manchas de alcornoque *(Quercus suber);* sin embargo, su presencia se puede descartar en estos contextos arqueológicos, ya que el alcornoque es definitivamente un tipo polínico diferente al registrado en los diagramas de los canales y depósitos.

Además, se han registrado, también con porcentajes reducidos, algunas coníferas, básicamente *Pinus sylvestris* tipo y, en menor medida, *Pinus pinaster*. El registro con más presencia porcentual de pino es el depósito D39, en cuya muestra número 4 procedente de la UE3, es decir, en momentos recientes de la colmatación del depósito, se alcanzan los valores máximos de 13,3 %. En todo caso, es reseñable que estos valores máximos se registran en niveles de los tramos superiores de las estratigrafías, correspondientes siempre a fases post-abandono.

El componente arbustivo es muy importante en todas las secuencias, con valores que oscilan entre mínimos del 25 % en varias muestras y máximos de 63,2 % (UE3 del canal C32). Tres son los componentes mayoritarios: *Erica* tipo (valores máximos de 48,6 % en la UE2 del canal C32), *Cistus* tipo (valor máximo de 24 % en UE5inf del depósito D39) y *Ulex/Cytisus* (valores máximos de 16,9 % en la muestra procedente de la UE10 del depósito D19). El resto de los arbustos identificados son: madroño *(Arbutus unedo),* rosáceas espinosas (*Crataegus* tipo y *Prunus* tipo) y labiadas (Labiatae), si bien con valores no superiores al 5 %.

En lo que se refiere al estrato herbáceo, se constata una gran variación, desde valores mínimos de 6,7 % de la UE5inf del depósito D39 a valores máximos de 50,2 % en la UE7sup del depósito D19. Los taxones dominantes son Poaceae (claramente mayoritario, alcanzando un máximo de 30,8 % en la muestra procedente de la UE12sup del depósito D19), junto con Caryophyllaceae y, en menor medida, otros como Apiaceae*, Artemisia, Asphodelus albus* tipo, *Aster* tipo, Cardueae*, Centaurea nigra* tipo, Cichorioideae*, Plantago lanceolata* tipo y *Urtica dioica* tipo.

Entre las comunidades hidro-higrófilas, destaca, sobre todo, el helecho común *(Pteridium aquilinum),* con porcentajes casi siempre por encima del 20 %, junto a otros como *Polypodium vulgare,* Filicales Monolete y Filicales Trilete. La presencia de helechos es coherente con la conservación de cierta humedad en estas estructuras. Finalmente, entre los microfósiles no polínicos tan solo se han identificado *Glomus* cf. *fasciculatum, Sordaria* sp. y *Chaetomium* sp., si bien con valores siempre inferiores al 5 % (fig. 347).

10.2.3.2. *Resultados del estudio antracológico*

Se han identificado los siguientes taxones vegetales (fig. 348): *Alnus-Corylus* (aliso o avellano), *Arbutus unedo* (madroño), Cistaceae (jaras), *Corylus avellana* (avellano), *Erica* sp. (brezo), Fabaceae (fabáceas

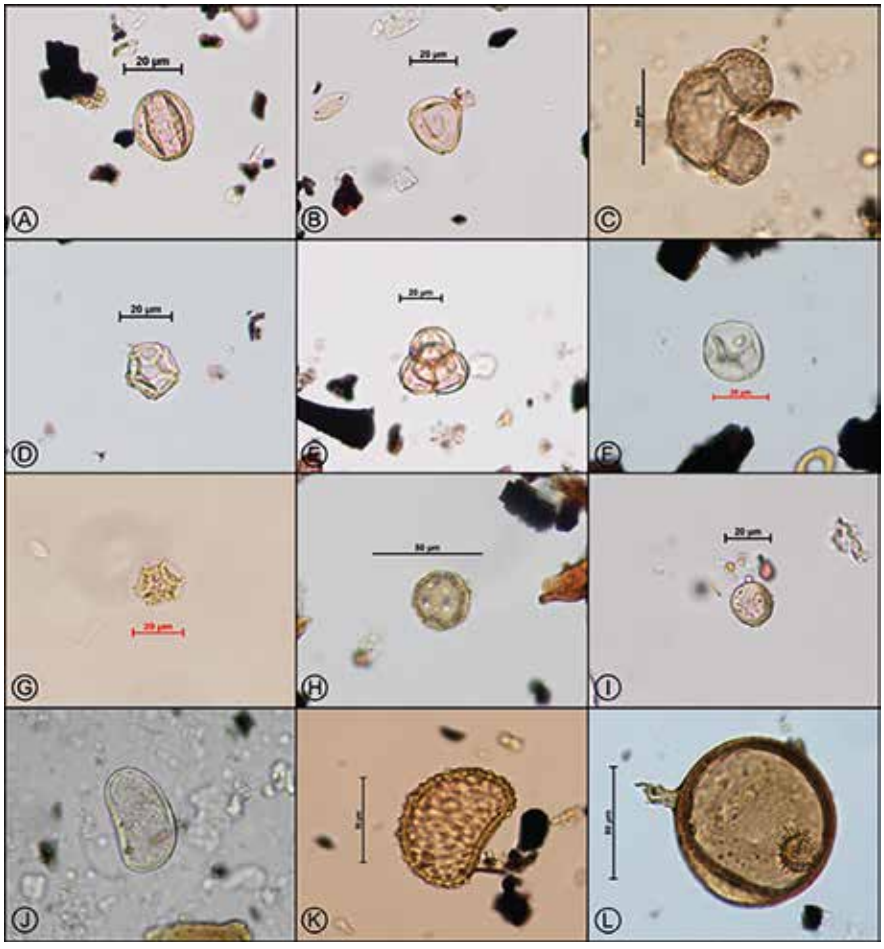


Figura 347. Imagen sintética de algunos de los morfotipos identificados en el estudio palinológico de la red hidráulica de Las Médulas: A) *Quercus* caducifolio. B) *Corylus*. C) *Pinus sylvestris* tipo. D) *Alnus*. E) *Erica* tipo. F) Poaceae. G) Cichorioideae. H) Caryophyllaceae. I) *Plantago lanceolata* tipo. J) Filicales Monolete. K) *Polypodium vulgare* tipo. L) *Glomus* cf. *Fasciculatum*.

o leguminosas), *Fraxinus* sp. (fresno), Maloideae (de la familia de los pomos), *Pinus nigra-sylvestris* (pino negral o pino albar), *Prunus* sp. (pruno, del género del endrino o el cerezo silvestre), *Quercus* caducifolio (roble), *Quercus* perennifolio (encina, carrasca), *Quercus* sp., *Salix* sp. (sauce) y *Taxus baccata* (tejo).

Cuando no se han podido observar todos los criterios necesarios para la identificación de un taxón con seguridad, se añade «cf.», indicando así que dicha identificación queda «por confirmar». Del mismo modo, cuando los criterios de determinación no son decisivos, se ha dejado la identificación como «angiosperma» o, incluso «indeterminable». Este caso ha sido bastante frecuente en algunas muestras debido bien al reducido tamaño o bien a la mala conservación de los carbones.

La lista taxonómica documentada no es muy amplia y, aunque se han identificado diversos árboles de carácter mesófilo, porcentualmente destaca una vegetación arbustiva, característica de formaciones de sustitución de bosques de quercíneas o de sus zonas aclaradas, coherentes con la zona de influencia atlántica y mediterránea de tipo continental. En efecto, brezos y leguminosas constituyen la vegetación mejor representada en el entorno de la explotación minera (tabla 61), con un claro predominio de los primeros. Es muy probable que ambos taxones incluyan una cierta diversidad de especies del género y la familia, respectivamente, que no pueden ser diferenciadas de forma concluyente a partir de la anatomía de la madera, pero se intuyen, por ejemplo, en la diferente anchura de los radios (fig. 348). También están presentes las jaras que, de

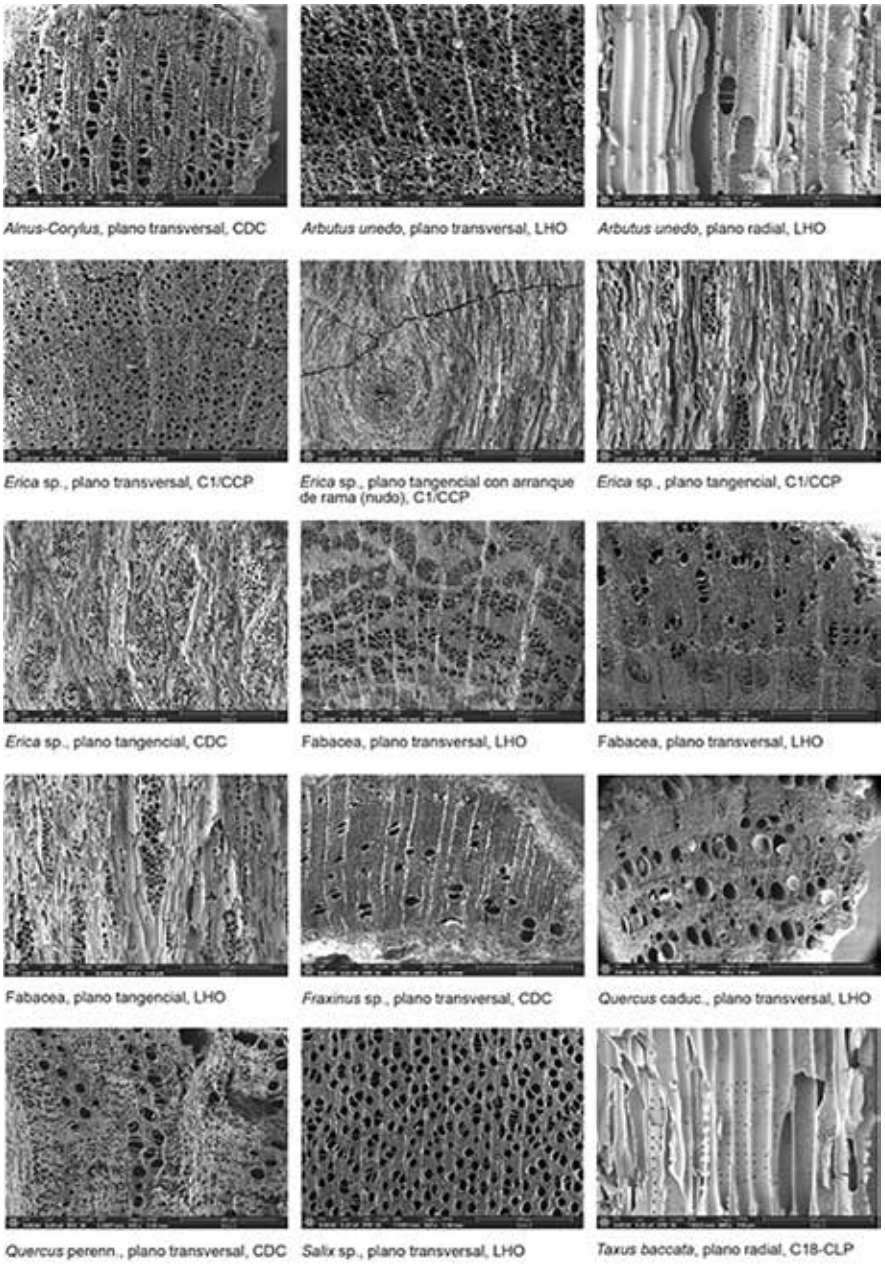


Figura 348. Fotografías en microscopio electrónico de algunos de los taxones leñosos identificados en Las Médulas.

nuevo, pueden formar parte del cortejo florístico de bosques mixtos caducifolios, o de sus etapas de sustitución en bosques aclarados; son, además, plantas pirófitas, muy resistentes a los incendios repetitivos, que soportan un substrato de suelos pobres y degradados.

La presencia de taxones mesófilos (roble, tejo, avellano, entre otros) es más restringida y, aunque su presencia no es porcentualmente llamativa, algunos de estos taxones, como los *Quercus* caducifolios, son bastante ubicuos ya que están presentes en más del 20 % de las muestras analizadas.

Estas especies tienen, en general, unos requisitos de desarrollo edáfico y de humedad que podrían ser incompatibles con la zona directamente afectada de explotación minera, por la profunda alteración

Taxones	%	N.º muestras
Erica	82,46	47
Fabaceae	50,88	29
Cistaceae	12,28	7
Arbutus unedo	1,75	1
Maloideae	1,75	1
Pinus nigra-sylvestris	7,02	4
Prunus sp.	3,51	2
Quercus caducifolio	24,56	14
Quercus perennifolio	7,02	4
Quercus sp.	14,04	8
Taxus baccata	1,75	1
Salix sp.	8,77	5
Alnus-Corylus	1,75	1
Corylus avellana	1,75	1
Fraxinus sp.	3,51	2
TOTAL	100,00	57

Tabla 61. Ubicuidad de los taxones identificados en el total de las muestras de Las Médulas (porcentaje de muestras en las que está presente).

de la orografía y las constantes remociones de suelo. Probablemente, constituyen un eco de las formaciones circundantes a la explotación, y su presencia en los sedimentos de canales y depósitos responde a la propia dinámica de la gestión del entorno, como se explicará más adelante.

Ya se ha mencionado que la zona se encuentra en un ámbito de influencia mixta, mediterránea y atlántica, algo que se hace patente por la presencia de algunos taxones propios del área mediterránea sometida a condiciones de continentalidad, sobre todo la carrasca y también el madroño. Por último, los taxones de ribera están representados de forma ocasional; pese a que existe cierta variedad de especies que podrían ocupar estos enclaves, su frecuencia y su ubicuidad son realmente bajas, lo que indica su localización en áreas poco afectadas por los trabajos de gestión de la cubierta vegetal.

Resulta muy relevante destacar que, además del dominio de arbustos y matas, muchos de los carbones proceden de ramitas de pequeño calibre. Se ha podido observar este hecho cuando se contaba con la sección completa de la rama o, al menos, una parte importante de esta, que incluya el último anillo y, en ocasiones, la corteza o parte de ella (fig. 349). En general, la presencia de ramitas alcanza entre un 30 y un 40 % de media en las muestras (teniendo en cuenta aquellas en las que se han podido contabilizar según los criterios descritos, por lo que la proporción podría ser mayor). Llama la atención la conservación de ramitas de muy pequeño calibre, entre 1-2 mm de diámetro. Esto, probablemente, confirma la existencia de formaciones vegetales muy rejuvenecidas.

Al analizar la distribución de los taxones en los contextos de estudio, se ha observado que en la mayor parte de los canales la presencia de carbón era escasa; además, eran muy pequeños y, en algunos casos, se trataba de conjuntos de raíces y fragmentos de hojas sin carbonizar, probablemente de cronología subactual, como es el caso del canal emisario de La Frisga (CEF).

En la tabla 62 se presenta una síntesis de los taxones identificados en los contextos que han ofrecido una cantidad poco representativa de carbón por muestra, en términos cuantitativos, por lo que se expresa solo su presencia/ausencia.

Un dato evidente es la ubicuidad de los brezos (*Erica* sp. y cf. *Erica* sp.), detectados en la mayor parte de los registros y, en segundo lugar, de las fabáceas, confirmando que estas familias estaban muy extendidas en el entorno de las minas (tabla 61 y fig. 349). El resto de los taxones tiene una presencia muy ocasional en los rellenos de los canales, incluso reducida a uno o dos fragmentos, como en el caso del avellano, los pinos de montaña, el sauce o el tejo. Así, estos árboles debieron de ser poco frecuentes o haberse desarrollado en los bordes de la zona de explotación minera, de forma que habrían sido afectados por el fuego de forma esporádica.

Tres sondeos han ofrecido suficiente carbón por muestra para cuantificar y valorar los datos en

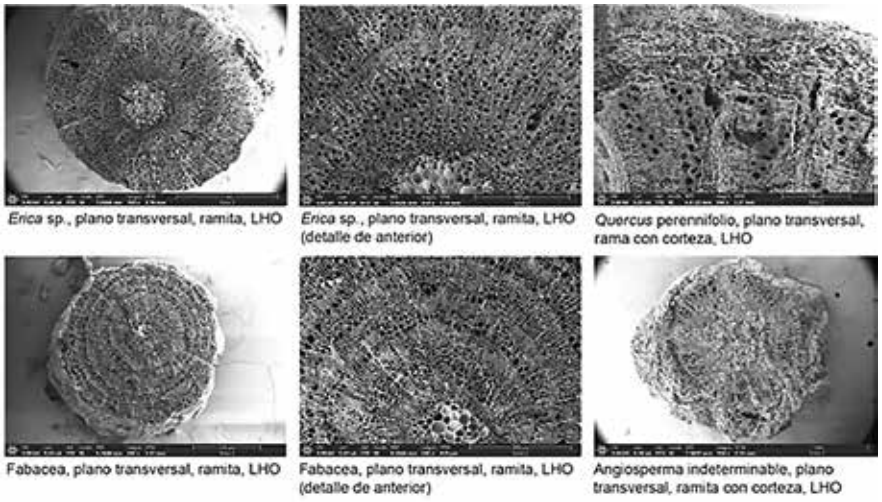


Figura 349. Fotografías en microscopio electrónico de algunas ramitas de pequeño calibre documentadas entre el material leñosos carbonizado en el depósito de La Horta (D39).

una secuencia diacrónica: el canal C1, el depósito de Chaos da Cruz (D19) y el depósito de La Horta (D39).

En el canal C1, pese a ser relativamente abundante el material carbonizado, destaca la pobreza taxonómica documentada (fig. 350): solo se han determinado con seguridad los brezos y las fabáceas, además de una presencia más esporádica de jaras (Cistaceae). La dinámica observada permite entrever una progresiva expansión de los brezos hacia el techo de la secuencia, en detrimento de las fabáceas. Es cierto que en la base de la estratigrafía hay un porcentaje considerable de indeterminación (10 % de angiosperma), que podría matizar esta tendencia, pero aun así resulta clara la expansión de los brezos hasta constituir más del 90 % de los restos.

En el depósito de Chaos da Cruz (D19) se ha recuperado carbón de 13 unidades estratigráficas, aunque en algunas de ellas la cantidad era muy escasa, sobre todo en la base de la secuencia y en la zona media del diagrama. En las unidades estratigráficas 13 y 12 inferior no se ha podido identificar ningún fragmento de carbón y algunas muestras han proporcionado una cantidad insuficiente para poder realizar valoraciones cuantitativas, por lo que se ha indicado únicamente la presencia de los taxones (fig. 351). En este depósito, destaca de nuevo la presencia de los brezos y de las fabáceas como taxones más ubicuos. Los *Quercus* tienen una presencia más

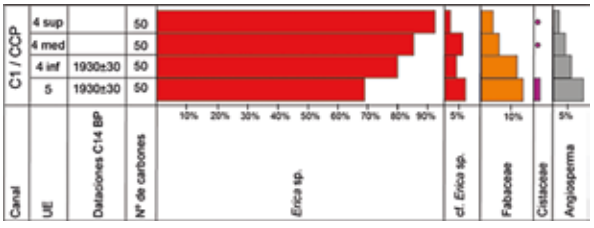


Figura 350. Diagrama antracológico del canal C1.

destacada a techo de la secuencia, siendo especialmente abundantes los robles en la UE5, pero están completamente ausentes en los niveles intermedios. La presencia esporádica de algunos taxones como *Prunus* o los pinos de montaña (estos presentes únicamente en la UE10, pero en un porcentaje destacable, del 10 %) se puede interpretar como evidencia de la afectación ocasional del fuego a áreas nuevas, es decir, que conservaban cobertura arbórea, mientras que la mayor parte de la zona de explotación minera parece estar dominada por formaciones de matas tipo landa, coherente con la gestión de la cubierta vegetal en función de las necesidades y avance de la mina.

Otro dato interesante, que también se observa en La Horta (D39), es que la presencia de carbón es desigual en los distintos niveles. En ambos depósitos con una fase intermedia de casi total ausencia. Esto puede deberse a quemas cíclicas, cuando la vegetación

	Localización	UUEE	*Erica* sp.	cf. *Erica* sp.	Fabaceae	cf. Fabaceae	*Quercus* cad.	*Quercus* sp.	*Pinus nigra-sylvestris*	*Corylus avellana*	*Salix* sp.	*Taxus baccata*	Angiosperma	Indeterminable
CANALES	C5 Orellán	UE2		*	*									
	C5 Orellán	UE4		*				*						
	C18 Llamas de Cabrera	UE3	*	*							*			
	C18 Llamas de Cabrera	UE4		*						*				
	C18 Llamas de Cabrera	UE5	*	*								*		
	C25 Peña Aguda	UE4a		*										
	C25 Peña Aguda	UE5		*										
	C25 Peña Aguda	UE6		*										*
	C26 Bajo de Corporales	UE3											*	
	C26 Bajo de Corporales	UE4sup				*								
	C26 Bajo de Corporales	UE4med	*	*					*					
	C26 Bajo de Corporales	UE4inf												
	C26 Bajo de Corporales	UE5			*	*								
	C29 Campo de Braña	UE2		*										
	C29 Campo de Braña	UE3		*										
	C29 Campo de Braña	UE4		*										
	C30c Pena Escribida	UE3		*	*									
	C32 Alto de Corporales	UE2			*									
	C32 Alto de Corporales	UE3												
	CDC Debesa de Corporales	UE4inf											*	
	CDC Debesa de Corporales	UE4sup	*						*					
DEPÓSITOS	D22 Las Pedrices	UE3inf		*										
	D22 Las Pedrices	UE3sup	*	*										
	D22 Las Pedrices	UE4sup											*	
	D22 Las Pedrices	UE5							*					
	D22 Las Pedrices	UE6		*										
	D22 Las Pedrices	UE7		*										
	D28 Campo de Braña	UE2									*			
	D28 Campo de Braña	UE4		*			*							

	Frecuente	*	Presencia

Tabla 62. Presencia/ausencia de los taxones identificados en canales y depósitos con escasa cantidad de carbón.

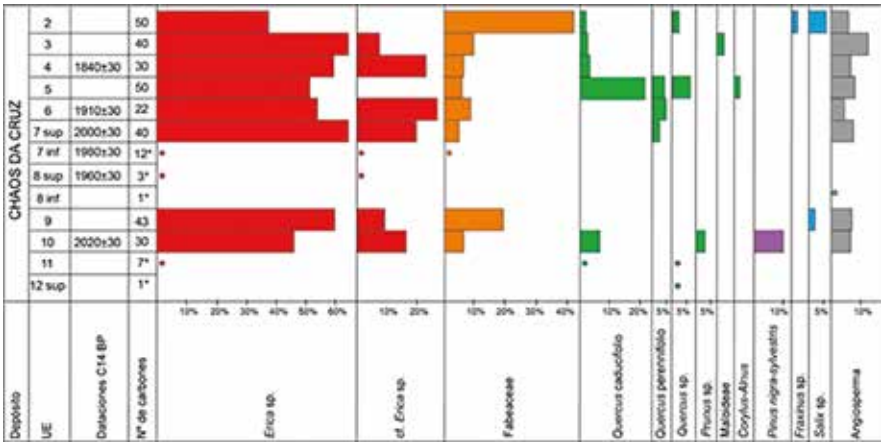


Figura 351. Diagrama antracológico del depósito de Chaos da Cruz (D19).

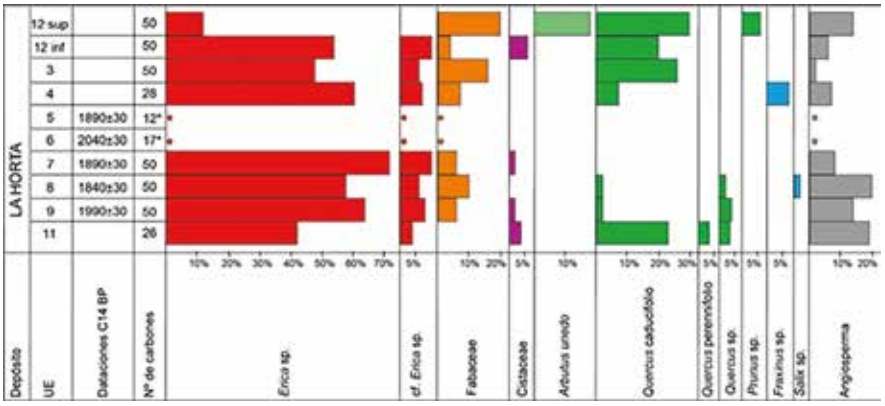


Figura 352. Diagrama antracológico del depósito de La Horta (D39).

vuelve a colonizar el terreno, de modo que los niveles en los que no hay carbón o este es muy escaso, pueden indicar un menor uso del fuego, sea durante el periodo de actividad minera o sea en etapas posteriores, relacionadas con otros usos del suelo o incluso incendios fortuitos. También hay que tener en cuenta los propios procesos de acumulación y lavado cíclico de los sedimentos que colmatan las estructuras y que pueden hacer más compleja la estratigrafía.

En el depósito de La Horta (D39) se ha recuperado carbón de diez unidades estratigráficas, aunque, también aquí, en algunas la cantidad era muy escasa, de manera que únicamente se han calculado las frecuencias en aquellas que llegaban a 20 fragmentos identificables, mientras que en el resto solo se representa su presencia (fig. 352). Destacan los brezos entre la madera carbonizada, generalmente con porcentajes de entre el 40 y el 70 %, pero se puede observar una mayor entidad de especies arbóreas en la base de la secuencia. El roble vuelve a ser abundante en las muestras superiores, tras una ausencia marcada en la zona media del diagrama, y a esto se une la presencia del madroño a techo de la secuencia. La hipótesis que se plantea es que los brezos y, en menor medida, las fabáceas, son especies muy extendidas en la zona alterada por la actividad antrópica y se ven, además, favorecidas por la acción del fuego. Al contrario, la presencia discontinua de otros taxones puede deberse a la afección ocasional del fuego en zonas nuevas, cuya cubierta vegetal aparece representada en el registro antracológico de forma heterogénea. Del mismo modo, la vegetación de ribera está representada de forma escasa y discontinua, a pesar de la cercanía de cursos de la cuenca del Sil, lo que indica

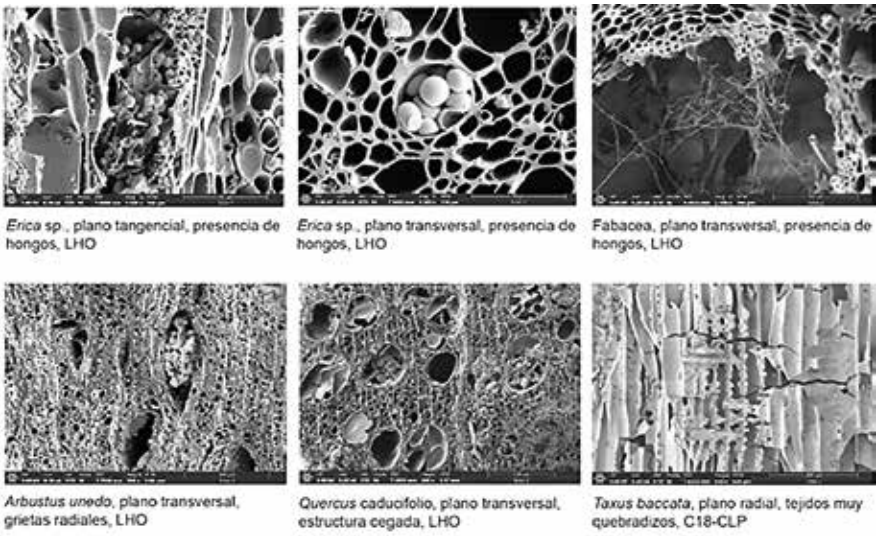


Figura 353. Ejemplos de alteraciones documentadas en el carbón de Las Médulas.

que no serían áreas afectadas por el fuego de forma sistemática.

En resumen, estos registros evidencian claramente el peso de la vegetación arbustiva en el entorno de la explotación minera y de formaciones jóvenes, como demuestra la presencia abundante de ramitas de pequeño calibre (fig. 349). La observación de algunas alteraciones de la madera, como las grietas radiales de contracción (fig. 353), se han relacionado con la quema de madera en estado verde (Théry-Parisot 2001): la madera libera de forma rápida el agua que aún contiene y esto da lugar a una brusca contracción de los tejidos, produciendo numerosas roturas en su estructura. Esto apunta a la quema inmediata de las plantas leñosas, pudiendo incluso realizarse directamente sobre las formaciones en posición de vida. Otras alteraciones detectadas en la anatomía de los carbones son la presencia de hongos y los tejidos cegados que, en algunos casos, pueden atribuirse a la permanencia de estos carbones en el sedimento húmedo de los canales y depósitos.

10.2.4. La vegetación en el entorno de la mina y su gestión

En términos generales, el proceso de excavación del conjunto de canales y depósitos documentados en la red hidráulica de Las Médulas ha dejado al descubierto niveles arqueológicos correspondientes fundamentalmente a dos etapas. Como se ha visto en el capítulo 6, la primera corresponde al último periodo de uso o al momento inmediatamente posterior a su abandono. La segunda comprende niveles de colmatación de dichos canales y depósitos formados por sedimentos depositados por diferentes procesos de relleno a lo largo de un periodo dilatado, posterior a su uso y hasta la actualidad. El registro arqueobotánico recoge muestras de ambas etapas, que, como se verá a continuación, describen un paisaje cambiante, con diferencias notables entre las muestras más antiguas y las más recientes.

Los registros de la primera etapa reflejan un paisaje muy abierto, en el que el dominio fisonómico corresponde a los arbustos, que siempre presentan valores de polen por encima del 39,3 % (muestra procedente de la UE2 del canal C5, fig. 336), llegando a alcanzar valores máximos de 63,2 % (muestra procedente de la UE3 del canal C32, fig. 341). Como ya se ha mencionado, los brezos (*Erica* tipo) son el taxón mejor representado en la gran mayoría de las muestras. Este hecho es sobre todo evidente en los canales y depósitos situados a menor altitud, por debajo de los 1000 m s.n.m., como son el canal C1, a 607 m s.n.m (fig. 335), el canal emisario de La Frisga (CEF) a 712 m s.n.m. (fig. 343), el canal C5 a 713 m s.n.m. (fig. 336) el depósito D19, a 780 m s.n.m. (fig. 344), el canal C18, a 843 m s.n.m. (fig. 337), el

depósito D39, a 938 m s.n.m. (fig. 346) y el canal C30c, a 973 m s.n.m. (fig. 340). En ellos es muy claro el dominio de estos arbustos leñosos, definidos en esta región como parte de las etapas de degradación del bosque climácico tras sufrir sucesivos aclareos y quemas. Su gran amplitud ecológica hace que se puedan desarrollar tanto en zonas altas en contacto con pastizales, como a menor altitud junto a vegetación riparia, roquedos, etc., con una densidad variable pero generalmente elevada.

A mayores altitudes (por encima de los 1200 m s.n.m.), los brezales comparten espacio con jarales de jaras pringosas (*Cistus* tipo) y sobre todo con matorrales de leguminosas tipo tojales o piornales *(Ulex/Cytisus)*. Así se aprecia en el depósito D23, a 1240 m s.n.m. (fig. 345), en el canal C25, a 1240 m s.n.m. (fig. 338), en C26 a 1251 m s.n.m. (fig. 339), en C32, a 1335 m s.n.m. (fig. 341) y en el canal CDC, a 1242 m s.n.m. (fig. 342). Se trata de formaciones densas, también pioneras y favorecidas por procesos de antropización del paisaje, especialmente por la incidencia recurrente del fuego, como etapas degradativas de los bosques climácicos acidófilos de *Quercus pyrenaica* (Rivas Martínez 1987).

Como se ha mencionado, la evidencia en el carbón de un alto porcentaje de ramitas de muy pequeño calibre de estos taxones apunta a un rejuvenecimiento constante de la cubierta vegetal y, probablemente, a una pérdida de suelo que no permitiría asentarse a especies más exigentes en cuanto a desarrollo edáfico se refiere, al menos durante la etapa de uso de la explotación minera y en el momento inmediatamente posterior.

Otros arbustos también identificados tanto en el carbón como en el polen son los madroños *(Arbutus unedo),* sobre todo presentes en las zonas más termófilas, elemento que junto con especies de la familia Labiatae (familia cosmopolita de especies frecuentemente aromáticas) señala de nuevo este cortejo vegetal como una primera etapa de sustitución del bosque climácico. Por último, otros arbustos documentados son espino albar (*Crataegus* tipo, posiblemente *Crataegus monogyna*) y otro tipo de rosáceas espinosas como *Prunus*. En cualquier caso, todos estos taxones son compatibles desde el punto de vista biogeográfico con las formaciones potenciales del entorno, como son fundamentalmente los robledales (Acedo *et al.* 2008).

Además de este estrato arbustivo tan desarrollado que domina el paisaje, se documentan formaciones forestales, muy escasas en esta etapa. De hecho, atendiendo a los valores generales de polen arbóreo y de manera específica de cada taxón, no puede afirmarse la existencia de masas extensas, sino, quizá, de pequeños bosquetes o incluso en algunos casos de ejemplares aislados. En las cercanías de los canales y depósitos podrían ubicarse robledales de *Quercus* caducifolio muy localizados y abiertos. De acuerdo con las condicionantes topográficas, edafológicas y climáticas, posiblemente fuesen rebollares de *Quercus pyrenaica,* una especie de amplia distribución en el occidente de la provincia de León debido a su carácter submediterráneo (que le permite soportar tanto la sequía estival, como la acusada continentalidad), su intolerancia a los suelos calizos y su gran capacidad de rebrote (Acedo *et al*. 2008). En esta primera etapa, sus valores son generalmente bajos, no superiores al 10 %. Incluso hoy en día existen manchas de poca extensión de estos rebollares degradados en el piso supramediterráneo de ombroclima subhúmedo o húmedo y sobre sustratos silíceos. Quizá asociados a estos rebollares podrían hallarse los avellanos *(Corylus avellana),* dependientes de cierto grado de humedad, al igual que los abedules *(Betula)*. En cualquier caso, ambos tienen una presencia reducida.

En el registro antracológico de Las Médulas la importancia del carbón de *Quercus* en algunos niveles concretos podría corresponder al mencionado sistema de explotación con quemas cíclicas, que afectaría circunstancialmente a espacios poblados con estos bosquetes. Están especialmente presentes en el techo del depósito de La Horta (D39), en este caso correspondientes a especies caducifolias.

Dos taxones interesantes documentados en los diagramas palinológicos son *Fagus sylvatica* (haya) y *Castanea sativa* (castaño). En el caso del haya, sus valores son muy reducidos (no superiores al 2 %), por lo que su presencia a escala local no parece muy

probable. Es más razonable su ubicación en zonas montañosas cercanas, como los Montes Aquilianos o incluso las sierras de O Courel o Ancares. Se trata de una especie cuyo origen se ha situado tradicionalmente en procesos de migración este-oeste a partir de poblaciones que sobrevivieron en los refugios de los Cárpatos y los Balcanes y que pudieron alcanzar la península ibérica hará unos 3000 años para difundirse por el norte de Cataluña y el Pirineo (Huntley y Birks 1983). Por otro lado, se ha propuesto una expansión a partir de refugios locales situados en la cornisa cantábrica, País Vasco y Cataluña (Costa Tenorio *et al.* 2005; Martínez Atienza y Morla Juaristi 1992; Magri *et al.* 2006, Ruiz Alonso *et al.* 2019). Hoy en día, a partir de hallazgos paleobotánicos, esta segunda opción parece tener mayor verosimilitud en el caso de la península ibérica (López Merino y López Sáez 2009; López Merino *et al.* 2008).

Respecto al castaño, si bien sus valores son reducidos (máximo 3 %), resultan significativos. La presencia de castaño en el sudoeste de Europa sigue siendo objeto de debate, ya que muchos autores solo consideran la presencia de esta especie en estos territorios como consecuencia de su cultivo intensivo desde la época romana (Scarascia-Mugnozza *et al.* 2000; Conedera *et al.* 2004; Krebs *et al.* 2004). Sin embargo, en el registro paleobotánico se documenta en Europa sudoccidental desde el Plioceno y Pleistoceno Inferior (Huntley y Birks 1983). En la península ibérica, se ha identificado en el registro fósil al menos desde el Pleistoceno Inferior (Can Guardiola, Atapuerca), así como en el Pleistoceno Medio (Lezetxiki, Atapuerca, Torralba, Ambrona, Formación Pinedo, Bolomor), posiblemente en relación con refugios glaciares. Desde diferentes ámbitos científicos se ha propuesto el carácter autóctono del castaño en la península (García Antón *et al.* 1990; Morla Juaristi 1996) y los datos paleobotánicos vienen apoyando esta hipótesis (Carrión *et al.* 2003; Gómez Orellana *et al.* 2007; Muñoz Sobrino *et al.* 2004; Postigo Mijarra *et al.* 2008 y 2010). Incluso se ha documentado un bosque muy desarrollado en el Holoceno final en las estribaciones gredenses del sistema Central, a tenor de los datos aportado por la turbera de El Tiemblo (Ávila) (López Sáez *et al.* 2017). En el caso de Las Médulas, los señalados reducidos valores no permiten aseverar con seguridad que se trate de cultivos, y podría tratarse de ejemplares aislados en el entorno, si bien en la actualidad su cultivo está muy extendido. En la misma zona arqueológica de Las Médulas, en el asentamiento romano de Orellán, coetáneo a la explotación minera, sí se ha documentado una presencia importante de polen de castaño (López Merino *et al.* 2010). Esto puede indicar una extensión de los sotos de castaños cultivados en la cercanía de los poblados, y no así en las áreas más directamente afectadas por la minería. Es interesante notar que estas dos especies, haya y castaño, se han identificado en el polen, pero no se ha registrado su presencia entre la madera carbonizada, lo que podría indicar una presencia modesta, fuera del ámbito de afectación del fuego.

Otras formaciones caducifolias son las de tipo ripario, entre las que se documentan taxones como alisos *(Alnus),* fresnos *(Fraxinus)* y sauces *(Salix).* Su presencia es muy reducida en el entorno, pero significativa, posiblemente en las cercanías de cursos de agua estables como los numerosos arroyos que forman parte de las cuencas del río Sil, del Cabrera y del Eria. No es descartable que estuviesen asociados en algunos casos a los propios canales y depósitos. Como se ha mencionado antes, la detección de estos taxones también en el registro antracológico indica que el fuego afectó a las formaciones de ribera de forma ocasional, ya que su presencia es discontinua en los depósitos.

Otros taxones de porte arbóreo identificados son compatibles con los encinares (*Quercus* perennifolio), posiblemente de *Quercus rotundifolia,* si bien sus valores siguen la tónica general de presentar valores muy reducidos. Estas encinas-carrascas se pudieron localizar en zonas de ladera, de intensa insolación y suelos degradados, no aptos para la vegetación caducifolia antes señalada, al ser resistentes al frío, al calor y a la sequía (Costa Tenorio *et al.* 2005).

Por último, apenas se han señalado restos palinológicos de pinos (*Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster*), siempre con valores inferiores al 5 %. En

función de estudios de lluvia polínica actual sobre pinares de *Pinus sylvestris* en el sistema Central, se ha determinado que solo valores superiores al 60 % de este morfotipo son indicadores de la existencia de bosques maduros a escala local (López Sáez *et al.* 2013). En este caso, los porcentajes señalados no alcanzan tal umbral. Por ello, se puede pensar que los pinares se localizaron preferentemente en un ámbito regional, posiblemente en el entorno de las cumbres cercanas. No obstante, la presencia, aunque muy escasa, de restos de madera carbonizada de este taxón en algunos canales y depósitos (por ejemplo, C26, CDC o D22, o en la UE10 de D19), podría indicar bien la cercanía de algunos pies, o bien el uso ocasional de madera de esta especie, aportada desde zonas más elevadas.

Entre las comunidades herbáceas dominan los prados de gramíneas (Poaceae), junto a algunos taxones antrópicos nitrófilos y antropozoógenos (*Aster* tipo, Cardueae, Cichorioideae, Caryophyllaceae, *Plantago lanceolata* tipo o *Urtica dioica* tipo). Este hecho, junto con la ya mencionada proliferación de comunidades arbustivas, típicas de etapas degradativas de la vegetación climácica, y la escasez de bosques, dibujan un paisaje abierto, claramente antropizado. Sin embargo, no se advierten actividades económicas productivas, relacionadas con cultivos o pastizales de uso ganadero desarrolladas a escala local, las evidencias de antropización que mejores huellas dejan en el registro arqueobotánico. En efecto, no se han identificado restos de plantas cultivadas, como cereales o leguminosas (algunas de las que tienen mejor visibilidad palinológica), ni de arboricultura vinculada por ejemplo al olivo *(Olea europaea)*. Tampoco se han señalado microfósiles no polínicos de ecología coprófila, habitualmente relacionados con la presencia de ganadería en contextos arqueológicos. Sin embargo, como el mencionado caso de los castaños, sí hay evidencias de cultivos próximos a las zonas de hábitat antiguas, como se comentará a continuación.

En síntesis, en esta primera etapa, el proceso de antropización parece estar relacionado con la gestión del paisaje para la construcción y el mantenimiento de la propia red hidráulica. Estas labores implicarían talas e incendios periódicos, para limpiar los terrenos atravesados por la red hidráulica, primero, para su trazado y construcción (con todas las operaciones que esto conllevaba) y durante su uso, para impedir el excesivo crecimiento de la vegetación, que pudiese entorpecer los flujos de agua y el acceso a los diferentes puntos de la red.

En relación con esto, es interesante señalar la identificación en varios diagramas palinológicos de hongos de ecología carbonícola (*Chaetomium* sp.), cuya aparición en contextos antrópicos se puede interpretar claramente como una evidencia de la existencia de quemas, posiblemente como una herramienta de mantenimiento de los espacios abiertos. De esto parecen ser evidencias los restos de carbón recuperados en los diferentes canales y depósitos.

Si la primera etapa refleja el paisaje vegetal modificado por la mina y sus infraestructuras, la segunda corresponde al dilatado proceso de colmatación de los canales y depósitos, tras el abandono de la explotación aurífera de Las Médulas. Como se ha visto, el abandono fue, en sí, un proceso, ya que los sectores explotados más tempranamente, y sus correspondientes sistemas de abastecimiento de agua, quedaron sin uso cuando otros entraban en actividad. La secuencia relativa establecida en esta investigación permite trazar este proceso que, en todo caso se generalizó entre el final del siglo II y el principio del III d. C. Una cuestión importante es que esta segunda etapa tiene un largo recorrido cronológico, que llega hasta la actualidad. Sin embargo, hasta ahora, tan solo en un caso se ha podido establecer una cronología absoluta para estos niveles en el depósito D39, La Horta, donde se ha datado la UE12sup, con una fecha de 310 ± 30 BP (1490-1649 cal. AD). En el resto de los casos, no es posible por el momento establecer más anclajes cronológicos, más allá de establecer como punto de partida los inicios del siglo III d. C. No obstante, el análisis estratigráfico permite determinar cambios ambientales, que han dejado su huella en las características de los estratos: distintos grados de humedad, arrastres (naturales o antrópicos) de materiales, procesos erosivos...

Globalmente, a partir de ese momento, se aprecian modificaciones en el paisaje vegetal, no tanto en relación con el elenco de especies documentadas en los registros antracológico y palinológico (que no difieren en exceso), sino por su mayor o menor presencia. Por ejemplo, en todas las muestras de estas fases post-abandono, se detecta un incremento en los valores de polen arbóreo, lo que es evidente en canales como el emisario de La Frisga (CEF, muestra procedente de la UE3sup, fig. 335), el C5 (UE2, fig. 336), el C25 (UE2, fig. 338), el C26 (UE3, fig. 339), y en los depósitos D19 (UE6, 5, 4, 3 y 2, fig. 344) y D23 (UE3inf y 3sup, fig. 345), alcanzando valores máximos de 43 %. Este incremento es generalizado en los taxones arbóreos antes mencionados y afecta principalmente a caducifolios, como *Quercus* caducifolio, *Corylus* y *Castanea* y también a *Quercus* perennifolio, que ya tenían anteriormente más presencia local. En menor medida afecta también a *Betula*, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster*, con menos presencia a escala local y, por lo tanto, menos afectados por este proceso de reforestación del paisaje tras el abandono de la mina y de sus sistemas hidráulicos. Esta tendencia parece responder a la dinámica *natural* de la vegetación, ya que no se advierten evidencias de antropización directa (por ejemplo, cultivos forestales), aunque es evidente que es consecuencia de la intensa actividad humana previa, que ha dejado huellas permanentes, y que siguió siendo un paisaje frecuentado.

En paralelo a este proceso de incremento de la superficie forestal, los espacios ocupados por el estrato arbustivo se reducen de manera proporcional, estando en este caso presentes las mismas especies señaladas con anterioridad, entre las que destacan siempre los brezos. Los que permanecen estables son los valores de polen herbáceo, que no parece verse afectado por este proceso de *renaturalización* del paisaje tras la intensa intervención humana que caracterizaba la etapa anterior.

Aunque los registros de polen ofrecen una imagen más completa de la vegetación a nivel regional, los análisis de polen y carbón aquí presentados reflejan una configuración muy particular del paisaje vegetal, completamente antropizado y gestionado. De ello son testigos las formaciones de sustitución de los bosques de quercíneas característicos de la zona, así como de su dinámica de reforestación a partir de los niveles de abandono de la explotación. A pesar de estas particularidades, el conjunto de especies documentadas en Las Médulas, tanto en los registros antracológicos como palinológicos, también se han documentado en otros estudios paleobotánicos en la zona.

No son abundantes los datos antracológicos cercanos a la zona de Las Médulas, con la excepción de dos asentamientos en el entorno de la explotación, El Castrelín de San Juan de Paluezas (Borrenes), de cronología prerromana, y el asentamiento romano de Orellán (Borrenes), que han sido objeto de un completo análisis paleobotánico (López Merino *et al.* 2010). Los resultados del análisis del carbón recuperado en estos sitios muestran la presencia de algunos de los taxones identificados en el análisis de los canales y depósitos de Las Médulas, aunque con importantes diferencias en los porcentajes, que indican diferentes niveles de deforestación a escala local. En estos poblados, los restos dominantes son de quercíneas, aunque también están presentes *Taxus baccata, Alnus, Fraxinus, Prunus* o *Acer*, entre otros. En estos yacimientos están poco representadas las especies de matorral, documentándose solo la presencia de fabáceas. Estas diferencias son coherentes con una explotación diferente del entorno de los yacimientos, en la que, tal vez, se habría primado la explotación de especies arbóreas para uso doméstico. Hay que recordar que, a diferencia de las quemas aparentemente indiscriminadas en el entorno de la mina (con el objetivo de eliminar periódicamente la cobertura de vegetación), los restos carbonizados hallados en los yacimientos de hábitat son un aporte humano, lo que puede producir otro sesgo en la representación de especies. En el caso de la explotación minera, uno de los rasgos más claros de la dinámica de gestión de la cubierta vegetal, que se ha caracterizado en el presente estudio, es el uso del fuego, que afectaría a un zonas limitadas y controladas, de manera que las especies que se encontraran fuera de esta área

sometida a constante degradación no quedan apenas representadas. Por el contrario, los poblados y sus entornos no estuvieron sometidos a estas intervenciones y precisaban cubrir diversas necesidades de madera para combustión y construcción con las especies disponibles, mayoritariamente arbóreas, que completan la imagen parcial que ofrecen los restos de canales y depósitos. El espectro de ambos yacimientos es muy similar, con una mayor representación de la madera de quercíneas en Orellán, posiblemente destinada a alimentar la actividad metalúrgica del hierro desarrollada en su entorno inmediato.

En términos generales, el mencionado estudio sobre El Castrelín y Orellán, muestra que la ocupación prerromana de la zona había modificado ya el paisaje vegetal, creando superficies de cultivo (hay evidencias de cereales de invierno y primavera y de leguminosas) y pastos, conviviendo con formaciones arbóreas sobre todo de *Quercus* caducifolio (también registradas en la Corona de Borrenes), aunque están presentes *Juglans, Castanea* y *Taxus baccata*. Orellán proporciona algunos datos sobre los cambios relacionados con las estrategias de poblamiento y explotación de recursos en el contexto de la dominación de Roma. El cultivo diversificado de cereales y de habas se continúa documentando, pero la identificación de un almacén colectivo en el poblado, en vez de las despensas propias de cada unidad doméstica de El Castrelín, muestra un cambio en las estrategias de subsistencia de las comunidades. En relación con las formaciones arbóreas, la antracología indica el mencionado posible aporte de madera para trabajos metalúrgicos, pero las cifras de polen de *Quercus* son más bajas, frente al aumento del de castaño, lo que parece reflejar una contracción de las masas boscosas de quercíneas y un aprovechamiento importante del castaño (López Merino *et al*. 2010; Fernández-Posse 2000b; Orejas y Sastre 2000).

Aunque anterior cronológicamente, el yacimiento de la Edad del Bronce de Pala da Vella (Biobra, Ourense), también refleja la vegetación característica de esta zona de transición mediterránea-atlántica, y se han documentado algunas de las especies presentes en este estudio: *Quercus* perennifolio*, Quercus* caducifolio*, Arbutus unedo,* Fabaceae*, Taxus baccata*, *Sorbus-Crataegus, Prunus* sp. y *Fraxinus* sp. se identifican en toda la secuencia, lo que indica, de nuevo, que serían las formaciones vegetales más extendida en la región (Carrión Marco 2005). En este caso, se observa la dominancia de *Quercus* perennifolio frente a la variedad caducifolia, de acuerdo con el carácter continental de la zona. Tanto la carrasca como el madroño son especies que no penetran en tierras de gran influencia atlántica salvo por los pasillos mediterráneos que suponen los valles fluviales.

En síntesis:

- Los análisis efectuados en la red hidráulica, junto a los otros registros mencionados, ponen de manifiesto que el trazado, construcción, acceso y mantenimiento de canales y depósitos implicó una gestión local de las masas forestales, con talas y quemas selectivas que implicaron aclarar el bosque caducifolio, que se pobló sobre todo de matorral, en especial brezales, con ejemplares jóvenes.
- La red hidráulica exigía disponibilidad de madera, necesaria en algunos tramos para cerrar las cajas de los canales. También era indispensable en otras operaciones mineras: entibados, construcción de canales de lavado (*agogae*) o fabricación de herramientas, por ejemplo. Las diversas especies arbóreas documentadas proporcionarían la abundante materia prima demandada regularmente.
- Hay que tener igualmente en cuenta la deforestación de los terrenos minados, de las colas de lavado y acumulaciones de estériles. Así, mientras hubo actividad minera en la zona era difícil la densificación del bosque.
- A esto hay que sumar la intensificación de la actividad agraria y ganadera, de la que son testimonio el patrón de poblamiento altoimperial y los datos arquebiológicos de algunos poblados del área de Las Médulas. La diversificación e intensificación del cultivo y de la cabaña ganadera contribuyeron también a

abrir el paisaje y a la expansión de especies como el castaño.

- Las diferencias a escala local en las proporciones de las especies botánicas identificadas deben ponerse en relación con una gestión adaptada de las masas boscosas y los recursos forestales leñosos.
- El cese de la actividad minera dio paso a una reforestación que, sin embargo, no puede considerarse como una renaturalización sin más, ya que estos procesos estuvieron (y están hoy) mediados por la presencia humana, desde la explotación forestal y ganadera al uso de caminos o la extracción de materiales.

11 *El paisaje cultural de la zona arqueológica de Las Médulas como proceso histórico*

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Almudena Orejas
Instituto de Historia del CSIC

Inés Sastre
Instituto de Historia del CSIC

Brais X. Currás
Instituto de Historia del CSIC

Es imposible entender la mina de oro de Las Médulas fuera de su contexto histórico. Sin tener en cuenta por qué se extrajo oro a esa escala y cómo se hizo, Las Médulas no pasan de ser una estampa singular. Del mismo modo, si los vestigios de la minería y de la infraestructura se extraen de su contexto, las interpretaciones en términos tecnológicos carecen de sustento y son, con frecuencia, anacrónicas. Algo similar ocurre al abordar la cuestión de quiénes desarrollaron la amplia serie de trabajos necesarios para la obtención de unos gramos de oro y cómo lo hicieron.

Por ello, además de exponer cual fue la evolución global de la minería romana (apartado 11.1), hay que analizar los resultados de la investigación teniendo en cuenta, de forma resumida y sintética, el poblamiento y los pobladores que ocuparon el territorio (apartado 11.2), dentro del cual se ha dedicado especial atención a las evidencias que están más directamente relacionadas con la red hidráulica, objetivo principal de este estudio.

Para alcanzar una comprensión global de todo ello (estructuras mineras, poblamiento y pobladores) es preciso considerarlo a una triple escala (apartado 11.3): la imperial, es decir, entender los motivos del interés de Roma por el oro y los mecanismos puestos en marcha para su obtención; la regional, es decir, las estructuras que dentro de la provincia en la que se situaban las minas, la Hispania Citerior, con capital en Tarraco, facilitaban la organización de tierras, poblaciones y recursos (*conventus asturum,* papel de Asturica Augusta, red viaria, etc.); y la local, es decir, la organización de *civitates* y de *metalla publica* y la articulación entre ambos. En último lugar, a modo de reflexión final o conclusiones (apartado 11.4), se hacen unas consideraciones generales sobre el significado del paisaje cultural de Las Médulas como proceso histórico.

11.1. UN PAISAJE CAMBIANTE: EL DESARROLLO DE LAS LABORES MINERAS EN LAS MÉDULAS

F. Javier Sánchez-Palencia

Todos los aspectos que se han presentado en las páginas anteriores han de considerarse desde la perspectiva de un paisaje que tomó forma a lo largo de casi dos siglos de explotación minera, cuyas consecuencias, además, han marcado la posterior evolución de este paisaje hasta la actualidad. En el caso del poblamiento, solo los sitios con alguna excavación proporcionan referencias más fiables. Así, por ejemplo, se puede afirmar que la *domus* de Las Pedreiras, con algunas reformas, estuvo habitada durante prácticamente todo el periodo de actividad minera. Algo similar puede decirse del asentamiento de Orellán, pero para la mayor parte de los poblados, carecemos de precisiones cronológicas. La ubicación de Chaos de Mourán indica que su instalación tuvo que ser posterior al final de los trabajos en ese sector de la mina.

A partir de lo expuesto en los capítulos previos, en los que ya se han hecho algunas referencias relativas al desarrollo de las labores mineras en Las Médulas, se pueden establecer las principales etapas de cambios en el paisaje, de acuerdo con la secuencia relativa de la evolución de los trabajos mineros. Se han propuesto cinco fases, basadas en las evidencias constatadas sobre el terreno al analizar los tres principales tipos de estructuras mineras: los sectores explotados, el abastecimiento de la red hidráulica y la evacuación y acumulación de estériles. Se ha tenido muy en cuenta también la información proporcionada por el valioso testimonio de Plinio el Viejo en su pasaje de la *Historia Natural* (*HN,* XXXIII 66-78).

11.1.1. Fase 1.ª. Prospección e inicio de las labores mineras

Implica el desarrollo de las labores de prospección que condujeron al descubrimiento y evaluación del yacimiento aurífero, según las describe Plinio al inicio del texto referido (Plin., *HN,* XXXIII 67).

En primer lugar (ver apartado 2.1), se debió de hacer una prospección sistemática a la batea. Siguiendo al naturalista, se extraería en primer lugar el *aurum fluminum* de cuyo lavado se conseguiría el *segullum* o concentrado aurífero para obtener un indicio acerca de la riqueza la zona por la que transcurría el río. Dada la gran cantidad de explotaciones romanas que existen sobre las terrazas del río Sil y su afluente el Cabrera aguas abajo de Las Médulas, la realización de esa primera labor de prospección seguro que se llevó a cabo a la par que dichas explotaciones.

En segundo término (ver apartado 2.2) y de forma consecutiva y continua a lo largo de todo el proceso minero, se fue obteniendo el *aurum talutium* o *talutatium,* que no era otra cosa que la investigación en superficie de los diversos sectores explotables. De este último proceso solo se conservan aquellas labores superficiales, hechas mediante trincheras más o menos profundas, en las zonas donde la prospección no fue seguida por una explotación más intensa. Es decir, solo se conservan en aquellas zonas donde el resultado fue *negativo,* de manera que permitió ir definiendo las zonas de mayor interés. Como se puede apreciar en las figs. 16 y 19 del apartado 2.2, estos trabajos se produjeron en todos los sectores de Las Médulas.

11.1.2. Fase 2.ª. Explotación selectiva de las zonas más ricas del yacimiento (fig. 354)

Las fases que siguen pueden ponerse en relación con lo que Plinio identifica como el *aurum arrugiae* (*HN,* XXXIII 70, 77). Esta correspondencia es genérica (ver en ese sentido el apartado 9.1), en la medida en que se considera como la descripción pliniana sobre la explotación del oro secundario o aluvionar, en contraposición al oro primario o en roca denominado *aurum canalicium* o *canaliense*. Obviamente, el autor no distinguía entre procedimientos de explotación selectivos y extensivos, aunque sí especifica el que más llamó su atención dentro del *aurum arrugiae,* el de la *ruina montium*.

Una vez localizado el yacimiento de Las Médulas siguiendo el curso del río Sil y el primigenio

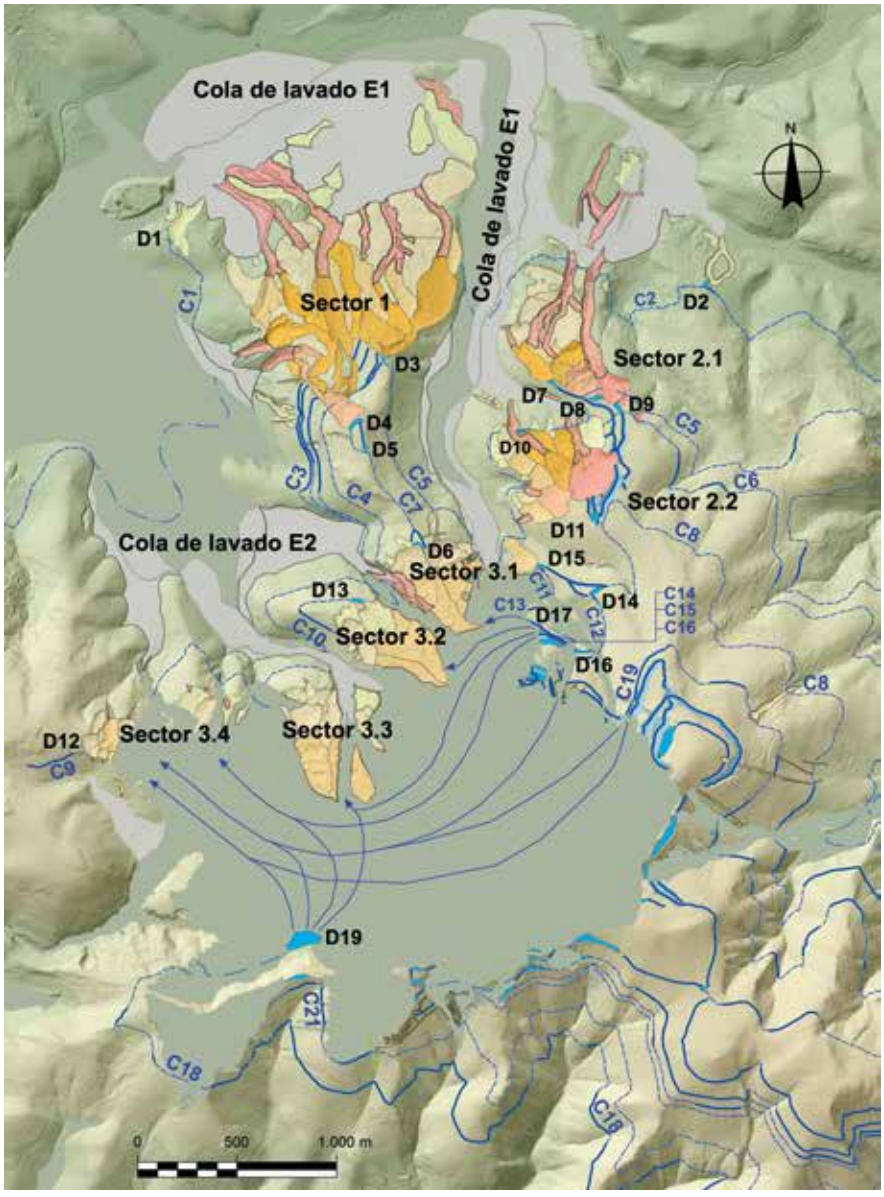


Figura 354. Estructuras mineras de la fase 2.ª de explotación de Las Médulas.

arroyo existente por donde hoy transcurre el arroyo del Balao, las labores se iniciaron en el sector 1 a la altura del actual pueblo de Carucedo, abarcando terrenos que hoy en día están en parte bajo el lago de Carucedo. Desde el primer momento, el abastecimiento hidráulico pudo provenir de las dos vertientes de los Montes Aquilianos. En el caso de la red meridional, desde un lugar ya bastante remoto a través del primer canal, el C1, que alcanza algo más de 51 km desde su nacimiento en el arroyo de Valdeolleras, y que finalizaba en el depósito D1. Desde zonas más cercanas llegó el agua a través de los canales C3a, 3b, 3c y C4 y mediante el depósito D3. En el caso de la red septentrional, el abastecimiento se hizo al principio desde lugares bastante próximos, caso de los canales C2 (asociado al cual solo se conserva el depósito D2) y C5 (que finaliza en D3 y pudo abastecer también a D7), que captaban el agua en la inmediata cuenca del arroyo Isorga, el último con un recorrido de algo más de 13 km.

En el sector 2 los trabajos también se iniciaron por zonas próximas al arroyo Isorga, que luego quedaron muy alteradas por la evacuación y relleno de los estériles. Gran parte de su superficie, con materiales bastante ricos de la Formación Santalla, se explotó (como en el sector 1 y en los subsectores 3.1 a 3.4 del sector 3) de forma selectiva, mediante series de surcos convergentes. El sector 2 únicamente se abasteció con la red septentrional, concretamente los canales C2 y el C5. A partir de las últimas fases (4.ª a 7.ª) del sector 2.1, realizadas con sistemas de explotación extensivos, ya pudo entrar en funcionamiento el canal C6 (alimentando los depósitos D7, D8 y D9), que también sirvió para las primeras labores selectivas en el sector 2.2 (de ese momento queda el depósito D10). Las cotas de 680 a 690 m en las fases 4.ª a 6.ª en el sector 1 y en las fases 4.ª a 7.ª del sector 2.1 y la de 750 m de las fases 6.ª y 7.ª en el sector 2.2 marcan el paso desde el sistema de explotación selectivo (series de surcos convergentes) al sistema de explotación extensivo (zanjas-canales). En el sector 3, las primeras labores debieron de ser selectivas (series de surcos convergentes), pero enseguida se hicieron también zanjas-canales, de modo que entre las cotas 720-730 y 760 se detecta el paso de uno a otro sistema de explotación.

Otras dos características que se identifican a lo largo de todo el desarrollo de Las Médulas se documentan ya desde esta primera fase en los sectores 1 y 2. Se trata de la excavación de valgones y de la búsqueda de una pendiente suficiente para evacuar los materiales.

Los valgones (canales más anchos y profundos) se aprecian claramente ya en el canal C7, que atraviesa la cumbre de El Soutín, que abasteció las labores extensivas más altas del sector 1. El canal C7, como el C10 en el sector 3.2, debe de proceder de la red abastecida por el primer canal septentrional que capta agua ya en la cabecera del río Oza o Valdueza, el C8, de 77,5 km. La masiva utilización de este último canal C8 en gran parte de las labores de los sectores 2.1 y 2.2 e incluso en las primeras del sector 3 (en el subsector 3.1 con seguridad), forzó a un uso no menos masivo de valgones para salvar los notables desniveles existentes. Desde el depósito D11 sobre el sector 2.2, hasta los depósitos D7 a D9 en el sector 2.1, hay entre 70 y 100 m y entre D14 y D15, en el sector 3.1, la diferencia es de 50 m. También se tuvo que recurrir a valgones para explotar los sectores 3.2 y 3.3 y las zonas más bajas de 3.4, a través de los canales C12 a C16 y los depósitos D16 y D17.

En relación con los valgones y con lo que sería la topografía primigenia de la zona, es necesario considerar cómo pudo llegar el agua hasta el extremo noroeste del sector 3, concretamente hasta el sector 3.4. Sus frentes de explotación alcanzan entre 800 y 820 m y hasta ellos ya no podía llegar ni el canal C8 desde la vertiente norte ni desde la sur el C18 a través del depósito D19. Es cierto que el canal C9 y el depósito D12 (existentes al oeste de 3.4), pudieron servir para estas explotaciones, pero su reducida cuenca de captación supone un problema para su abastecimiento. El obstáculo principal para abordar esta cuestión radica en que el avance posterior ha eliminado cualquier evidencia directa de red hidráulica desde otras zonas. Pero, como se resume en la figura 354, es razonable pensar en el aporte del agua desde la vertiente septentrional, desde C19, que llega al frente de explotación del sector 3 a 860 m y podría alcanzar el sector 3.4, siempre con valgones, a través de sus ramales C19a y C19b, pasando por la zona de El Covallón (826 m), o un poco más al sur por La Valiña de la Morteira (862 m). La otra posibilidad es el abastecimiento desde la vertiente meridional; en tal caso tendría que hacerse desde el canal C21, pero no existen huellas de ninguna canalización por las abruptas laderas de El Reventón desde Las Pedrices, hasta donde sí llega. Es seguro que la red de abastecimiento del canal meridional C18, a través del gran depósito D19, participó en la explotación de algunas zonas entre los subsectores 3.3 y 3.4, después de que en este último subsector se hubiesen explotado las zonas más altas.

La evacuación de estériles desde los sectores 1 y 2 y desde las primeras labores del sector 3 (3.1 a 3.4) hacia las colas de lavado de La Brea-Carucedo (E1) y Chaos de Maseiros (E2) no debió de suponer graves problemas. Sus pendientes cercanas a

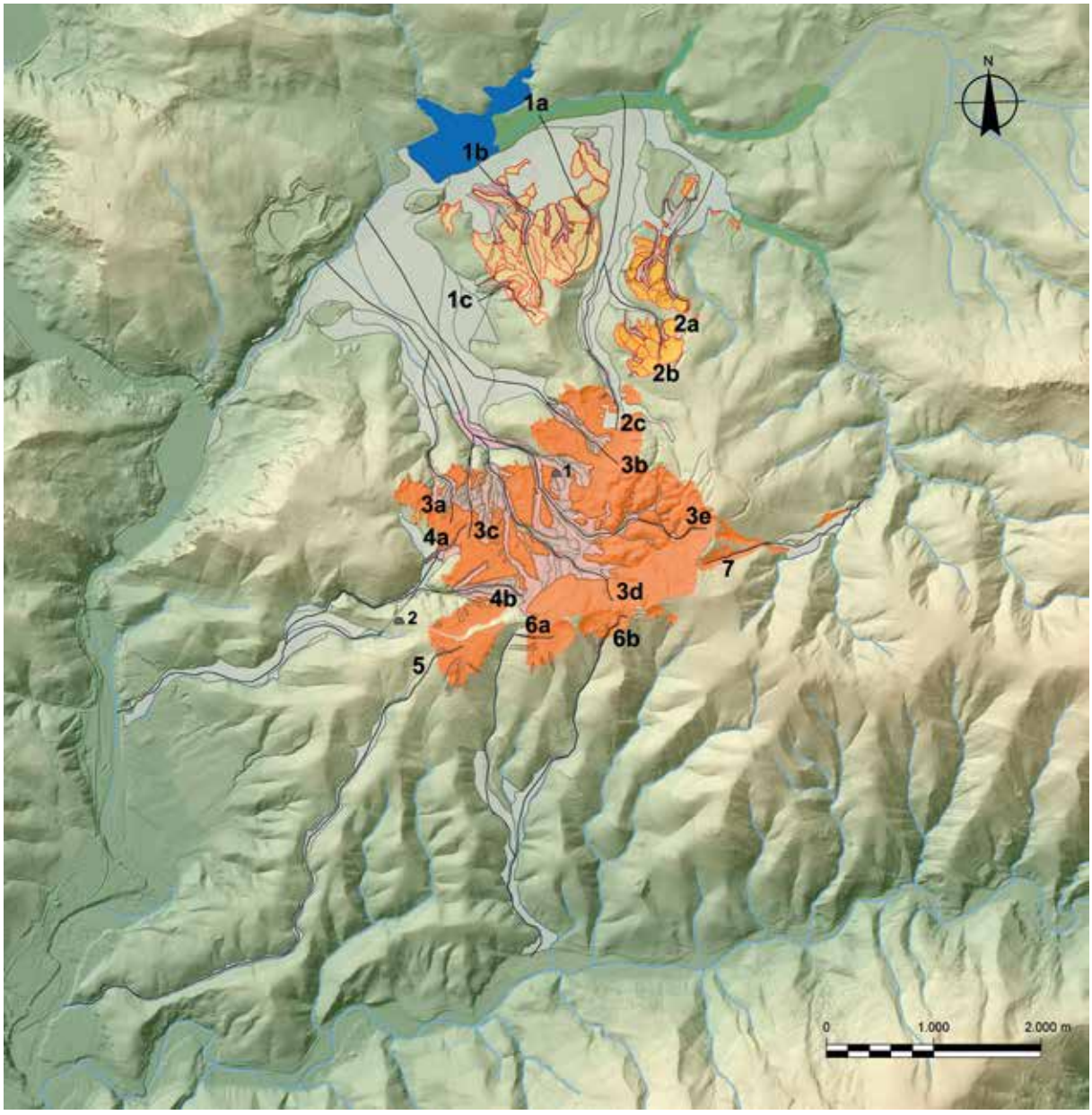


Figura 355. Perfiles con las diversas salidas para la evacuación de estériles de Las Médulas (ver gráficos en figs. 356 y 358).
Túneles de evacuación: 1. Cueva o Peña de la Coneja. 2. La Palombeira.

un 9 %, o algo por encima, fueron suficientes para arrastrar los estériles. Solo se debió de alcanzar un punto crítico al pasar a las primeras labores del sector 3.5, según se constata con la excavación del canal de evacuación Ev29 sobre los propios estériles y la pendiente de tan solo el 6,5 % del perfil 2c (figs. 355 y 356 y tabla 63).

Hay un aspecto más destacable dentro de esta fase 2.ª. El uso de un canal tan largo como el C1 no se limitó la explotación de parte del sector 1. No quedó amortizado, sino que su uso perduró abasteciendo a las labores que jalonan la margen derecha del río Cabrera, en particular las situadas a cota más alta entre Llamas de Cabrera y Santalavilla (labores

n.os 20, 21, 26 y 29, ver apartado 2.1 y trazado de C1 en los mapas del anexo II).

Para concluir este apartado hay que señalar la pausada transición de la fase 2.ª a la 3.ª, que quedó marcada, en primer lugar, por el cambio general —pero no drástico— de sistema de explotación, de selectivo a extensivo, al que ya se ha aludido. Dicho en otros términos, supuso el paso de la explotación de unos materiales bastante ricos en oro de la Formación Santalla, a otros mucho menos ricos, por tener una mayor potencia y un mayor recubrimiento de la Formación Las Médulas. En segundo lugar, y en relación con lo anterior, también se caracterizó por una mayor complejidad de la red hidráulica, que tuvo que salvar desniveles más fuertes, al subir la cota de los frentes de explotación, recurriendo ya para ello a valgones cada vez más profundos y anchos. En fin, también entonces se pusieron en evidencia los primeros problemas de evacuación de estériles, teniendo que abandonarse la cola de lavado E1 por falta de la pendiente necesaria para evacuar los materiales estériles, como indica el perfil 2c (tabla 63 y figs. 355 y 356).

Como se ha señalado en el apartado 6.4.2, las dataciones absolutas obtenidas para canales relacionados con esta fase (C1 y C5) constatan que corresponde sin duda a los primeros momentos de la explotación. También apunta en el mismo sentido la comparación de las dataciones entre los depósitos D19, usado sobre todo en este primer período, y D39, que permaneció en uso prácticamente hasta el final de las labores mineras.

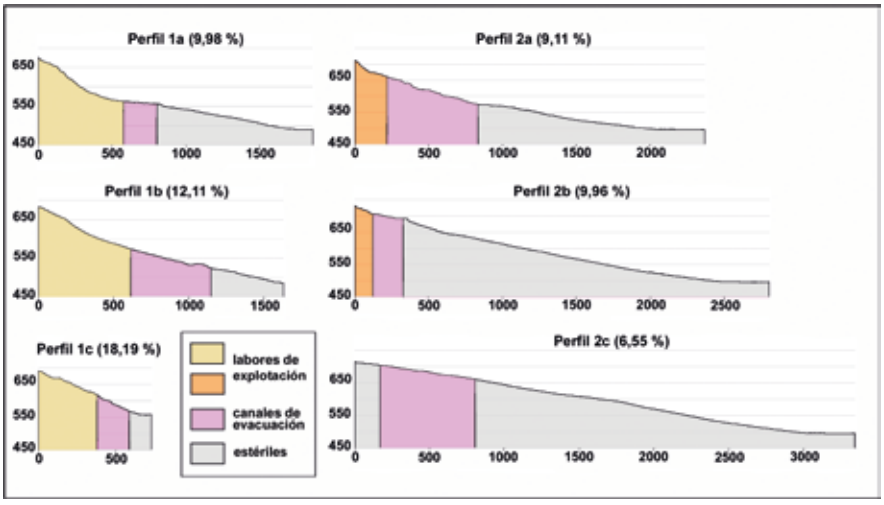


Figura 356. Perfiles de las pendientes en las salidas de evacuación de los sectores 1,2 y 3.1 de Las Médulas.

Perfil	H inicial	H final	Desnivel	Longitud	Pendiente %
Sector 1 (estériles de E1 y E2)					
1a	676,25	490,68	185,57	1860	9,98
1b	682,98	485,52	197,46	1630	12,11
1c	691,20	558,38	132,82	730	18,19
Sector 2 (estériles de E1)					
2a	712,49	496,58	215,91	2370	9,11
2b	732,60	496,58	236,02	2370	9,96
2c	715,24	496,58	218,66	3340	6,55

Tabla 63. Perfiles de evacuación de los sectores 1 y 2 (evacuación al norte).

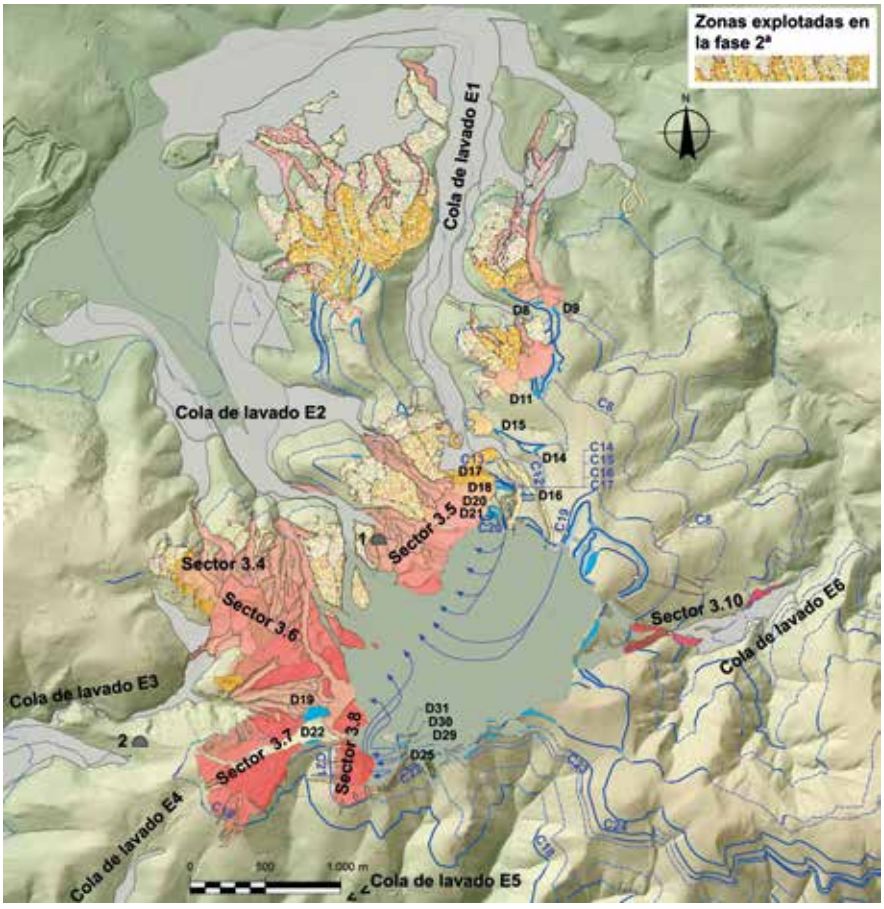


Figura 357. Estructuras mineras de la fase 3.ª de explotación de Las Médulas. Túneles de evacuación de estériles: 1. Cueva o Peña de la Coneja. 2. La Palombeira.

11.1.3. Fase 3.ª. Explotación mediante sistemas extensivos (fig. 357)

Esta fase se caracteriza por un predominio de la explotación extensiva, fundamentalmente mediante zanjas-canales, al incrementarse en general el espesor o potencia de los conglomerados beneficiados. Esto se produjo entre las cotas 720-730 y 760 en los sectores 3.1 a 3.6, es decir en toda la mitad más septentrional del sector 3, mientras que en los sectores 3.7 y 3.8, por el lado suroeste, la cota fue 850-870 m. La razón última de esa diferencia es la gran falla que corre desde Las Pedrices, por el oeste, hasta El Couso, por el este (apartado 1.3 y figs. 7 a 9). De cualquier forma, la diferenciación por fases no puede entenderse de forma rígida en lo que se refiere a los diferentes sistemas de explotación empleados. En esta fase aún se trabajó en zonas bastante ricas en oro mediante sistemas selectivos, con series de surcos convergentes, en los sectores 3.4, 3.6, 3.7 y primeras labores de 3.8 (fig. 357).

Una vez fuera de servicio los canales C5 y C6 por su corte en los comienzos del sector 3.10, todavía se pudo trabajar en las últimas labores del sector 2.1 y 2.2 y del sector 3.1, gracias al abastecimiento mediante valgones del canal C8. Después de esto, el resto de labores solo afectaron al sector 3.

Como en la fase 2.ª, el principal problema para interpretar la fase 3.ª radica en la pérdida total de muchas de sus estructuras mineras en la zona central del sector 3, a causa del propio avance de la mina en tiempos posteriores. Ese sector está en la actualidad ocupado tanto por labores de la fase 4.ª como por canales de evacuación de la misma fase 3.ª y, por supuesto, de la 4.ª.

En esta fase 3.ª se precisó tanto de la red hidráulica la septentrional, como de la meridional. De la septentrional, básicamente los canales C13-C17,

C19 y C20 y los depósitos D16-D18, D20 y D21. Todos ellos alcanzan la zona de Pico Gallegos y cubren un desnivel de terreno de más de 120 m (de la cota 750 a la 878). Además de dos ya existentes en la fase anterior (C18 y C21), la red meridional incorporó entonces el canal C22, que abastecía al nuevo depósito D22, y a los canales C23 y C24, con sus correspondientes depósitos conservados (D25, D29, D30 y D31). En este caso, el desnivel entre las zonas abastecidas es bastante mayor, de unos 160 m (de la cota 720 a la 890), a causa nuevamente de la gran falla Pedrices-Couso. En esta zona más alta, el progreso de los trabajos en el sector 3.7 hizo que el canal C18 y el depósito D19 quedasen totalmente amortizados durante esta fase.

Se acentuaron entonces los problemas de evacuación y se tuvo que recurrir sistemáticamente a la excavación de los canales de evacuación en terrenos estériles de la Formación Orellán, como los que surcan las zonas donde luego se formaron lagos y humedales (lago Somido, Llagua Larga, Llagua Rubia, Llagua Negra), o incluso en la dura roca del zócalo paleozoico, como ocurrió con las salidas hacia Chaos de Maseiros por Las Viñas y por La Veiga. Esa excavación del zócalo exigió incluso la realización de algunos túneles, como la cueva de la Coneja en dirección a Chaos de Maseiros (E2) y La Palombeira, para evacuar hacia la cola de lavado E3 de Balouta-Carrascaes (figs. 355, 356 y 358 y tablas 63 y 64).

Nuevamente, la cronología relativa de esta fase 3.ª puede precisarse, con las precauciones ya apuntadas, con algunas dataciones absolutas (apartado 6.4.2), sobre todo si se trata de referencias de conjunto, que agrupan varias dataciones, como es el caso de las obtenidas en el depósito D19, que tienden a establecer el final de su uso no más tarde de mediados del siglo II d. C.

Los análisis micromorfológicos realizados en este depósito D19 (ver apartado 7.3.) confirman la larga duración de su uso, que pudo prolongarse desde la anterior fase 2.ª y durante buena parte de esta fase 3.ª; es decir, en términos cronológicos a lo largo de aproximadamente un siglo desde mediados o un poco antes del I d.C hasta casi mediados del II d. C. Esa larga duración justifica, a su vez, la potencia de 4 m documentada en él. También es un buen testimonio del

Perfil	H inicial	H final	Desnivel	Longitud	Pendiente %
Evacuación al norte (estériles de E2)					
3a	761,79	478,32	283,47	3145	9,01
3b	790,47	485,23	305,23	3515	8,68
3c	757,50	478,32	279,18	3215	8,68
3d	888,15	478,32	409,83	4520	9,07
3e	875,43	478,32	397,11	5135	7,73
Evacuación al oeste (estériles de E3 y E4)					
4a	752,47	368,75	383,72	4445	8,63
4b	772,96	373,85	399,11	4450	8,97
5	816,34	358,78	457,56	6095	7,51
Evacuación al sur (estériles de E5)					
6a	869,36	402,96	466,40	3865	12,07
6b	938,53	402,96	535,57	3945	13,58
Evacuación al este (estériles de E6)					
7	906,01	669,09	236,93	1870	12,67

Tabla 64. Perfiles de evacuación del sector 3.

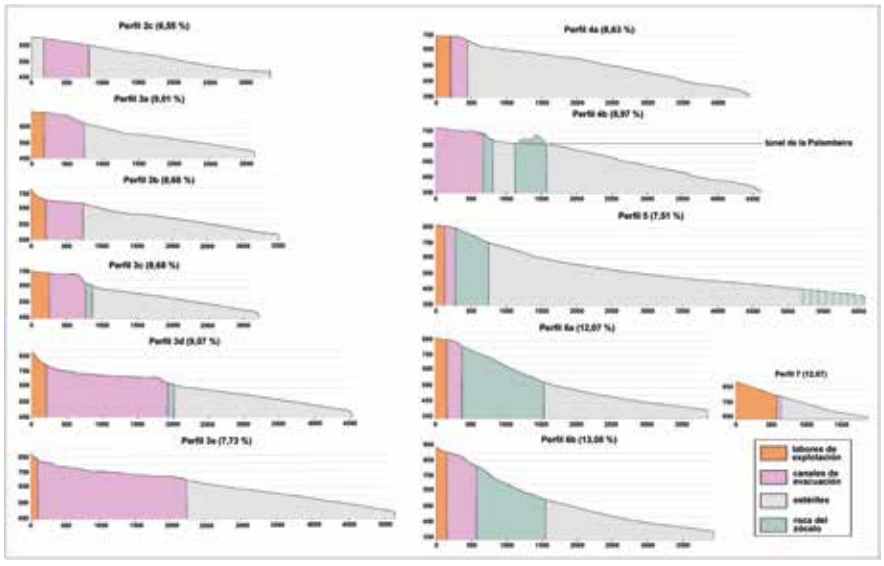


Figura 358. Perfiles de las pendientes en las salidas de evacuación del sector 3 de Las Médulas.

problema de la red hidráulica destacado por Plinio el Viejo al indicar que era muy nocivo que los canales llevasen lodo.[1] En tal sentido, el depósito D19 atestigua claramente su funcionamiento a modo de *piscina limaria*, es decir, como los depósitos de decantación utilizados en los acueductos de Roma.[2]

11.1.4. Fase 4.ª. Sistemas de explotación extensivos: la *ruina montium* (fig. 360)

Efectivamente la fase 4.ª se caracteriza sobre todo por el empleo del procedimiento de la *ruina montium* descrito por Plinio, aunque no de forma exclusiva porque siguen utilizándose sistemas de explotación extensivos basados en las zanjas-canales.

Basta comparar la morfología de los sectores 3.8 y 3.9, por un lado, y del sector 3.11, por otro (fig. 359), para comprobar las diferencias entre los frentes de explotación de una y otra zona. En los primeros, poseen una marcada y pronunciada pendiente, pero no llegan a alcanzar la casi total verticalidad que se aprecia en 3.11 (ver apartado 9.3 al respecto). Esa es una de las diferencias básicas entre la explotación mediante cortas en forma de zanjas-canales (sectores 3.8 y 3.9) y mediante cortas de minado o *ruinae montium* (sector 3.11).

Otro de los rasgos diferenciales entre esos dos sistemas de explotación extensivos, que también es visible en la topografía del terreno, es la cantidad de material removido en una y otra, mucho más grande en el procedimiento de la *ruina montium,* que en las zanjas-canales. Hay que considerar que el sector 3.11 ocupa una tercera parte de la extensión de todo el sector 3, pero si considerásemos su volumen, sin duda sería la mitad o algo más.[3]

Ese aumento del volumen de material que había que lavar y, sobre todo, que evacuar hasta las colas de lavado, es lo que explica el incremento de la capacidad media de embalse de los depósitos de agua asociados a esta última fase de explotación y, en particular, al sector 3.11 con respecto a los de los sectores explotados en las dos fases anteriores.

1 «Vitium lavandi est, si fluens amnis lutum inportet; id genus terrae urium uocant» (Plin., *HN,* XXXIII 75).

2 «Ideoque a faucibus ductus interposita est piscina limaria ubi, inter amnem et specum, consisteret et liquaretur aqua» (Fron., *Aq* XV 2).

3 La superficie explotada y conservada de los sectores 3.1 a 3.10 ocupa 212,94 ha (= 2 129 400 m²) en total; con un espesor medio de 15 m de material extraído, el volumen removido alcanzaría los 31 941 000 m³. La extensión del sector 3.11 es de 100,76 ha (= 1 007 600 m²); si se considera un espesor medio del conglomerado extraído de 30/40 m, el volumen de material removido habría alcanzado entre 30 228 000 y 40 304 000 m³.



Figura 359. Panorámica aérea desde el oeste de los sectores 3.11, a la izquierda, y 3.8 y 3.9, a la derecha, del sector 3 de Las Médulas.

Concretamente, a partir de los datos del apartado 5.3.1 sobre la capacidad de embalse (tabla 23), los ocho depósitos bien conservados de las fases generales de explotación 2.ª y 3.ª tendrían una capacidad media de 2225 m^3, mientras que la de los seis bien conservados de la 4.ª fase sería de 5900 m^3. Es decir, más del doble. El depósito D19 es una excepción por las razones de su uso múltiple indicadas en el apartado 5.1, y no solo es el más grande de toda la mina, sino que además sobrepasa por sí solo el volumen conjunto de todos los depósitos bien conservados de las fases 2.ª y 3.ª de explotación.

Otra de las diferencias apreciables entre los depósitos de agua de esta última fase de actividad minera y los depósitos usados en las anteriores quedó de manifiesto en la analítica micromorfológica descrita en el capítulo 7: tanto en el depósito D19, usado en las fases 2.ª y 3.ª, como en el depósito D39 perteneciente a esta fase 4.ª, se produjo una acumulación en su fondo de materiales finos arrastrados hasta ellos por los correspondientes canales de abastecimiento, pero el mantenimiento de limpieza que revela la mencionada analítica es muy diferente. La potencia del sedimento de finos acumulado en D19 es de varios metros a lo largo de su uso, mientras que en D39 es de alcance centimétrico (ver en particular el apartado 7.5).

El aumento del volumen de material tratado en las cortas de minado explica también la mayor complicación de las condiciones para evacuar el material estéril, en lo que además incide el alejamiento de los frentes de explotación respecto a la salida del estéril. Hay un hecho evidente en ese sentido: el abandono de los canales de evacuación y colas de lavado que vertían hacia el oeste. Siguió en uso la evacuación hacia el norte, sur y este, que es la que contaba con suficiente pendiente (fig. 358 y tabla 64). Para comprender mejor esto, hay que considerar que, si se hubiese evacuado el material de la última labor explotada en el sector 3.11 (al pie del mirador de Orellán) hacia el oeste, el desnivel del trazado que hubiese seguido entre el punto más profundo de la labor y el inicio del perfil 4b, según la superficie actual, hubiese sido de tan solo el 4,35 % de pendiente, porcentaje por debajo incluso del perfil 2c (6,55 %) que, como se ha dicho, fue una vía de evacuación abandonada.

La red hidráulica utilizada incluía ya los últimos canales y depósitos, regulados desde Campo de Braña a través del depósito D28. Dentro de la red septentrional, los canales C19 y C20 pudieron utilizarse aún en las primeras labores del norte y centro-oeste del sector 3.11. También pudieron permanecer en uso algunos de los canales de la red meridional utilizados en la fase 3.ª, desde el C22 al C24, que fueron abasteciendo de forma escalonada a los depósitos del sector 3.8 (los depósitos D25 y D29 a D31) y del sector 3.9 (D24, D26 y D34 a

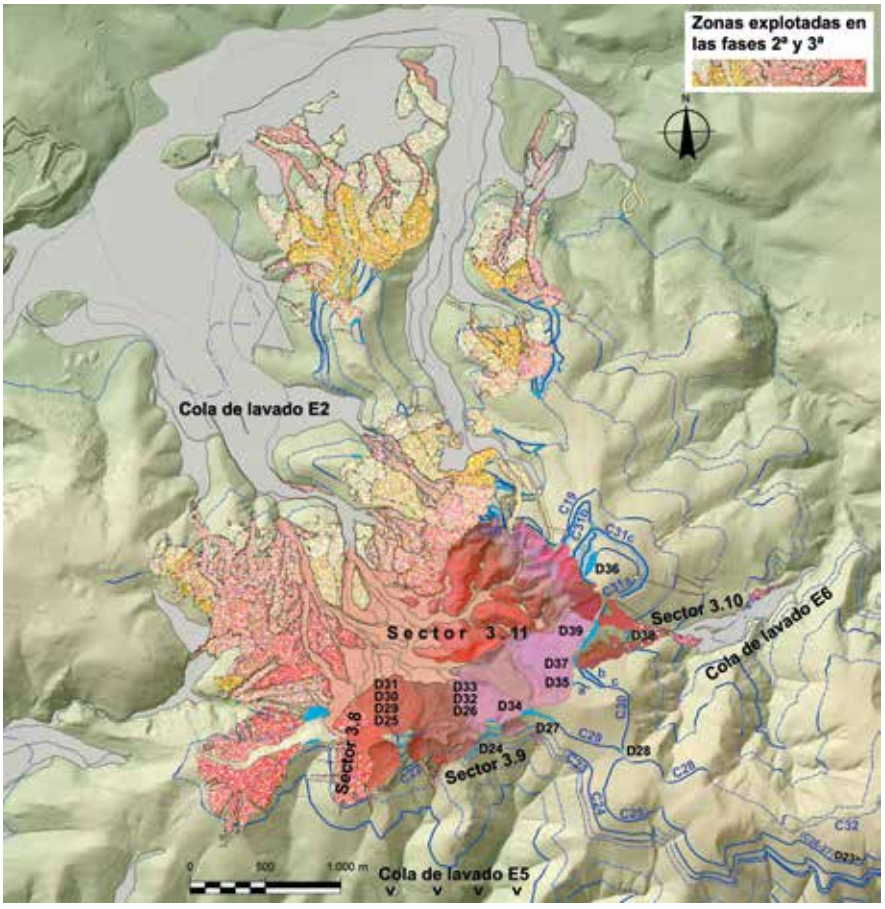


Figura 360. Estructuras mineras de la fase 4.ª de explotación de Las Médulas.

D36). Ese escalonamiento implica una progresiva subida de cota a lo largo de los frentes orientados al sur en los sectores 3.8 y 3.9. En el sector 3.10, con salida hacia el este también se fue subiendo de cota gradualmente. Pero todo el avance del frente orientado al norte en el sector 3.11 fue más complicado. Una vez que quedó cortado el canal C19 en el sector 3.10, toda el agua procedió de Campo de Braña, donde D28 regulaba el flujo del canal de la red meridional C25 (con origen en el depósito D23 con la unión de C26 y C27) y del C28, perteneciente a la red septentrional (pero que también había recibido el aporte desde la vertiente meridional del canal C32).

Por esa mayor complicación, los valgones alcanzaron un papel excepcional en esa misma zona vertiente hacia el norte, la última en ser explotada, como ya se ha señalado en el estudio específico del sector 3.11 (apartado 3.2.2, figs. 51 y 53) y de los mismos valgones (apartado 4.3 y fig. 80).

También pertenecen a esta fase dos redes de galerías de conducción de agua. La de Reirigo-Yeres fue abastecida por el canal meridional más alto, el C29, que alcanzaba el depósito D31, pero que también estuvo sucesivamente conectado con D32, D33 y D34; sirvió por lo tanto para la explotación de las últimas labores en el sector 3.8 y para las más altas del sector 3.9. La red de galerías de Orellán era alimentada desde el último depósito, el D39, y sirvió para explotar con seguridad las dos últimas labores del sector 3.11, la 27 y la 28, si bien pudo ser utilizado en algunas anteriores.

La evacuación continuó como en la fase 3.ª: hacia el sur en dirección a la cola de lavado E5, hacia el este en dirección a E6 y, sobre todo, por el norte en dirección a la cola de lavado E2 de Chaos de Maseiros (fig. 358 y tabla 64). Aquí, las últimas fases de

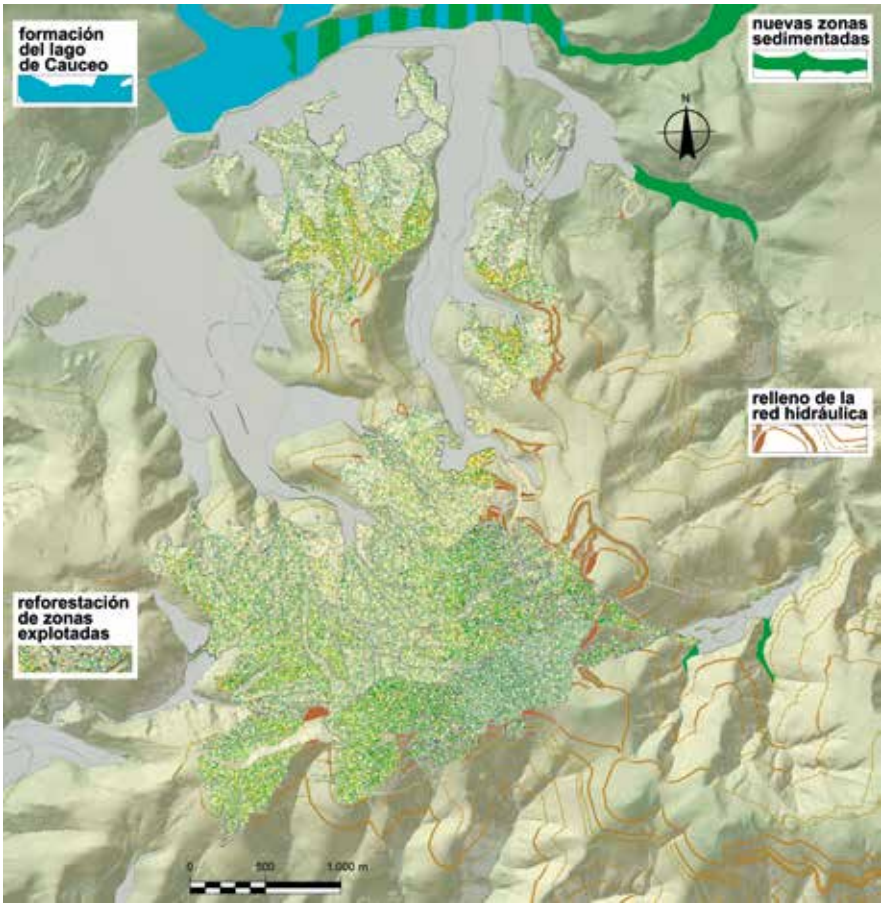


Figura 361. Fase de abandono: principales consecuencias del cese de la actividad minera en Las Médulas.

evacuación produjeron una fuerte erosión en los estériles anteriores, de forma que en la zona de La Veiga se produjo un aterrazamiento que llega a superar los 10 m de potencia.

Según se ha señalado en el apartado 6.4.2, las dataciones absolutas obtenidas de las diversas estructuras mineras sondeadas, tanto en canales como en depósitos, son bastante claras para fijar que su uso, y por lo tanto el final de esta fase 4.ª, no superó las primeras décadas del siglo III d. C.

11.1.5. Fase 5.ª. Abandono (fig. 361)

El cese de la actividad minera en Las Médulas, y el consecuente abandono de sus estructuras, supuso la paulatina pero continua transformación de toda el área trabajada y su entorno inmediato. Los principales efectos topográficos y ambientales pueden resumirse en los siguientes puntos:

- La vegetación fue invadiendo los terrenos, de forma que con el paso del tiempo se ha ido produciendo una reforestación, con una recuperación de la masa arbórea propia de la zona, pero ya no el bosque climácico. Esto es algo que aparece recurrentemente en los análisis paleoambientales realizados (ver apartado 10.2). En esa transformación, la evolución de las diferentes estructuras mineras no ha sido la misma y su lectura revela la permanente influencia que ha tenido la minería sobre el uso del suelo, pero sería demasiado largo profundizar ahora en esta cuestión, que queda pendiente para futuras aproximaciones a este tema.
- Como consecuencia de la acumulación de estériles en las colas de lavado, se produjeron dos nuevas transformaciones topográficas.

Por un lado, la gran acumulación del cono de deyección de Chaos de Mourán, E2, hizo que el antiguo valle por donde hoy transcurre el arroyo del Balao quedase completamente relleno, impidiendo así la salida del agua en dirección suroeste, hacia el río Sil, y causando con ello la aparición del lago de Carucedo. Lógicamente, el agua en él acumulada, rompiendo la barrera que habían formado los estériles, y la erosión que causó esa nueva corriente fue excavando poco a poco los estériles acumulados, haciendo surgir con ello el actual arroyo del Balao o Balado. Por otra parte, tanto aguas arriba de la misma cola de lavado E2, entre Carucedo y Borrenes, como en el resto de las colas de lavado, el nivel de sedimentación de los materiales arrastrados por las corrientes que surcaban la zona se elevó hasta el punto más alto que alcanzaron los estériles que las taponaban, formándose así rellenos claramente diferenciados en el fondo de los valles, que en esas zonas pasaron de ser valles en forma de V a convertirse en valles en forma de U.

– Como ya se ha indicado a lo largo de capítulos precedentes, todas las estructuras, canales y depósitos, que formaban la red hidráulica fueron sometidas a un proceso de colmatación y se acabaron rellenando poco a poco con los aportes recibidos, tanto con aquellos arrastrados por los propios cauces en desuso, como con los procedentes de la continua erosión del terreno circundante. El análisis de esos rellenos posee un interés capital para poder entender la evolución paleoambiental de toda la zona.

11.2. EL POBLAMIENTO ANTIGUO EN LAS MÉDULAS: SIGLOS III A. C. - II D. C.

F. Javier Sánchez-Palencia
Almudena Orejas
Brais X. Currás

El análisis detallado de los asentamientos antiguos conocidos en torno a la mina de Las Médulas requiere un trabajo más extenso y detallado que el que se puede acometer en el contexto de este volumen, planteado en particular para dar a conocer los sistemas de explotación romanos de Las Médulas y la amplia red hidráulica asociada a ellos en toda su extensión. El estudio de los asentamientos antiguos se ha dado a conocer parcialmente ya en algunas publicaciones (Sánchez-Palencia 2000, en especial) y en las páginas siguientes únicamente se sintetizan algunos aspectos. Para evaluar el impacto que la dominación de Roma supuso sobre las comunidades locales, es necesario considerar los rasgos del poblamiento antes y después del inicio de la explotación minera, cuáles eran las características de las comunidades que poblaban la zona, su organización territorial y social y su evolución a lo largo del tiempo.

Gracias a las investigaciones llevadas a cabo hasta ahora, fundamentalmente a las realizadas bajo la coordinación del grupo de investigación EST-AP del CSIC entre 1988 y 1996, se dispone de suficiente información para poder establecer las líneas esenciales de ese poblamiento entre los siglos III a. C. y II d. C.

En los siguientes apartados, se recogen los asentamientos que permiten establecer ese contexto histórico. Se diferencian dos bloques por su distribución cronológica, incidiendo en los asentamientos suficientemente bien documentados (apartados 11.2.1 y 11.2.2) y un tercer apartado (11.2.3) que incluye asentamientos conocidos, pero en cuya investigación no se ha profundizado o con intervenciones en curso, así como aquellos que simplemente constituyen un indicio, a causa de la escasa o poco precisa información que existe sobre ellos. De los primeros se incluye una descripción resumida, de los restantes únicamente una relación en tablas. Es necesario aclarar que estos grupos de asentamientos no responden a una jerarquización del poblamiento antiguo, sino que reflejan el estado del conocimiento actual y la potencialidad de su puesta en valor patrimonial hoy por hoy.

Además, hay que advertir de que únicamente se incluyen aquellos asentamientos cuya localización está dentro de la delimitación propuesta. No obstante, la comprensión del proceso histórico de la

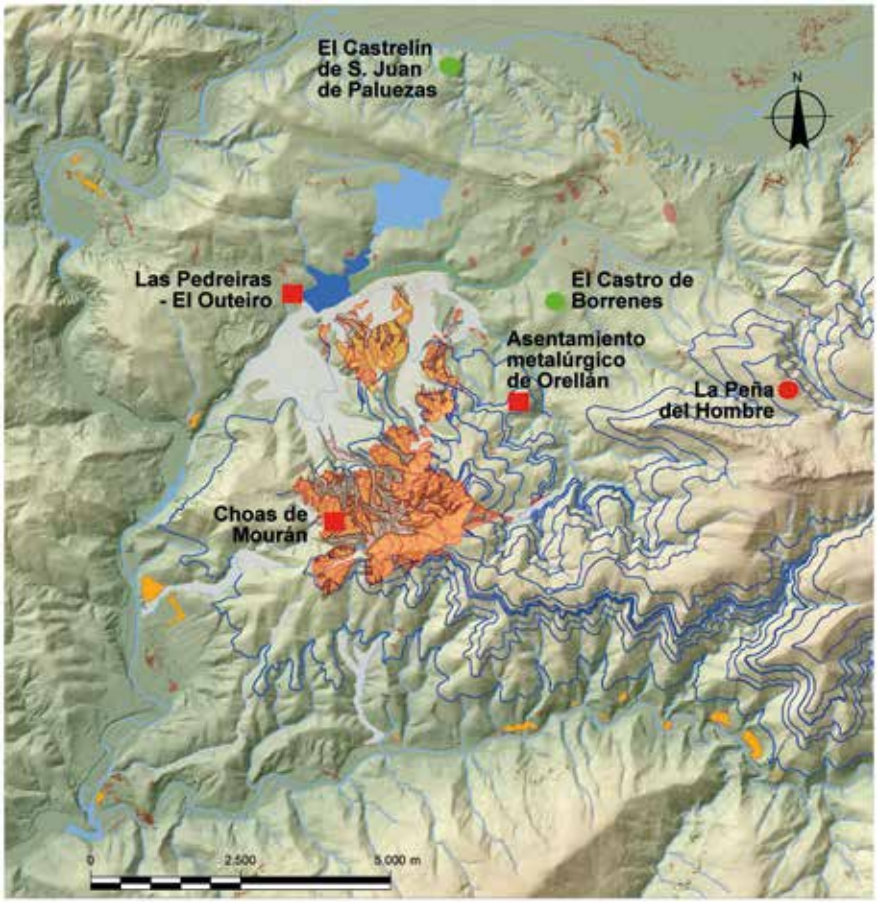


Figura 362. Situación de los asentamientos principales de época prerromana (verde) y romana (rojos) en las inmediaciones de la mina de oro de Las Médulas.

zona arqueológica de Las Médulas debería hacerse considerando también otros núcleos de su entorno. Cabe destacar entre ellos los situados dentro de la cuenca más inmediata del río Sil en Galicia, así como los situados en la margen izquierda del río Cabrera o en el curso superior del río Eria.

11.2.1. El poblamiento de época prerromana

A) El Castrelín de San Juan de Paluezas (San Juan de Paluezas, Borrenes)

El Castrelín de San Juan de Paluezas es el principal asentamiento conocido del periodo castreño prerromano en la zona de Las Médulas, entre los siglos III y I a. C. Se sitúa sobre un espolón en la margen izquierda del Sil, río que discurre a su pie tras una caída de 130 m, de tal forma que desde el castro se domina visualmente toda la depresión de El Bierzo. Su emplazamiento, a 560 m de altitud, queda aislado entre dos encajados arroyos, por lo que solo su flanco sur es algo más accesible, caracterizado por un paisaje alomado, que comunica con la subfosa de Las Médulas, y que constituyó su área de explotación económica (fig. 362).

El castro consta de dos recintos. El situado más al este fue levantado en primer lugar y estaba protegido por un foso y un recinto amurallado, particularmente potente y monumental en su ángulo suroeste. La superficie interior de este recinto, de forma aproximadamente triangular, es de 1 ha. Con posterioridad se construyó un segundo recinto, al oeste del principal, que fue protegido también por una muralla perimetral, aunque de mucha menor envergadura. Su funcionalidad, según los resultados de los sondeos efectuados en él, puede calificarse de secundaria, pero su extensión eleva la superficie habitable de El Castrelín a 2,5 hectáreas.



Figura 363. Fotografía aérea oblicua desde el oeste del recinto principal del Castrelín de San Juan de Paluezas.

El poblado, es decir, el núcleo de viviendas, se instaló en el primer recinto y parte de él fue excavado entre 1990 y 1994 (figs. 363 y 364). Tales intervenciones pusieron al descubierto en torno a 700 m^2 (Fernández-Posse 2000a y 2000b). En los dos sectores en los que se trabajó se documentaron numerosas construcciones y algún tramo de su muralla (Fernández-Posse y Fernández Manzano 2000).

El Castrelín fue ocupado al menos durante dos siglos y medio, entre el III y el I a. C. Durante ese intervalo la actividad constructiva fue intensa de forma que pueden establecerse varias fases, con cambios en el plano del poblado. El registro arqueológico indica que su final se produjo por el abandono simultáneo de todas sus construcciones, que fue planeado con suficiente tiempo para que en el yacimiento quedase casi solamente aquello que se consideró inservible. Se puede decir, por lo tanto, que se trata de un castro desalojado que fue arruinándose lentamente por los efectos de la intemperie y la erosión. Sin embargo, quedó en él toda la información que proporcionan los objetos abandonados, tanto en las construcciones como en los espacios de vertido y basureros, además de la que proporciona la propia arquitectura doméstica y el registro paleoambiental (López Merino *et al.* 2010).



Figura 364. Panorámica del sector I excavado en el recinto principal del Castrelín de San Juan de Paluezas.

El hecho de que todas las estructuras fueran levantadas con el esquisto blando del terreno, de fácil exfoliación, hace difícil su conservación. Eso determinó la decisión de no liberar la muralla y de rellenar con tierra las construcciones de las fases más antiguas una vez documentadas. En la actualidad la imagen que puede verse en los dos sectores excavados corresponde al último momento de su ocupación.

El espacio doméstico se organiza en unidades de ocupación distribuidas de forma perimetral, adaptadas al trazado de la muralla y dejando un espacio

libre intermedio. Cada unidad se vincula a una familia, que contaba para su residencia y actividades con varias estancias: un espacio principal, caracterizado por un hogar, sería el centro de la vida doméstica, un almacén aseguraba el acceso a los productos necesarios para el abastecimiento de la unidad familiar y otros espacios, como talleres o patios servían para el desarrollo de distintas actividades. Mientras que la muralla es el símbolo de la cohesión de una comunidad que pudo contar con entre 100 y 200 habitantes, las unidades domésticas muestran espacialmente la independencia de cada familia.

Como es habitual en las poblaciones de la región en la época anterior a la presencia romana, todo su utillaje, incluida la cerámica, es de fabricación local, a mano y propia de la cultura castreña del Noroeste. En ella se encuadran estas comunidades desde el punto de vista arqueológico. Hay que señalar la ausencia de elementos como el torno de alfarero y los molinos circulares de piedra, que ya estaban presentes en otras zonas peninsulares en el periodo en que fue ocupado El Castrelín. Aun así, el estudio de su cultura material demuestra que sus ocupantes poseían un nivel tecnológico acorde a sus necesidades, tanto en la esfera agraria como en el dominio de producciones especializadas, como son la metalurgia del hierro y de bronce. Esta última actividad se desarrollaba en una de las unidades de ocupación.

B) La Corona de Corporales (Corporales, Truchas) (figs. 365 y 366)

La Corona de Corporales se sitúa en una colina aislada en el curso alto del río Eria. Por lo tanto, en una zona de comunicación entre la Meseta y Galicia, muy próxima a la divisoria de aguas entre la cuenca del Duero y la del Sil.

Su recinto de 1,3 ha está delimitado por una muralla de poco porte y por un foso excavado en la roca de mayor envergadura. Se estima que su población alcanzaría entre 100 y 200 habitantes, es decir, unas dimensiones muy similares a las de El Castrelín. El emplazamiento y su considerable altitud (1330 m) hacen que sea particularmente visible desde las tierras de su entorno, desde las que el acceso es fácil y que constituyeron, sin duda, sus terrenos de cultivo, con posibilidades tanto de secano como de regadío (fig. 366). También se ha documentado un abastecimiento de recursos minerales muy amplio, que incluía prácticamente todo lo necesario para una comunidad de tipo campesino, desde la piedra de construcción, pasando por la arcilla para sus múltiples usos hasta diferentes tipos de minerales metálicos, en especial para la elaboración de aleaciones de cobre y de herramientas.

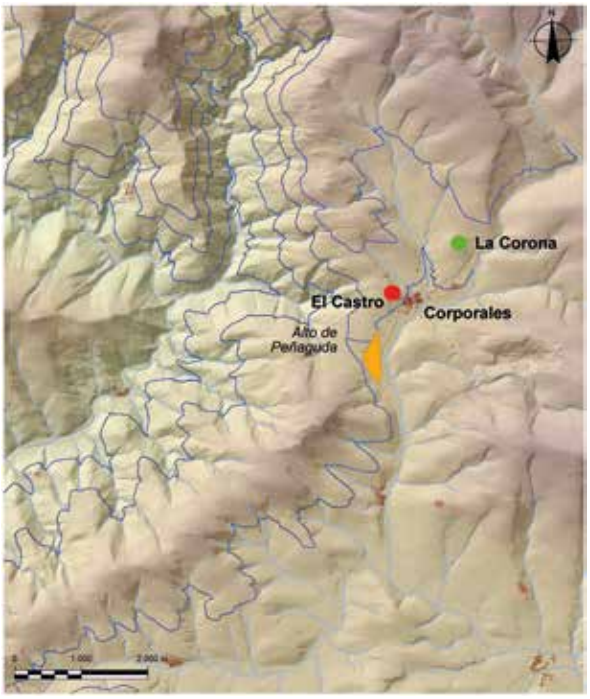


Figura 365. Situación de La Corona, prerromana, y El Castro, romano, de Corporales, en la cuenca alta del río Eria.

Las excavaciones que se realizaron entre 1978 y 1983 (Sánchez-Palencia y Fernández-Posse 1985 y 1986-1987 y Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988) dejaron al descubierto algo más de 650 m^2 del núcleo edificado en dos zonas paralelas al flanco suroeste de la muralla. La ocupación de este castro no fue demasiado prolongada: dos o tres generaciones lo construyeron y habitaron durante el siglo I a. C. Tanto el registro mueble, como las construcciones domésticas y la concepción espacial del poblado, responden a las mismas pautas que El Castrelín.



Figura 366. Fotografía aérea desde el este del asentamiento prerromano de La Corona de Corporales, a la derecha en primer término. A la izquierda, sobre el pueblo, El Castro de Corporales, de época romana.

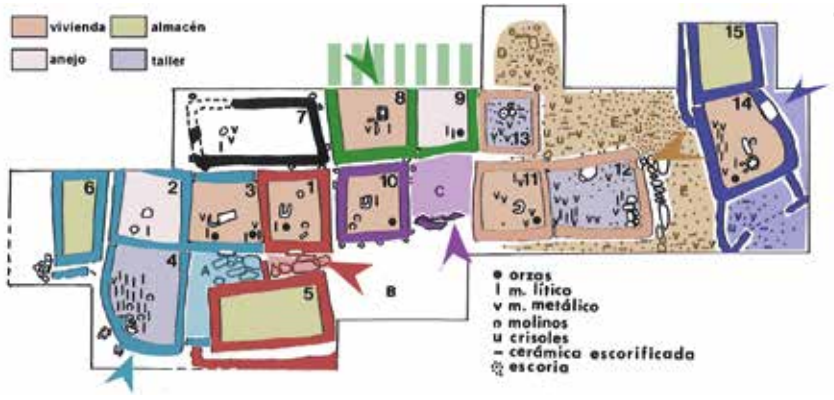


Figura 367. La Corona de Corporales, unidades de ocupación o domésticas de una de las zonas excavadas, diferenciadas por colores. Las flechas indican las entradas a cada unidad.

Los trabajos arqueológicos permitieron atestiguar que el poblado fue destruido, es decir, finalizó de forma violenta. Eso ha favorecido que, bajo los derrumbes provocados de techumbres y paredes, aparezca fijado el último nivel de ocupación en todos sus elementos. Además, su corta ocupación impidió las habituales alteraciones del sedimento, con lo que el yacimiento ha generado un registro arqueológico de notable calidad.

Las estructuras constructivas ya no son visibles en la actualidad, puesto que una vez terminados y publicados los trabajos, se consideró conveniente cubrirlas con la misma tierra extraída en el curso de la excavación arqueológica, a fin de asegurar su mejor conservación, ya que se sitúa en una zona apartada de la comarca de La Cabrera de clima extremo. Una buena parte del espacio delimitado, al menos la mitad, poseía una superficie adecuada para la edificabilidad.

La distribución espacial y la identificación funcional de las construcciones dentro del poblado (fig. 367) permite definir unas unidades de ocupación familiares o unidades domésticas. Todas las unidades domésticas tienen un almacén, que es además un espacio construido con cuidado, buenos materiales y bien protegido. En su interior no se registra prácticamente ningún hallazgo. Todo ello lleva a interpretarlos como despensas, cuyo acceso



Figura 368. Fotografía aérea oblicua desde el noroeste del recinto principal del Castro de Borrenes.

estaría en alto. La relación entre las diversas unidades domésticas, analizable a través de los espacios abiertos que existen entre ellas, la posición de las entradas en las construcciones y la visibilidad interna dentro del poblado revela que poseen un marcado carácter individual, hasta el extremo de no compartir nunca espacios abiertos ni medianerías. Todo ello quiere decir que no hay una articulación común del espacio u organización urbana. No obstante, sí existe una aparente ordenación de las construcciones derivada de su alineación respecto al trazado de la muralla, ya que el espacio inmediato a la muralla no se construye, permanece desocupado. Tampoco se edifica en todo el espacio habitable y hay importantes áreas sin construcciones, que pueden representar la mitad del espacio delimitado. Estas superficies pueden considerarse de uso común, ya que no presentan ninguna actividad específica.

Todas sus características indican que se trata de una comunidad indígena muy semejante a la de El Castrelín de San Juan de Paluezas, tanto en su nivel tecnológico como en sus formas de vida y organización social. El momento de su violenta destrucción corresponde al contexto de los profundos cambios que las comunidades indígenas experimentaron en el traumático proceso de contacto con Roma.

C) El Castro de Borrenes (Borrenes, Borrenes) (figs. 368 y 369)

Para la construcción del Castro de Borrenes, también conocido como La Corona del Cerco, se eligió un emplazamiento en una amplia colina de suaves laderas, que domina por el suroeste una pequeña, pero productiva, vega de la subfosa de Las Médulas. Toda su plataforma superior está perfectamente delimitada por una muralla y por el foso que sirvió en parte de cantera para su construcción. La máxima envergadura de este recinto, particularmente visible en todo su entorno, se alcanza en el vértice oeste, donde su altitud es de 670 m. La superficie que queda delimitada es algo menor de 1 ha.

Las excavaciones, centradas en el ángulo noroeste del castro, se llevaron a cabo entre 1988 y 1992 (Fernández-Posse y Fernández Manzano 2000). Han dejado al descubierto un tramo de más de 50 m de su muralla y permitieron establecer la técnica utilizada en su construcción. También pudieron estudiarse algunos de sus elementos singulares, como son las escaleras interiores para alcanzar su parte superior



Figura 369. El Castro de Borrenes, derrumbe interior de la muralla.

o el acceso por el que se podía bajar a los terrenos de cultivo de la vega citada.

Las caras interna y externa de la muralla se levantaron con lajas de cuarcita tabular, que se extrajo fácilmente *in situ*, ya en forma de sillarejo. Con ella se hicieron dos paramentos de mampostería en seco y sin concertar y el interior se rellenó de tierra y piedra menuda, que en su mayoría procede del propio esquisto que acompaña a las cuarcitas del substrato. Supera en algunos de los tramos descubiertos los 4 m de anchura.

Esta importante estructura defensiva fue destruida de forma intencionada y rápida. Así lo prueban los niveles de derrumbe (fig. 369). De hecho, la muralla fue abatida cuando estaba en su última fase de construcción. Esto es coherente con la documentación de un único nivel de ocupación en el interior del recinto, que corresponde a un nivel de obra. Solo dos construcciones estaban levantadas en el momento de la destrucción: dos pequeñas cabañas sin mobiliario y con un reducido ajuar. Parece pues que se privó de la muralla al Castro de Borrenes cuando estaba recién levantada y, además, se impidió que se llegara a edificar un poblado en el interior de un recinto que ya se encontraba perfectamente delimitado. Es decir, se trata de un castro destruido cuando se estaba construyendo y ocupando.

Esa súbita demolición de la muralla permitió que, en el curso de los trabajos arqueológicos en el yacimiento, se pudieran recuperar al pie de sus paramentos, tanto interior como exterior, la casi totalidad de las piedras que formaron sus caras. Mediante una restauración fueron así reintegradas con ciertas garantías a su lugar original, además de permitir cuantificar su posible alzado que, como mucho, alcanzaba los 2,5 m.

11.2.2. El poblamiento romano

En la zona han sido objeto de excavaciones arqueológicas suficientemente amplias cuatro asentamientos, que proporcionan una aproximación a algunas de las características de la ocupación altoimperial de la zona.

Uno de los rasgos del sistema de organización territorial que se implanta en la zona bajo la dominación de Roma es la jerarquización del poblamiento, antes inexistente. A través del registro arqueológico se hacen patentes las desigualdades sociales entre los diferentes asentamientos.

A) Las Pedreiras-El Outeiro (Lago de Carucedo, Carucedo) (figs. 370 y 371)

El asentamiento de Las Pedreiras-El Outeiro refleja bien ese cambio en la organización y poblamiento del territorio. Se trata de un núcleo de tamaño relativamente amplio, en el que destaca, en su sector más occidental, la *domus* de Las Pedreiras. Fue excavada a lo largo de diversas campañas coordinadas desde el CSIC entre 1988 y 1995 (Sánchez-Palencia 2002, 116-120). Posteriormente se han efectuado pequeños trabajos de limpieza y una intervención para su puesta en valor, que no ha modificado sustancialmente lo ya conocido, aunque sí ha introducido algunas interpretaciones que uniformizan visualmente los restos y han eliminado los restos constructivos de tradición local existentes al sur de la *domus* (Muñoz Villarejo 2018, 40-41).

El sitio de Las Pedreiras está a una cota de 500 m, a las orillas del lago de Carucedo, y el sector excavado ha permitido documentar la adopción local de un modelo romano, un patrón de casa totalmente ajeno a la construcción indígena: la *domus*. La amplia edificación visible se levantó desde su inicio con técnicas y materiales romanos. Se emplearon no solo tejas o ladrillos, sino también morteros de cal, revocos y pintura al gusto romano. Por otro



Figura 370. Foto aérea desde el suroeste de Las Pedreiras de Lago, Carucedo.

lado, su planta cuenta con numerosas estancias que se distribuyen en torno a patios. Hay un peristilo con estanque central hexagonal, saneamientos bien construidos, dinteles decorados y está atestiguado el empleo de vidrio plano. La primera ocupación es temprana (30-40 d. C.) y se mantuvo habitada hasta finales del siglo II. Durante ese periodo, que coincide exactamente con la explotación del oro en Las Médulas, sufrió varias reformas y mejoras constructivas.

Según se deduce de la distribución de materiales arqueológicos en superficie, la *domus* de Las Pedreiras debió de formar parte de un núcleo de población que se extendió por la ladera sur del monte conocido como El Outeiro, es decir, la ladera contraria a la que ocupa el pueblo actual de Lago. En ella se detectaron en superficie abundantes restos constructivos y de cerámica romana, especialmente densos y en mejor estado en las tierras de media ladera, que estuvieron ocupadas por viñedos, la mayor parte hoy abandonados. Los restos se extienden por otros terrenos más cercanos al lago.

El asentamiento de Las Pedreiras-El Outeiro tuvo, sin duda, una vinculación directa con Las Médulas, ubicado justo al pie de las labores y protegido del avance de los estériles que terminaron por formar el lago de Carucedo. Está muy bien situado en relación con la cercana vía XVIII que unía Asturica Augusta con Bracara Augusta, cuyo trazado pasaba hacia el área galaica por el cercano valle de Portela de Aguiar. Es decir, conecta Las Médulas con la red viaria, a través del eje principal de comunicación con otras zonas mineras, y con la capital conventual. Esta inserción en distintas escalas es clave para entender el nuevo orden estrechamente relacionado con los intereses de Roma.

Las características de Las Pedreiras indican que quienes ocuparon la *domus* se integraban en las redes de poder y de control territoriales, y adoptaron el lenguaje visual de la romanidad. Fuera de las capitales conventuales, se han identificado *domus* en otras áreas con intensa minería, como la de El Soldán (Santa Colomba de Somoza, León), la de El Picón (Pino del Oro, Zamora) o la de Chao Samartín (Grandas de Salime, Asturias). Estos casos muestran la penetración de usos romanos en áreas profundamente rurales y pudieron estar relacionados tanto con las aristocracias locales, bajo cuyo gobierno se situaban las poblaciones de la zona dentro del sistema de *civitates,* como con los miembros



Figura 371. Reconstrucción de la *domus* excavada en el yacimiento de Las Pedreiras de Lago de Carucedo, vista desde el noreste (Miguel Ángel López Marcos y Javier Sánchez-Palencia).

de la administración y el ejército, dependientes de una *officina metallorum,* con presencia *in situ*. La aportación fiscal de las *civitates* debió de ser crucial para el desarrollo de la minería (ver apartados 11.3 y 11.4), y los gobiernos de las *civitates* vecinas a los *metalla* debieron de jugar un papel clave en la interlocución con la administración romana, que facilitaría su promoción social y se materializaría en la aceptación de los gustos romanos: modelos arquitectónicos, decorativos, usos culinarios, hábito epigráfico, etc.

B) El Castro o asentamiento de Orellán (Orellán, Borrenes) (figs. 372 y 373).

El poblado situado muy cerca del actual pueblo de Orellán ofrece un interesante contraste respecto a la *domus* de Las Pedreiras. Básicamente ambos núcleos fueron coetáneos, pero en el de Orellán la presencia indígena se hace obvia a través de los restos constructivos y muebles. Además, este poblado contribuye a comprender dos aspectos: por una parte, siendo el registro de tradición claramente indígena, y con algunos rasgos anclados en prácticas locales, pone de manifiesto cambios notables en la forma de concebir el poblado y las casas dentro de él. Por otra parte, ilustra otro de los grandes cambios que introdujo la llegada de Roma en los patrones de poblamiento: la diferenciación funcional, con un mayor peso de ciertas actividades en los poblados que surgieron en el entorno de la mina de oro. En el caso de Orellán, se ha confirmado una importante actividad relacionada con la extracción y tratamiento del hierro. De ahí que aparezca también mencionado como «asentamiento metalúrgico de Orellán». Las excavaciones realizadas en la década de los años 1990 han puesto al descubierto una zona bastante representativa del poblado (Sánchez-Palencia 2002, 122-127).

Muy posiblemente este enclave, al igual que el Cabezo de Vega de Yeres, sobre la margen izquierda del río Cabrera, o La Sufreira, en La Barosa (Orejas y Sastre 2000, 268, figs. 295, 308 y 317; Sánchez-Palencia 2002, 122-127), contribuyeron a la provisión de útiles y herramientas de hierro, imprescindibles en las labores mineras y de construcción de canales, pero también necesarias en el trabajo del campo y la edificación. Buena prueba de ello es la similar tipología, cercana a la estandarización, de objetos tan usuales como los clavos aparecidos en todos los asentamientos de la zona arqueológica de Las Médulas. También en Orellán se fabricaban pequeños objetos de bronce y plomo, en su mayoría destinados al adorno personal.

El emplazamiento de este asentamiento, en el monte conocido como El Nocedal o El Castro (aunque no es tal castro), fue elegido por la proximidad de una brecha ferruginosa, situada al pie del monte,



Figura 372. Asentamiento de Orellán. Foto aérea desde el suroeste.

en la ladera opuesta a la que se eligió para levantar el poblado. En su cima, a casi 800 m y bien aireada, se llevaban a cabo las tareas de fundición, como testimonian los restos de hornos y, sobre todo, los potentes y extensos escoriales que cubren sus laderas más altas. No en vano son el resultado de una intensa producción casi ininterrumpida a lo largo de más de siglo y medio.

El poblado, que fue habitado indudablemente por población indígena, ocupó una pequeña planicie orientada a la solana y a media ladera. Las construcciones más antiguas se atienen en su estructura espacial, mobiliario y ajuar a lo que era habitual en las viviendas de los castros prerromanos. De hecho, en esta primera fase, hacia mediados del siglo I d. C, la cerámica no solo es de tradición local, sino que está hecha en su gran mayoría a mano. Sin embargo, el núcleo construido adoptó muy pronto una ordenación ortogonal, en torno a una calle dotada de aceras a la que se abrían las puertas de las viviendas. Los alzados se construyeron en tapial, sobre un zócalo de piedra y las habitaciones se compartimentaron por medio de muros medianeros. Se llega a dar el caso de que las diversas dependencias de una construcción se ordenen en torno a un patio, como muestra de emulación de los esquemas constructivos romanos. Pese a todo, se conservaron hasta el abandono del poblado algunas características locales, como los espacios estrechos que separaban entre sí las viviendas.



Figura 373. Asentamiento de Orellán. Panorámica general (1996) desde el noreste. En primer término, las construcciones de la primera fase de ocupación.

La adaptación a los modos de vida romanos es patente también en los ajuares domésticos, en los que la cerámica indígena a mano fue progresiva y lentamente sustituida por producciones a torno y se incorporaron piezas provenientes de alfares romanos peninsulares. Sucede algo similar con los molinos, ya que los planos terminaron por ser desplazados por los circulares, más eficaces y rentables.

Este asentamiento de Orellán muestra de forma clara los cambios en los modos y escala de la producción que determinó la puesta en explotación de



Figura 374. Fotografía aérea desde el este de El Castro de Corporales.

la mina por parte de Roma. Si en los castros prerromanos era una familia la que se dedicaba a la actividad metalúrgica y sus productos no sobrepasaban el ámbito del poblado, los metales manufacturados de Orellán estaba destinados a un abastecimiento más amplio, a otros poblados de la zona y, sin duda, a las labores mineras.

Por otro lado, un almacén de grano documentado en el asentamiento, tanto por el volumen acumulado, como por su situación en un espacio no privado, indica que se trataba de un depósito colectivo, algo ajeno al mundo indígena prerromano. A esta información se suman restos de fauna y análisis paleobotánicos que indican que también en torno al núcleo se desarrollaron actividades agropecuarias, de manera que, aun siendo evidente el peso de la actividad metalúrgica, no se puede considerar que se tratase de un poblado totalmente especializado.

C) El Castro de Corporales (Corporales, Truchas) (figs. 374 a 376)

La contraposición entre los asentamientos de La Corona y El Castro de Corporales sentaron las bases en los años 1970 y 1980 de los modelos de poblamiento prerromano y romano en las zonas mineras a escala regional (Sánchez-Palencia y Fernández-Posse 1985 y Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988). El Castro se sitúa inmediatamente al norte del pueblo actual, en una ladera acondicionada mediante terrazas, y ocupa algo más de media hectárea.

Los dos fosos que lo separan de la ladera por el oeste pudieron hacerse con la ayuda del canal C32, que transcurre no muy lejos por el noroeste, a poco más de 25 m de altura sobre el castro, aunque contrastar esta conexión resulta complicado, a causa del prolongado cultivo del terreno entre ambos. A lo largo de sus tres zonas aterrazadas se realizaron excavaciones en tres áreas y se determinó la existencia de dos fases de ocupación, datada la primera entre el 40/50 d. C. y el 65/75 d. C., y la segunda entre el 70/75 d. C. y el 100/120 d. C. Es decir, sin discontinuidad entre ambas.

La primera fase del asentamiento aún muestra una clara influencia de prácticas locales, documentadas en los castros de época prerromana, tanto en la construcción de las unidades de ocupación por simple adición de espacios, como en el predominio total de la cerámica local, en su mayor parte hecha aún a mano (Sánchez-Palencia y Fernández-Posse

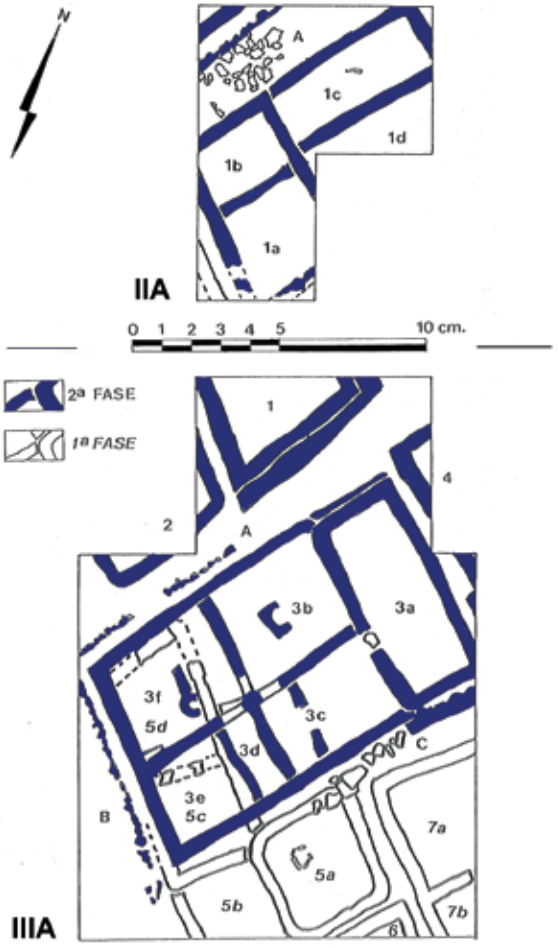


Figura 375. Planta de los dos principales sectores excavados en El Castro de Corporales.

1885, 239-269).[4] En la segunda fase ya se detecta una llegada importante de cerámica romana y las construcciones se planifican de forma compartimentada, introduciéndose también el uso de atarjeas, de calles con aceras marcadas y, en último término, una ordenación más clara de las edificaciones, que incluso pueden contar con espacios dotados de chimeneas (espacio 3b, fig. 375), como ocurría también en la *domus* de Las Pedreiras.

Frente a la existencia dentro de los castros prerromanos de una unidad de ocupación correspondiente al metalúrgico-herrero, bien documentada en La Corona y en El Castrelín, en El Castro esta actividad es trasladada a la zona alta del asentamiento, la más aireada, como también ocurría en Orellán, en este caso sin contar con recinto delimitado.

Con respecto a Las Médulas, este asentamiento, situado en la zona de la comunicación entre las vertientes del Eria (Duero) y del Cabrera (Sil-Miño), debió de cumplir un papel de control logístico y estratégico en relación con una parte importante de la red hidráulica. No solo se halla a poco más de 500 m del Alto de Peña Aguda, collado que marca ese cambio de vertientes y donde se unen los canales C26 (procedente del río Eria) y C27 (procedente del río Truchillas) para generar el C25 a partir del depósito de regulación D22, sino que, además, por sus inmediaciones transcurren el C32, procedente también del Eria, y los canales C18 y C24, procedentes de la cuenca alta del río Cabrera. En fin, esa posición entre vertientes implica también que era un punto desde el que se podía acceder a las zonas mineras explotadas en La Valdería, al este, en la Sierra del Teleno y en La Valduerna, al norte, y en la cuenca del Cabrera y en las propias Médulas al oeste.

La continuidad de las dos fases de ocupación del Castro de Corporales es muy coherente con el desarrollo del proceso histórico en el que estuvo inmerso. También lo es que la ocupación se prolongase en el asentamiento documentado en el pueblo de Corporales, hacia la iglesia y la casa rectoral, en este caso ya sin elementos de delimitación. Este proceso se ha registrado en más casos en las zonas mineras del noroeste peninsular, en los que a la ocupación de asentamientos ya de cronología romana, pero con recintos, sucedió la instalación de núcleos abiertos y contiguos a ellos.

4 El porcentaje de la cerámica a mano, cuya forma puede ser reconstruida, en la primera fase de El Castro de Corporales es del 66 %, mientras que, en la segunda fase, es solo del 16 %. Pero si se consideran los fragmentos denominados «amorfos», es decir, que no dan forma, del sector principal del Castro, el IIIA, los porcentajes de cerámica en las dos fases suben hasta el 78,1 % y el 30 % respectivamente (Sánchez-Palencia y Fernández-Posse 1985, fig. 123 y tabla de la página 268).



Figura 376. Vista desde el noreste del sector principal, IIIA, excavado en El Castro de Corporales.

D) Chaos de Mourán (Las Médulas, Carucedo) (figs. 377 y 378)

Este asentamiento romano se sitúa en plena zona minera de Las Médulas, concretamente dentro de la labor 9.3 del sector 3.6, muy cerca del canal de evacuación de estériles Ev64, conocido como O Fornín (fig. 377). Esto implica que la zona donde se construyó había sido ya explotada y su localización está directamente relacionada con el desarrollo de las labores (Sánchez-Palencia 2002, 150-151).

No se han podido diferenciar elementos de delimitación, que seguramente no existieron, más allá de los definidos por la propia labor minera. Sobre la superficie, que fue cultivada con cereal y luego se ha utilizado como pasto, se han documentado siempre fragmentos de cerámica común y materiales de construcción romanos.

Se realizaron dos cortas campañas de excavación en los años 1989 y 1990 con el objetivo de situar en el tiempo el avance de las labores mineras.

El yacimiento estaba muy arrasado, sin duda, a causa del largo periodo de tiempo en que las tierras fueron labradas. Aun así, se pusieron al descubierto varias construcciones de trazado ortogonal, con zócalos de piedra, levantados con mampostería bien trabada con barro amarillento. De este último material era el resto del alzado. Por su estructura y sus materiales (se utilizaron tipos especiales de ladrillos de los empleados para calefactar estancias), más que un establecimiento doméstico al uso, como la mayor parte de los conocidos en la zona, parece tratarse de alojamientos para albergar a una población muy directamente implicada en las labores mineras, sin que pueda definirse más su función. Hay que tener presente que en todo su entorno podrían estar desarrollándose aún los trabajos mineros.

La fecha proporcionada por la cerámica romana permite situarlo entre mediados del siglo I y el II d. C. En la actualidad las estructuras documentadas no son visibles ya que, tras su excavación, los



Figura 377. Foto aérea desde el noreste del asentamiento de los Chaos de Mourán dentro de la labor 9.3 del sector 3.6 y junto al canal de evacuación, en la parte superior, Ev64 (O Fornín).



Figura 378. Vista desde el norte del principal sector excavado en Los Chaos de Mourán.

sondeos realizados fueron cubiertos con la misma tierra extraída.

11.2.3. Otros asentamientos o indicios de ocupación de la zona

En la zona delimitada se han localizado varias decenas de otros yacimientos arqueológicos. Sin duda muchos de ellos coinciden con la cronología que se está tratando, aunque en la mayor parte de los casos la incertidumbre sobre su datación es importante. Solo en algunos hay evidencias de restos que se atribuyen a la fase romana (normalmente sin poder afinar más las fechas) y en otros las características morfológicas o contextuales llevan a considerarlo poblamiento antiguo. Esto no es óbice para que algunos de los sitios inventariados puedan responder a otros momentos, como ocupaciones romanas posteriores al siglo III o medievales.

Los materiales en superficie son escasos, en ocasiones incluso inexistentes o al menos no visibles por las condiciones del terreno. Esto se ha acusado en los últimos años por el abandono de las tierras de cultivo y el crecimiento de vegetación, que hacen que la detección sobre el terreno de restos arqueológicos sea muy baja. Algunos yacimientos identificados y caracterizados en prospecciones desarrolladas en los años 1980 y 1990 hoy son ilocalizables.

A cambio, los sistemas de teledetección han mejorado notablemente, de manera que la caracterización morfológica de los asentamientos, sobre todo de los castros o de los delimitados por estructuras artificiales en general, ha alcanzado una precisión mucho mayor. Herramientas como el LiDAR o distintas formas de modelado han supuesto un paso de gigante, pero multiplican su valor si se consideran conjuntamente con las series de fotografías aéreas desde la mitad del siglo XX y de cartografía.

Otro punto importante es la extensión de los núcleos. En los casos en los que hay un recinto, con

elementos artificiales o naturales que delimitan la superficie, se ha tomado esta como referencia, aunque es sabido que, al menos en el caso de cronologías romanas, la ocupación podía desbordar estos perímetros. En el resto de los casos, las estimaciones se realizan a partir de la dispersión de restos en superficie, con todas las limitaciones que esto supone y que han sido abordadas en diversos trabajos (Fernández-Ochoa *et al.* 2014).

El análisis del poblamiento de la zona, como se ha dicho, requiere un trabajo monográfico que está en proceso. En el marco de esta publicación centrada en la red hidráulica, la aportación se limita a recoger la información ordenada, especificando qué poblados pueden ponerse más claramente en relación con la construcción y mantenimiento del sistema.

La información disponible procede de varios trabajos de inventario e investigación (Martín 2002-2003; Celis y Muñoz Villarejo 2015). En la década de 1980 se llevó a cabo la primera carta arqueológica de León y se publicaron aportaciones de T. Mañanes (1981 y 1988), C. Domergue (1986, 1987 y 1990) y sobre todo las investigaciones sobre La Valderia y La Cabrera (Sánchez-Palencia y Fernández-Posse 1985; Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988) que, como se viene diciendo, son los antecedentes directos de los actuales estudios. En la década siguiente, en el marco de los proyectos desarrollados por el CSIC en la zona arqueológica de Las Médulas, se realizaron campañas de prospección sistemática, combinando el trabajado de campo con cartointerpretación y fotointepretación secuencial. Esto hizo posible registrar más de 50 sitios en la zona entonces delimitada (términos municipales de Borrenes, Carucedo y Puente de Domingo Flórez en León, y, además, de Rubiá y Carballeda, en Ourense); en algunos casos, esta información ha sido revisada y contrastada en fechas posteriores.

Después, se ha ido actualizando y completando el inventario arqueológico de la Junta de Castilla y León y el Sistema de Información para el Patrimonio Histórico de Castilla y León (PACU), incluyendo algunos nuevos sitios o indicios. Por último, se han efectuado algunos trabajos específicos, como varias contribuciones sobre recintos y los denominados «castros arriscados» (Vidal 2015a, 2015b y 2018) y se han realizado algunas pequeñas intervenciones (como el caso de la Corona de Yeres o en el Chao de Villaseca), que no han arrojado novedades significativas (Yeres 2018; Martínez *et al.* 2020).

Entre las intervenciones recientes, merecen especial atención las del yacimiento de La Peña del Hombre (Paradela de Muces, Priaranza del Bierzo) (figs. 379 a 381). Este asentamiento viene siendo excavado desde la mitad de la década de los años 2010. La redacción de la memoria está en curso, por lo que los sucintos comentarios aquí recogidos han de considerarse preliminares y tomados con cautela. Se han podido consultar varios informes (Trigo *et al.* 2016, 2017, 2018 y 2020), revisar noticias de prensa y realizar visitas al yacimiento. En términos generales, el registro dado a conocer muestra una fuerte impronta indígena, pero revela significativos cambios respecto a los asentamientos prerromanos tratados en el apartado 11.2.1, como insinúan los propios autores de la excavación, que llegan a denominarlo protohistórico o romano (Trigo *et al.* 2018, 29-30).

El poblado está situado a 1141 m de altitud y en una zona con un acceso muy limitado a tierras de cultivo. Las excavaciones han permitido documentar cinco unidades de ocupación, las más occidentales prácticamente apoyadas en la muralla, y una calle que articula este sector del poblado. Cada unidad consta de varios espacios complementarios. Existen medianerías entre varias unidades de ocupación, algo característico de la reorganización del poblamiento impuesta por Roma, como se puede comprobar en la primera fase de El Castro de Corporales (Sánchez-Palencia y Fernández-Posse 1985, 238-239 y fig. 81) y en la primera ocupación del asentamiento de Orellán, ya tratado en en este mismo capítulo (Orejas y Sastre 2000, 263-266 y cuadro 40). En todas las unidades existe una estancia con hogar y una serie de elementos que se repiten (vasar y poyete), también documentados en El Castro de Corporales y en Orellán. Un nivel de incendio generalizado, con restos carbonizados de elementos de madera estructurales (vigas, postes) y de tablas, sellan los niveles de ocupación. Sobre ellos se documentan potentes derrumbes, con porciones de lienzos de muros reconocibles.



Figura 379. Castro de la Peña del Hombre. Panorámica general (2017) desde el sur. En primer término, la unidad de ocupación formada por los espacios C, D, E y F. A la derecha la calle que articula las construcciones de esta zona.

Figuras 380 y 381. La Peña del Hombre (2017). Vista de la muralla con el derrumbe exterior y yuxtaposición de las construcciones a la muralla.





Su superficie estimada es de 0,6 ha, un área considerablemente menor a la habitual en los castros prerromanos de la zona y más próxima a los castros ocupados en época romana (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, fig. 161). Esta superficie queda delimitada por una potente muralla y por el norte por un acusado escarpe rocoso. Su derrumbe aparece solo al exterior (fig. 380) y es compacto, lo cual parece indicar una demolición intencionada, como se apreció también el caso de El Castro de Borrenes (fig. 369).

Uno de los aspectos pendiente de aclarar es la relación cronológica entre la muralla y las estructuras domesticas visibles (que corresponderían al último momento de ocupación del sitio). Otros tres rasgos significativos diferencian La Peña del Hombre de los castros prerromanos de la zona: las construcciones no respetan una franja perimetral entre la muralla y el caserío; hay una planificación básica del poblado, con previsión de drenajes y el trazado de la calle con aceras; y, en tercer lugar, no se han detectado almacenes propios de cada unidad, sino unos contenedores de lajas (según la interpretación de los excavadores) de pequeña capacidad.

Como se ya ha indicado, estas consideraciones son necesariamente parciales y provisionales, ya que faltan los datos relativos al registro mueble y a las dataciones de ^{14}C. A la vista de los datos disponibles, parece clara la fuerte impronta indígena del asentamiento, quizás instalado en momentos muy tempranos del dominio de Roma. Los indicios de existencia de unidades estratigráficas inferiores podrían indicar dos momentos en la vida de La Peña del Hombre. El horizonte relacionado con la primera presencia de Roma se ha identificado en otros lugares, siempre caracterizados por el peso de lo indígena, como en los mencionados Castro de Corporales y asentamiento de Orellán o también en poblado castreño de El Chano (Celis 2002 y 2003).

Hay que tener en cuenta, también, que por el entorno inmediato del asentamiento transcurren

tres canales de la cuenca septentrional procedentes del río Valdueza, C8, C19 y C28, y este último lo hace a unos centenares de metros. Esta posible relación con los canales ha sido también apuntada por J. Vidal (Vidal y Rodríguez 2000-2001, 284-285; Vidal 2015, 362; 2018, 284-285). Por tanto, no es descartable pensar en una mano de obra local desplazada hasta la zona para la realización y mantenimiento de los canales, quizás ya cuando se iniciaron las labores mineras en Las Médulas, es decir, desde momentos relativamente tempranos del siglo I d. C.

Como se ha indicado al inicio de este capítulo, todo esto será objeto de un trabajo específico, que además se verá enriquecido por las investigaciones desarrolladas por el mismo equipo y otros investigadores en otras zonas mineras del noroeste peninsular. Por ahora, únicamente se recoge la información básica de los yacimientos en tablas y su localización se incorpora a la cartografía que acompaña a este trabajo.

En las siguientes tablas, 65 y 66, se enumera una serie de asentamientos que son bien conocidos, es decir, que han sido objeto de sondeos o prospec-

Código ref. bien JCyL	Denominación	Localidad	Municipio	Otras referencias
93752	A Pedriña	Pombriego	Benuza	Corporales II, n.º 6 Vidal 2015a, n.º III
731029 93744	La Corona del Castro, El Castro, La Corona de Carracastrillo, La Corona del Pueblo	Llamas de Cabrera	Benuza	Corporales II, n.º 8
869948	La Corona del Castro, Las Palomas	Llamas de Cabrera	Benuza	Vidal 2015a, n.º XII
94220	Villaseca, El Chao	San Juan de Paluezas	Borrenes	Sánchez-Palencia 2000: 260, 269
94124	El Cabuerco de Valdelobos	La Chana	Borrenes	Corporales II, n.º 28 Sánchez-Palencia 2000: 259
96513	La Cárcaba	Castrillo de Cabrera	Castrillo de Cabrera	Corporales II, n.º 10
96509	El Castro	Castrillo de Cabrera	Castrillo de Cabrera	Corporales II, n.º 11
867632	El Cañeiro	Marrubio	Castrillo de Cabrera	Vidal 2015a, n.º XII
2117671	La Peña del Castro	Saceda	Castrillo de Cabrera	Corporales II, n.º 13
720435	Los Castros, Castro de Santa Marina	Ambasaguas	Encinedo	Corporales II, n.º 15
867653	El Castrillón	Robledo de Losada	Encinedo	Mañanes 1988
867665	La Torrecilla, La Torreciella	Santa Eulalia de Cabrera	Encinedo	Vidal 2015a, n.º XVI
104263	Castro Rupiano	Montes de Valdueza.	Ponferrada	Mañanes 1988
104749	La Corona del Castro	Villanueva de Valdueza	Ponferrada	Mañanes 1988
104919	La Peña del Hombre	Paradela de Muces	Priaranza del Bierzo	Trigo *et al.* 2016, 2017, 2018 y 2020
105072	El Castro de Puente de Domingo Flórez	Puente de Domingo Flórez	Puente de Domingo Flórez	Corporales II, n.º 1 Sánchez-Palencia 2000: 257
105222	La Corona de Yeres	Yeres	Puente de Domingo Flórez	Corporales II, n.º 4 Sánchez-Palencia 2000: 259-261 Yeres 2018
105016	Castro de Santa Cruz	Castroquilame	Puente de Domingo Flórez	Corporales II, n.º 5
105178 105215	Las Cárquibas, Los Campanarios	Vega de Yeres	Puente de Domingo Flórez	Corporales II, n.º 3 Sánchez-Palencia 2000: 259
867807	Los Castillos	Vega de Yeres	Puente de Domingo Flórez	Vidal 2015a, n.º I

Tabla 65. Asentamientos bien conocidos dentro de la ZAM-RedH: castros o asentamientos con rasgos morfológicos castreños (Corporales II= Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988).

Código ref. bien JCyL	Denominación	Localidad	Municipio	Otras referencias
94035	La Igrixilía	Borrenes	Borrenes	Sánchez-Palencia 2000: 261, 268
94147	El Convento, Chaos de San Martín	Orellán	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996 Domergue 1987, 305
94262	Las Portelas, Las Portiellas	Voces	Borrenes	Corporales II, n.º 51 Sánchez-Palencia 2000: 255
94180 94199 94240 94230	Cerro Pendón, Trapuzas, Recieiras y Barreiras	San Juan de Paluezas	Borrenes	Corporales II, n.º 31 Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94062	El Laguayo	Borrenes	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94209	La Rápida, La Lombela	San Juan de Paluezas	Borrenes	Sánchez-Palencia 2000: 268
96336	Los Liñares	Carucedo	Carucedo	Sánchez-Palencia 2000: 268 Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96326	La Zapateira	Carucedo	Carucedo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96396	La Malladica	Las Médulas	Carucedo	Corporales II, n.º 49 Domergue 1987, 303 Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96438	La Iglesia, Sabugueiro	Las Médulas	Carucedo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96273	Trillaenrique	Lago de Carucedo	Carucedo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96305 96283	El Castro y La Sufreira	El Carril	Carucedo	Corporales II, n.º 33 Sánchez-Palencia 2000: 268
105131	La Paloca	Salas de la Ribera	Puente de Domingo Flórez	Corporales II, n.º 34
9476	Corporales	Corporales	Truchas	Corporales II, n.º 41

Tabla 66. Asentamientos bien conocidos dentro de la ZAM-RedH: asentamientos sin delimitación artificial o mixtos (Corporales II= Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988).

ciones intensivas. Gracias a estas actuaciones se han recuperado materiales y se ha obtenido alguna información sobre su morfología o sobre periodos cronológicos. Se diferencia entre aquellos que son castros o cuentan con algún rasgo formal castreño (tabla 65), y aquellos otros que o son asentamientos sin delimitación artificial o bien cuentan con un recinto y, además, con un poblamiento que se extiende fuera de él, denominados de manera instrumental como «mixtos» (tabla 66).

En último lugar, hay una serie de enclaves en los que se ha producido algún tipo de hallazgo o existe algún elemento estructural que hace pensar en un posible establecimiento antiguo, pero las evidencias son escasas y, en ocasiones, imprecisas. Así, no se puede establecer con certeza si efectivamente se trata de un asentamiento antiguo, un lugar de frecuentación o si la presencia de materiales es resultado de procesos postdeposicionales. Lógicamente, tampoco es viable determinar su naturaleza, morfología, dimensiones o cronología. Estos datos se incluyen en la tabla 67.

11.2.4. El poblamiento antiguo y la red hidráulica

La extensión de la red hidráulica de Las Médulas es una buena prueba de la escala de estas explotaciones mineras y de la necesidad de un amplio control y conocimiento del territorio. Además, el carácter progresivo de los sistemas de prospección y la apertura y avance de los frentes de explotación imponían un dinamismo en la intervención territorial que difuminaba las posibles demarcaciones. Dinamismo que permite entender la existencia de una serie de poblados cuya construcción se puede

Código ref. bien JCyL	Denominación	Localidad	Municipio	Otras referencias
94072	Sabugueiro	Borrenes	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94169	La Boca la Foya	San Juan de Paluezas	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94114	Ermita de la Vega	Borrenes	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94189	Las Viñas de Villaseca	San Juan de Paluezas	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94104	Valdesa	Borrenes	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94084	Los Barredos	Borrenes	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
94094	El Lagar	Borrenes	Borrenes	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96346	La Travesa	Carucedo	Carucedo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96384	El Soutín	Las Médulas	Carucedo	Sánchez-Palencia 2000: 268 Domergue 1987, 304
96415	La Peralía	Las Médulas	Carucedo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96428	Chaos da Cruz	Las Médulas	Carucedo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96465	El Sardonal, El Matorro	La Campañana	Carucedo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
96540 96504	San Martín	Castrillo de Cabrera	Castrillo de Cabrera	Mañanes 1986
96521	Las Iglesias	Castrillo de Cabrera	Castrillo de Cabrera	Vidal 2015a, n.º XI
869033	El Castillo	Losadilla	Encinedo	Vidal 2015a, n.º XX
104931	El Carballal	Santalla	Priaranza del Bierzo	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
953000	Chao da Serra	Paradela de Muces	Priranza del Bierzo	Vidal 2018, 282
105143	Salas de la Ribera	Salas de la Ribera	Puente de Domingo Flórez	Sánchez-Palencia *et al.* 1996
2273490	El Castrillón	Corporales	Truchas	

Tabla 67. Indicios de asentamientos antiguos en la ZAM-RedH (Corporales II= Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988).

relacionar con el trazado y el mantenimiento de la red hidráulica. Con frecuencia se trata de pequeños núcleos con delimitaciones artificiales en parte o en todo su perímetro, en situaciones y emplazamientos topográficos que solo se explican en relación con estas infraestructuras: a altitudes absolutas importantes, en laderas abruptas, en áreas rocosas, con accesos complicados... No es descartable que algunos de ellos se ocupasen estacionalmente o de manera intermitente en relación con las fases de la explotación con las que los canales se relacionaban. Esta vinculación entre asentamientos y canales ya se había propuesto en el caso de la red hidráulica meridional de Las Médulas (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 219-221).

Son necesarios dos comentarios previos. En primer lugar, que solo en algunos casos puede defenderse una dedicación exclusiva del núcleo a tareas relacionadas con la red de canales. Esto es, cuando las condiciones de situación y emplazamiento hacen inviable la explotación de recursos básicos para la subsistencia en el entorno del sitio y muy complicado el acceso. Aun en estos casos, la gestión del monte o de prácticas ganaderas sería posible. Hay una serie de poblados desde los que podían atenderse necesidades de mantenimiento del sistema hidráulico, pero también realizar otras actividades productivas, dada la cercanía a tierras cultivables. En segundo lugar, es importante reconocer que la falta de precisiones cronológicas en casi todos los casos e incluso la incertidumbre sobre su adscripción cultural, hacen que los comentarios que a continuación se incluyen hayan de considerarse solo como propuestas, apoyadas en general únicamente en la proximidad espacial entre yacimientos (o indicios) y canales. En varios casos canales y fosos están espacialmente relacionados

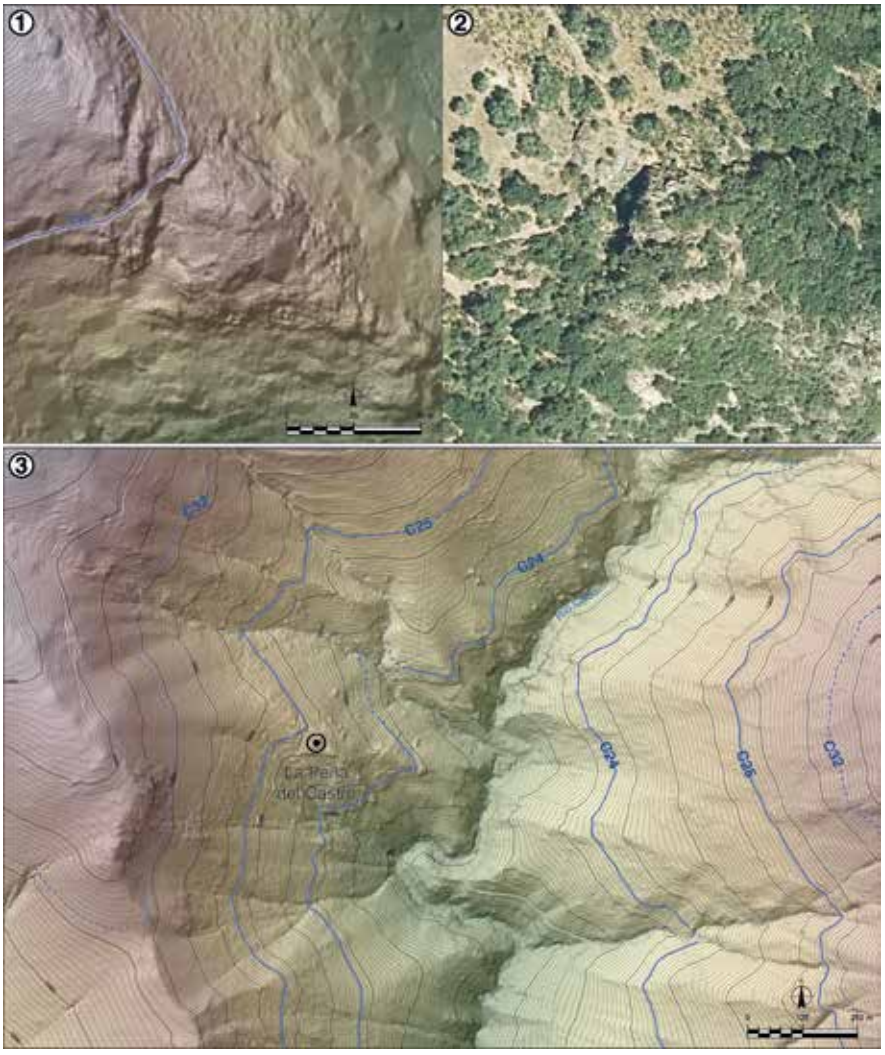


Figura 382. La Peña del Castro de Saceda (Castrillo de Cabrera).

(superpuestos, intersecados), pero no es fácil apreciar las cronologías relativas entre estos elementos.

En algunos recintos delimitados parcialmente por fosos, es muy posible que para su excavación se recurriese a la fuerza del agua, algo frecuente en muchas de las zonas con minería del oro romana del noroeste hispano y que ha dado lugar a la etiqueta de «castros mineros» (Fernández-Posse 1998, 233-234; Currás *et al.* 2026). Esto se aprecia bien, por ejemplo, en El Cabuerco de Valdelobos (fig. 385). Sin embargo, no siempre es evidente la conexión con la red hidráulica principal, aunque sería posible la existencia de mecanismos para desviar el agua de los tramos más próximos hasta ellos.

En la red meridional, la relación con los canales es clara en La Peña del Castro de Saceda (Castrillo de Cabrera) (fig. 382), cuya superficie habitable solo alcanza 820 m^2 y es muy irregular; en él se encontraron en superficie restos de cerámica romana. Se halla en un espolón rocoso sobre el río Cabo, tributario del Cabrera, a más de 1150 m de altitud, y con nulas posibilidades de cultivo en el entorno. La única obra de delimitación artificial es un amplio foso tallado en la pizarra, en la zona que separa el espolón de la ladera, de 60 m de longitud y un ancho máximo de 20 m. Junto a este foso discurre el canal C25. Todo ello indica que pudo tratarse de un asentamiento directamente relacionado con el mantenimiento y el

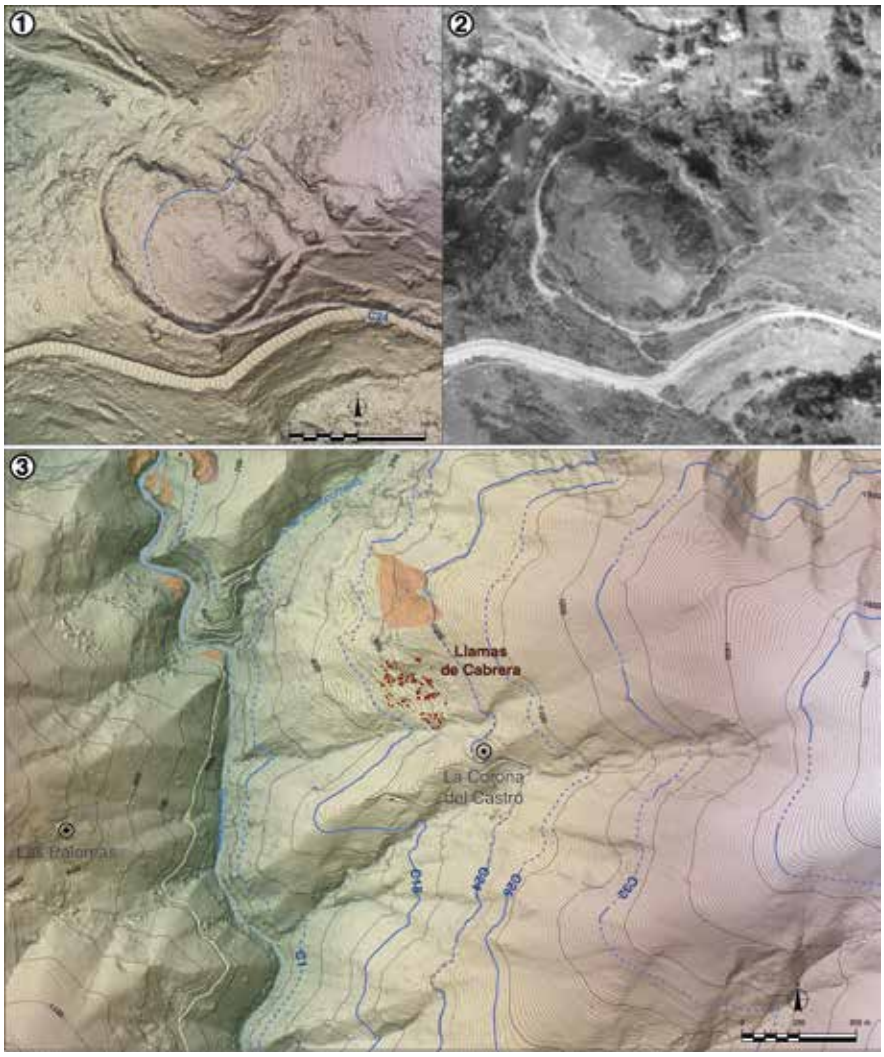


Figura 383. La Corona del Castro, en Llamas de Cabrera (Castrillo de Cabrera).

control de la red hidráulica (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 120).

Los Castros (Ambasaguas, Encinedo), en la Cabrera Alta (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 124), ocupa un pequeño espolón que domina la confluencia del Cabrera y el río de Santa Eulalia. Su superficie habitable es de 2400 m^2 y está delimitada en todo su perímetro por un talud. En su parte más elevada se localiza el foso, que separa el espolón de la ladera, hoy muy alterado por la construcción de la ermita de Santa Marina y el cementerio.

En su superficie solo se identificaron lajas de pizarra que pudieron ser de construcción. Esta zona de La Cabrera Alta, próxima al fondo del valle, fue cultivada a lo largo del tiempo y gran parte de los restos de la red hidráulica se han perdido. Sin embargo, la reconstrucción del trazado a partir de los tramos bien identificados permite proponer la relación de Los Castros con el canal C18, que debió de discurrir o por el foso mismo del castro o en la ladera inmediata. Es posible que para su excavación se emplease energía hidráulica.

También con el canal C18 pueden relacionarse, de una u otra manera, por su cercanía los yacimientos de El Castro, Las Iglesias y San Martín, los tres en Castrillo de Cabrera, El Cañeiro (Marrubio, Castrillo de Cabrera), El Castrillón (Robledo de Losada, Encinedo) y El Castillo (Losadilla, Encinedo).

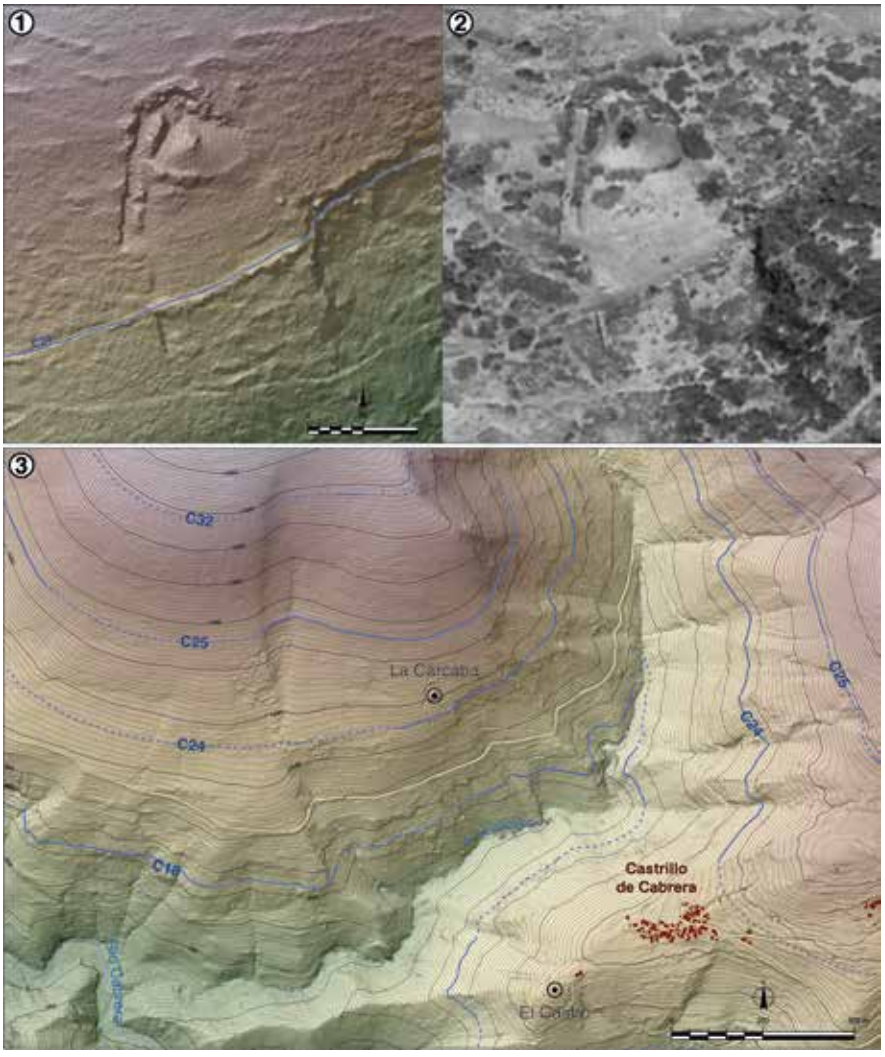


Figura 384. La Cárcaba (Castrillo de Cabrera).

La Corona del Castro, en Llamas de Cabrera (Castrillo de Cabrera) es un caso particular (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 111). Se trata de un recinto de 0,5 ha habitables, situado sobre un espolón, delimitado por un talud perimetral y cerrado por dos profundos fosos por el NE, de 100 m cada uno y con una anchura máxima de 25 m, el exterior, y 35 m, el interior (fig. 383). En el extremo noreste del recinto, en su punto más elevado, se observaron los cimientos de una gran torre, que se relacionan con una posible ocupación medieval. La particularidad de este asentamiento, cuya cronología no está clara, es que está atravesado por el canal C24. Podría ser un asentamiento anterior, luego alterado por el canal, un sitio de fundación romana que integrara el canal dentro del espacio habitable, o incluso un asentamiento postromano, que se estableciese cuando el canal ya estaba abandonado, al menos para trabajos mineros.

La Cárcaba (Castrillo de Cabrera) presenta una morfología que se repite en este tipo de poblados en zonas mineras del Noroeste (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 115-116). Su superficie ocupa unos 700 m^2, delimitada por dos fosos por el oeste y por otro por el este, que se extienden ladera abajo, a lo largo de más de 100 m (fig. 384). La construcción de estos fosos pudo llevarse a cabo empleando agua. El sitio puede relacionarse con el canal C24, justo en el borde sur del núcleo, y el canal C25 se localiza



Figura 385. El Cabuerco de Valdelobos (La Chana, Borrenes) (inicios de la década de 1990).

55 m más arriba. Los fosos pudieron abrirse empleado la fuerza del agua.

El Castro de Corporales (Truchas), tratado más arriba (figs. 374 a 376), se ubica en una zona con especial densidad de elementos de la red hidráulica de Las Médulas. No es descartable el empleo de la fuerza hidráulica en la excavación de sus fosos, en particular los dos fosos que cierran el recinto por el oeste, donde además se aprecian huellas de erosión en la zona por donde entraría el agua, aunque no está clara la red hidráulica empleada. En terrenos cercanos discurre el canal C32, 25 metros más arriba, al pie del poblado se encuentra el canal C26 y en las proximidades el canal C27, ambos desembocando en el depósito D23, del que sale el canal C25. No muy lejos estaban el canal C24 y el C18, así como la red hidráulica que abasteció las labores mineras de La Debesa (Corporales). Pese a situarse a una cota alta (1300 m), las condiciones del entorno hacían posibles actividades agropecuarias, pero dada su ubicación tiene sentido pensar que desde este asentamiento pudieron realizarse también tareas relacionadas con la parte más alta de la red hidráulica de Las Médulas.

Varios más de los asentamientos identificados pueden ponerse en relación con la red hidráulica, ya que su proximidad espacial así lo indica. Es el caso de La Corona de Yeres, muy cerca de la cual se encuentra el canal C1, que rodea por tres lados el alto en el que se instaló el asentamiento.

En lo que respecta a la red septentrional, El Cabuerco de Valdelobos (fig. 385) es probablemente el sitio más antiguo que puede relacionarse con los canales de Las Médulas (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 138). Se trata de un pequeño recinto que delimita una superficie de unas 0,7 ha y en el que en prospección se identificaron materiales de construcción (lajas claramente ajenas al sustrato geológico). Se ubica en la zona más baja de Las Médulas y en relación con las primeras fases de explotación. La forma ovalada de su planta es frecuente en asentamientos en los que, como en este caso, el foso que rodea todo su perímetro fue abierto con energía hidráulica. Se relaciona con el canal C2 y, aunque muy alterados, inmediatamente al sudoeste del poblado se observan los restos del depósito D2.

Ya se ha tratado más arriba el poblado de Orellán y las evidencias de ocupación y explotación diversificada de recursos. Además, el canal C5 circunvala el monte en el que se ubica el yacimiento y a escasa distancia circulaba también el canal C6.

El canal C8 rodea prácticamente las tierras en las que se ubica el yacimiento de El Convento. La Corona del Castro de Valdefrancos se levantó en una elevación también rodeada por ese mismo canal C8 y Castro Rupiano está entre los canales C8 y C28.

También La Peña del Hombre (fig. 379 a 381), como se ha señalado antes, está en una zona por la que discurrieron varios canales de la red septentrional: el sitio está bordeado por C28 y al pie de la elevación se trazaron C8 y C19. Las Portelas es un pequeño yacimiento en un collado a más de 1000 m de altitud en un terreno abrupto, junto al canal C28. En él se encontraron en superficie materiales constructivos y cerámica romana, incluyendo *terra sigillata* hispánica.

El yacimiento de El Soutín está en la cima de un pequeño cordal que quedó entre los sectores 1 y 3 de la mina. Sus laderas están surcadas, al este por los canales C5 y C7 y al oeste por los canales C3 y C4, además de ubicarse muy próximos los depósitos D4, D5 y D7.

11.3. LAS MÉDULAS Y LA MINERÍA DEL ORO: LA CONSTRUCCIÓN DE UN PAISAJE PROVINCIAL

Almudena Orejas
Inés Sastre
F. Javier Sánchez-Palencia

Recordemos, brevemente, que las tierras integradas por Roma en el *conventus asturum,* iniciaron su proceso de incorporación al dominio de Roma tras el final oficial de la conquista de Hispania, el 19 a. C. Desde al menos la mitad del siglo I a. C. se perciben en lo que luego sería la Asturia cismontana o augustana, es decir, la situada al sur de la cordillera Cantábrica, signos de inestabilidad y cambios, sin duda relacionados con la vecindad de Roma. Los años siguientes estuvieron jalonados por la resistencia de algunas comunidades indígenas, la colaboración de otras y el despliegue del poder de Roma para inventariar territorios, riquezas y poblaciones y organizarlos de acuerdo con sus patrones e intereses. Así surgieron estructuras esenciales como la *civitas* y mecanismos para captar recursos de las poblaciones sometida a través de un incipiente fisco imperial.

Todo esto se hizo en el marco de muy profundos cambios en Roma que dieron lugar a la disolución del sistema republicano y la configuración del imperio, lo que culminó en la toma de poder de Augusto, que se rodeó de colaboradores para llevar adelante sus reformas. Algunos de ellos asumieron un especial protagonismo en la dominación del norte hispano, como Agripa, Lucio Sexto Quirinal, Cneo Calpurnio Pisón, Cayo Asinio Galo o Publio Carisio. Como se verá más adelante, el oro hispano tuvo su papel en este proceso.

Algunos documentos epigráficos tempranos son buena prueba de cómo actuó el Estado romano en los años siguientes al final de las operaciones bélicas. El más temprano es el edicto firmado por el propio Augusto en Narbona el año 15 a. C., conocido como el *Edicto de El Bierzo* (fig. 386; HEp n.º 16498; AE 1999, 915 y 2000, 760). Entre otros aspectos, el edicto informa de que solo cuatro años después del fin oficial de la conquista, no solo se habían fijado ya *civitates* (o *gentes*, pues en el edicto se emplean ambos términos), sino que se había registrado su ordenación *(castella, agri)* y se habían impuesto tributos. Además, se habían establecido modificaciones, de acuerdo con la relación de las poblaciones locales con Roma, premiando con inmunidad fiscal a quienes habían colaborado y asignando cargas a los disidentes. Aunque el lugar exacto de hallazgo de este bronce es desconocido, procede de la comarca berciana y las *civitates* que se mencionan se ubicaron en esta zona (Sánchez-Palencia y Mangas 2000; Grau y Hoyas 2001).



Figura 386. Edicto de El Bierzo, 15 a. C. Museo de León.

Efectivamente la *civitas gigurrorum* y la *civitas susarrorum,* pese a que sus límites precisos sean desconocidos, se localizan entre El Bierzo occidental y la

actual comarca de Valdeorras. Sobre *susarri* y *giguri* hay otras referencias epigráficas, como la dedicación a *Cosus (Conso)* del guigurro *P(ublius) Arquius Clemens* hallada en San Pedro de Trones, Puente de Domingo Flórez (*Hispania Epigraphica* 7, 1997, 387 = AE 1998, 764).

La más temprana ordenación del noroeste hispano como suelo provincial romano contó con instrumentos como los pactos de hospitalidad (Sastre 2023; Balbín 2006), la territorialización mediante elementos simbólicos (aras, y entre ellas las famosas aras sestianas) o el germen de los *conventus,* como indica la mención al *ara augusta* en la *tabula lougeiroum* (Dopico 1988; Fernández-Ochoa y Morilllo 2002). Entre otras cosas, fue en ese momento cuando se estableció la denominación de astures para una serie de *populi*, veintidós si tenemos en cuenta la referencia de Plinio (*HN,* XXXIII 4, 28). De todos estos procesos no estuvieron ausentes los conflictos.

Para aproximarse al funcionamiento de la zona dentro de los marcos provinciales impuestos por Roma, es imprescindible comprender las entidades básicas implantadas: los *metalla publica* y las *civitates.*

11.3.1. El carácter estatal de la minería

Un rasgo fundamental de las minas de oro hispanas es que eran propiedad del Estado romano. Esto estaba implícito en los consejos que le dio Mecenas a Augusto sobre cómo mantener unas finanzas saneadas: «Además, te recomiendo que calcules estos y otros ingresos, como los que pueden obtenerse de las minas o de cualquier otra fuente y [...] todos aquellos por los que un estado subsiste de la mejor manera» (Dion Casio 53, 28). Y está explícitamente dicho por Estrabón (III, 2,10): «estas minas [las de plata de Cartagena] todavía [en época de Augusto, en el cambio de era] están en funcionamiento, pero ya no pertenecen al Estado; al igual que las otras minas en Iberia han sido adquiridas por particulares. Las minas de oro, por el contrario, son en su mayoría propiedad del Estado...».

A esto se une el hecho de que la explotación aurífera estaba restringida en Italia, según se deduce del texto de Plinio (*HN,* XXXIII 78): «dijimos que a Italia la protege un viejo decreto del senado; de no ser así, tampoco en metales habría otra tierra más fecunda», lo que obligaba a un abastecimiento totalmente provincial. Hay que tener en cuenta, además, que el oro era un bien estratégico, en el marco de la reforma monetaria impulsada por el propio Augusto (Orejas y Sánchez-Palencia 2016; Suspène *et al.* 2023). Este fue uno de los cambios que contribuyeron a asentar las bases del poder imperial: la unificación del sistema, la relación entre las diversas monedas (fig. 387) y el protagonismo del áureo, marca de prestigio y vehículo de propaganda (fig. 388). El abastecimiento regular de oro se convirtió en una necesidad y por eso, las minas y el oro que producían eran patrimonio del fisco, es decir, formaban parte del conjunto de bienes del emperador, privados o estatales, controlados directamente por él a través de su administración,

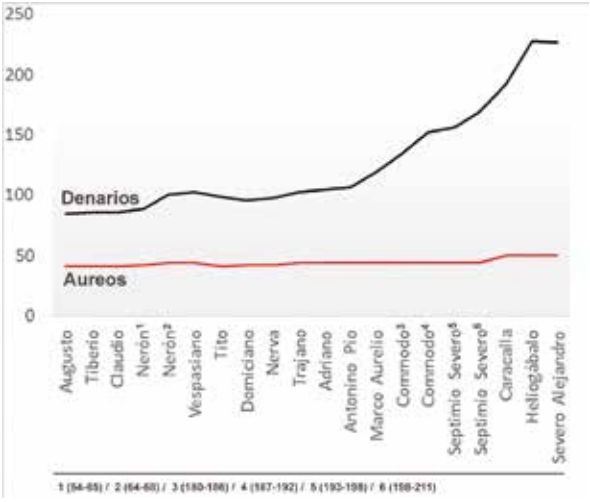


Figura 387. Número de denarios y áureos acuñados respectivamente por libra de plata y de oro, entre Augusto y Severo Alejandro.



Figura 388. Áureo de Vespasiano acuñado en Tarraco. En el reverso representación de Hispania con una espiga (Museo Arqueológico Nacional, MAN 2020/111/2, Fotografía: Ángel Martínez Levas)

especialmente los *procuratores*, dependientes del *a rationibus,* y del ejército. Eran *res fiscales,* lo que las excluía del uso público. Se volverá sobre esto más adelante, ya que esto implica profundas diferencias entre la red hidráulica minera y otros sistemas de conducción de agua, que eran de uso público.

Con todo esto se relaciona la gestión directa de estas grandes explotaciones por el Estado, por el fisco (Orejas *et al.* 2012). Esto las diferencia de los otros *metalla publica* hispanos altoimperiales, los del cinturón pirítico del sudoeste, sometidos a una gestión indirecta. Tradicionalmente el punto de referencia para entender la organización de la actividad minera romana ha sido el caso de *Vipasca* (Aljustrel, Portugal), apoyándose en el texto parcial de la *lex metallis vipascensis* conservado en dos planchas de bronce (*CIL* II 5181; AE 1906, 151; Domergue 1983). Se ha tendido a extrapolar las pautas que en ellas se recogen al conjunto de la minería imperial, pero lo cierto es que se refieren a un tipo específico de *metallum,* acotado espacialmente *(fines, intra fines),* con un *procurator* como autoridad principal que controlaba y supervisaba todas las actividades que en él se desarrollan, incluyendo un sistema de concesiones a particulares. Pero este modelo, en el que el *metallum* estaba separado de las comunidades locales, no fue el único y, desde luego, no es el que se aplicó en las grandes explotaciones mineras astures. La escala de estas explotaciones es claramente regional, e incluso suprarregional, sobre todo por lo que respecta a las amplias redes hidráulicas, lo que hacía inviable una demarcación en distritos. Por otra parte, el carácter progresivo de los sistemas de prospección y el avance de los frentes de explotación imponían un dinamismo en la intervención territorial, que haría imposible delimitaciones precisas y estables.

Se sabe de la existencia de diversos *metalla*, pero se desconoce su número, extensión y denominaciones. La gestión general de la minería se llevó a cabo por miembros del ejército, *procuratores* y sus *officinae* como parte del fisco imperial, con una sede posiblemente en Asturica Augusta (Astorga) al menos para el caso de las minas astures, que coordinaban la actividad de las distintas regiones mineras (Hirt 2010; Orejas y Morillo 2013; Orejas y Zubiaurre 2021).

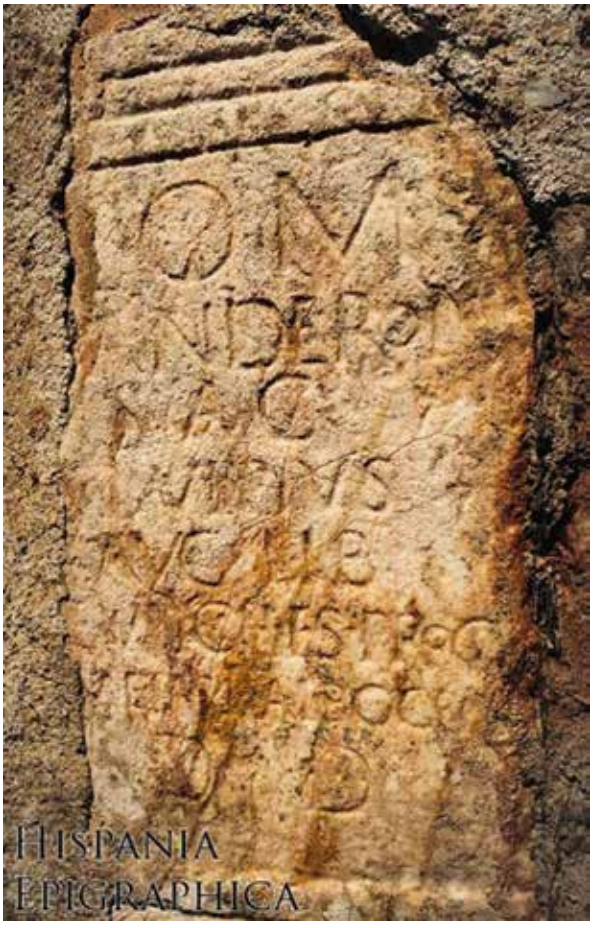


Figura 389. Inscripción votiva dedicada por *Marcus Ulpius Eutyches, procurator* del *metallum albocrarense*.

Pero, además, hay otras evidencias en las zonas mineras, de las que el más conocido es el conjunto de inscripciones conmemorativas de Villalís, Luyego y Priazanza de la Valduerna (León). La referencia más próxima a Las Médulas es la del *procurator* del *metallum albocrarense,* Marcus Ulpius Eutyches, liberto imperial, citado en una inscripción votiva a Júpiter Óptimo Máximo, que se encuentra en Paradela de Muces, Priaranza del Bierzo (fig. 389, ver anexo III, n.º 4). Plinio menciona un *metallum albucrarense* (*HN,* XXXIII 23, 80) cuyo oro era muy apreciado por contener solo una trigesimosexta parte de plata, o sea un 2,7 % Ag. Pero el naturalista la sitúa en Gallaecia, no en Asturia. Quizás se tratase de un *procurator* desplazado hasta la zona de Las Médulas, lo que, por otro

lado, era algo bastante común en el ejercicio de sus funciones por parte de este tipo de cargos.

Ejército y administración funcionaron como un todo con el objetivo fundamental de defender los intereses y garantizar el mantenimiento de la dominación imperial. Esto implicó, en un primer momento, el control militar y la puesta en marcha de las infraestructuras y la presencia del ejército se mantuvo durante todo el alto Imperio. La construcción de la red viaria, así como el trazado de los canales mineros fueron labores que solo pudo llevar a cabo el Estado, seguramente a través del ejército. De la misma manera, la propia definición de los territorios y demarcación de las *civitates* locales, que eran la base del sistema fiscal, fue con toda seguridad labor técnica de agrimensores, que con frecuencia acompañaban al ejército, o de militares expertos. Entre estos se cuentan especialistas cuyos nombres transmiten las fuentes: *architectus, librator, canalicularius, fabriciensis, hydraularius, mensor agrarius* (Domaszewski y Dobson 1967, 313-318; Le Roux 1983, 180), todos necesarios, junto con su instrumental, para el despliegue del dominio sobre el territorio y la puesta en marcha de su explotación.

Desde al menos el último siglo de la República, son muchos los casos en los cuales están documentados mecanismos de puesta en marcha de infraestructuras esenciales con control estatal e implicación de magistrados, en otros lugares y en otros momentos: vías, puentes, acueductos. No se trata del sistema que se documenta en las minas del Noroeste, pero sí resultan indicativos de la práctica de intervención directa.

Una inscripción de Italia que menciona a C. Asinio Gallo proporciona una referencia interesante para el caso concreto del noroeste peninsular. Este senador, del círculo de amigos de Augusto, fue gobernador de la Hispania Citerior en los primeros años del siglo I d. C. Su nombre aparece como firmante del pacto de hospitalidad establecido con la *civitas lougeiorum* en el año 1 d. C. (Balbín 2006, n.º 49), que recoge una práctica habitual por la cual los grandes hombres del Imperio acogían a comunidades provinciales como clientes y actuaban en beneficio de ellas como patronos en las redes de poder provinciales, generalmente al finalizar su mandato. Lo interesante de la inscripción que ahora nos ocupa, hallada en Teate Marrucinorum (Chieti, centro-este de Italia) es que conmemora la restauración del acueducto construido por C. Asinio Gallo. De modo que en un momento en el que se estaría estudiando la puesta en marcha de la minería hay un gobernador de la Citerior, con vinculación expresa con comunidades locales, que habría estado relacionado con el trazado de redes hidráulicas.[5]



Figura 390. Inscripción funeraria de un veterano de la *legio VII* hallada en Voces (Borrenes).

5 *CIL* IX, 3018 = *ILS* 5761: «In honorem domus / Augustae / Dusmia M(arci) f(ilia) Numisilla / nomine suo et L(uci) Trebi Secundi / uiri sui aquam quae a C(aio) Asinio / Gallo perducta intercíderat / repetitam a capite adiecta structura / specus et puteorum nouis bracchis / ampliatam s(ua) p(ecunia) reduxit».

Tanto la utilización de técnicas de explotación ya aplicadas en otros ámbitos mediterráneos, como las necesidades de control del territorio para su puesta en marcha son dos realidades que apuntan al ejército como un agente esencial en el inicio de la minería. El asentamiento de Las Rubias (Corporales, Truchas), datado en el tercer cuarto del siglo I d. C., claramente apunta a una presencia militar junto a las labores y a la red hidráulica del Teleno. Incluye unas pequeñas termas (más bien un *balneus*), un espacio interpretado como santuario y un conjunto material muy próximo al coetáneo de Asturica Augusta (Dieulafait *et al.* 2011). En los últimos años se ha incrementado la nómina de instalaciones militares de distinta entidad, relacionadas bien con el proceso de conquista, bien con la ordenación y control de tierras, poblaciones y recursos (Camino *et al.* 2015; Vallori *et al.* 2019). A este tipo de instalaciones responden en áreas relativamente próximas a Las Médulas, el campamento de Valdemeda y Los Tallares en la Valdería, los de Castrocalbón, los de Balboa, los del occidente de las montañas cantábricas, o los identificados en Villamontán (Sánchez-Palencia y Currás 2015; Costa 2016; Vidal *et al.* 2018; Orejas *et al.* 2019; López González 2020, 106-107 y 204-223; Martín *et al.* 2024).

La información epigráfica es también relevante, aunque en términos generales responde a momentos posteriores al documentado, por ejemplo, en Astorga.

En Voces (Borrenes) se recuperó la inscripción funeraria de un veterano de la *legio VII Gemina,* cuyo nombre se ha perdido, datada entre el 70 y el 195 d. C. (fig. 390, ver anexo III, n.º 3). Un epígrafe de A Rua de Valdeorras menciona a un *gigurrus calubrigensis,* miembro de la guardia pretoriana y reenganchado después de su licencia *(evocatus Augusti),* que ejerció cargos relacionados con la gestión y la administración militar como *cornicularius tribuni* y como *curator fisci* (*CIL* II 2610; IRG IV 115). Esta inscripción, fechada entre el 100 y el 150 d. C. es una de las pruebas de la entrada de astures en el ejército de Roma (Orejas *et al.* 2020). A partir del 196 d. C. se data la lápida votiva a Atiliaeco por un militar en El Barco de Valdeorras (HEp 3 1993, 272 = HEp 7 1997, 490). Estos son los militares más cercanos a las explotaciones de Las Médulas de los que hay pruebas epigráficas.

Un conjunto excepcional de inscripciones es el de Villalís, Luyego y Priaranza de la Valduerna, datadas entre los gobiernos de Marco Aurelio y Cómodo, entre el 163 y el 191 d. C. (*CIL* II 2554 = IRPL 34; ERPL 72; *CIL* II 2552; *CIL* II 2553; *CIL* II 2556; *CIL* II 2554), que mencionan a *procuratores* y unidades militares justo en el inicio de la importante zona minera de la Valduerna y las laderas del Teleno. Se han puesto en relación con la sublevación de Cornelius Priscianus, gobernador de la Citerior, juzgado en Roma en el 145 tras el fracaso de la misma: las dedicatorias *pro salute* serían una demostración de la lealtad de los destacamentos militares de la región a los poderes victoriosos tras la revuelta (Zubiaurre y Beltrán 2017). De cualquier manera, la presencia de los representantes del Estado en la epigrafía, atestiguada desde los inicios del Imperio, se fue intensificando a lo largo del siglo II d. C., en paralelo a la tendencia a dotar de entidad administrativa propia a la región, como muestra la figura del *legatus iuridicus Asturiae et Callaecia* que aparece en la epigrafía en época de Adriano (Olmo 2018; Orejas y Zubiaurre 2021).

Siguiendo las prácticas habituales, hay que pensar que los soldados de Roma participaron en la implantación de infraestructuras tras la dominación: campamentos, vías, puentes o núcleos urbanos, como Asturica Augusta. Ya en época flavia, el trazado de la *via nova* puede relacionarse con el establecimiento militar de *Aquis Querquernis*. Tal vez la construcción de los primeros canales mineros contó con la participación de soldados, como sabemos se hizo en otras obras. En una época augustea bastante temprana, inmediatamente posterior al final de la ocupación romana del noroeste peninsular, es bastante probable la participación de la *legio IIII Macedonica* en una importante obra pública hidráulica como es la construcción del acueducto de Los Bañales (Uncastillo, Zaragoza) (Andreu 2011, 35-37; Jordán 2011, 326-330). Otro ejemplo es el trazado viario de Las Puertas de Hierro del Danubio, entre las actuales Rumanía y Serbia. Se talló una calzada

en la roca, iniciándose los trabajos bajo el gobierno de Tiberio. Varias inscripciones indican la participación de diversas unidades militares bajo Tiberio, Claudio y Domiciano, siendo la obra rematada bajo el gobierno de Trajano. Las legiones mencionadas bajo Tiberio y Claudio son la *legio III Scythica* y una *legio Macedonica*, sin numeral (Boskovic 1978; Golvin y Coulon 1921, 69; Coralini 1997, 312 y ss.). Se trataba de un trabajo a cota, en el que debieron de participar *libratores* y *lapidarii* (estos últimos, atestiguados también epigráficamente), que se parece bastante al trazado de los canales del Noroeste (los de Las Médulas entre ellos), y que, además, se emprendió casi contemporáneamente.

Lo que es descartable es que estos soldados trabajaran directamente como mineros. Estos eran *munera* especialmente indignos para los soldados y los casos equivalentes documentados en el Imperio son anecdóticos (Le Roux 1973; Golvin y Coulon 2021, 78). Como se verá más adelante, la mano de obra se suministró por otros medios.

11.3.2. El contexto político, administrativo y jurídico de la gestión del agua en las minas

Como se ha explicado en el anterior apartado, los sistemas hidráulicos mineros eran infraestructuras integradas en el sistema fiscal y, además, como conducciones de agua, los canales entran en el campo del *aquam ducere*. Ambas son cuestiones de gran relevancia en el derecho y la administración romanos, con repercusión en el ámbito jurídico hasta la actualidad.

Algunas de las normas, leyes y disposiciones del derecho romano muestran un interés por proteger los bienes naturales para garantizar la *salubritas* y facilitar su aprovechamiento económico. Algunos autores consideran que esto permitiría hablar en un sentido amplio de «derecho medioambiental» (Ruiz-Pino 2017), si bien hay que tener en cuenta que más bien «si trattava insomma di difendere una natura, non "naturale" e spontanea, ma ormai irrimediabilmente addomesticata e manipolata per salvaguardarne la sua utilità pratica ai fini stessi della vita umana» (Capogrossi 2014, 56), es decir, de aquellos elementos relacionados con la explotación agropecuaria del territorio y las formas de asentamiento urbano y rural. Sería, por lo tanto, un *ambientalismo práctico*. El caso es que están documentadas disposiciones que, por ejemplo, regulaban en determinadas ocasiones las emisiones de humos, la limpieza de los espacios públicos y, por supuesto, todo lo referido al agua, tanto en lo que afectaba al abastecimiento de poblaciones, como a la evacuación de residuos. Y esto se acompañaba con una normativa clara sobre los procedimientos de construcción, conservación y limpieza de las correspondientes infraestructuras, distinguiendo entre lo público y lo privado y haciendo frente a los conflictos que surgieron al respecto.

Se incluyen entre estos bienes públicos, en cuanto a su acceso y uso, los ríos y sus orillas, los lagos *(res publicae in publico uso),* el mar y sus orillas y el aire *(res communes omnium)*. Lo más destacable es la tendencia a que el agua, y principalmente las surgencias *(caput aquae)* fueran un bien público u objeto de *ius in re aliena* o servidumbre, como forma de garantizar la accesibilidad a un recurso crítico y la continuidad de la producción agraria y la salud pública (Capogrossi 2014). Los ríos, por ejemplo, cuando eran públicos, estaban protegidos contra cualquier acción que pudiera modificar el caudal o las orillas, alterar el cauce, etc. Con ello se pretendía favorecer la accesibilidad al agua para la navegación y también para la pesca o la ganadería. Esto suponía restricciones a la propiedad de los *fundi* (parcelas) ribereños (Domínguez Tristán 2013), o bien la consideración de que las orillas eran propiedad pública. A partir de Augusto, que se mostró muy preocupado en general por el urbanismo de la capital, se fue especializando el servicio de control del suministro de agua a Roma, con *curatores* específicos, siguiendo la estela marcada por Agripa, que fue el primer encargado de poner en orden la gestión de acueductos, fuentes y demás servicios hidráulicos. Los principales hitos de este proceso los recoge Frontino en su *De aquaeductu urbis Romae,* un texto indispensable, si bien hay que manejarlo teniendo en cuenta las peculiaridades de la gestión de la ciudad de Roma. El objetivo general

era garantizar el suministro de agua a la ciudad. Dos preocupaciones resultaban esenciales para las autoridades: por una parte, mantener las infraestructuras e impedir su deterioro y, por otra, controlar las concesiones e impedir robos de agua.

En general toda la gestión del agua y de los acueductos estaba teñida de una ideología humanista y civilizadora que proclamaba la grandeza de Roma. Como dice Paniagua (2016, 11), para la conciencia romana era fundamental la propia naturaleza del acueducto en cuanto fruto de la publica *magnificentia* y su construcción al servicio de la *utilitas* cívica. Esta dimensión «ética» del acueducto como edificación pública cuya *raison d'être* es el servicio a la comunidad constituye una característica tan distintiva como su propia configuración formal.

Plinio considera los acueductos una maravilla superior a las demás (*HN,* XXXVI 121-123: «... fatebitur nil magis mirandum fuisse in toto orbe terrarum»)[6] y Frontino destaca su utilidad como un bien superior, frente a las grandes creaciones inútiles de egipcios y griegos (*De aq*. XVI, 1: «Tot aquarum tam multis necessariis molibus pyramidas videlicet otiosas compares aut cetera inertia sed fama celebrata opera Graecorum»).[7] El reverso de la moneda es, claro está, la necesidad de garantizar agua para la agricultura y el resto de las actividades que sustentaban la economía del Imperio.

Toda la documentación existente sobre las conducciones de agua y la administración de las mismas es útil para entender la construcción y gestión del sistema de canalizaciones mineras del noroeste hispano y su imbricación con las *civitates* locales, pero existe una diferencia fundamental. Al entrar los canales mineros en el ámbito del *ductus aquam* y siendo «semejantes a obras de Gigantes», como indicaba Plinio (*HN,* XXXIII 70), se situaban necesariamente al margen de la ideología de la *utilitas* pública, que hizo de los acueductos romanos el símbolo por excelencia de la civilización de Roma. Es más, la actividad minera tiene un marcado carácter ambivalente en las fuentes antiguas, sobre todo en aquellas más vinculadas al estoicismo, como la de Plinio: se trataba de una actividad antinatural, propia de la *avaritia* (ver apartado 9.1). Los Gigantes, nacidos de la tierra, eran una imagen del mundo bárbaro y se identificaban con los sometidos, por tratarse de la raza vencida por Júpiter en su primera época; la obra de Gigantes se ubica obviamente en el mundo provincial en un contexto de sumisión y explotación (Orejas y Plácido 2000, 21; Orejas 2004). Los canales mineros no tenían que ver con el suministro de agua a la población o a los campos y se orientaban hacia una actividad extractiva específica, ideológicamente denostada y llevada a cabo en beneficio del Estado. Tal vez por esta razón se recurría a términos, como *corrugi* o *canales* (y no *aquaeductus*), que quedan fuera del vocabulario habitual del *aquam ducere*.

Volviendo al punto de partida, conviene aclarar qué implica el hecho de que las infraestructuras mineras fuesen *res fiscales*. El *fiscus,* palabra que originalmente se refiere al término 'caja' o 'cesta' como contenedor del dinero, se convirtió con la consolidación del Principado en una parte especialmente relevante de la administración, bajo el control del emperador a través de cargos específicos (sobre todo procuradores) o de libertos imperiales, que actuaban tanto en Roma como en las provincias. A la cabeza se encontraba el *procurator a rationibus* (Kłodziński 2024). Los principales recursos del Estado, en particular el *ager publicus* (el suelo de propiedad estatal) fueron gestionados por el fisco, que enseguida incluyó también la propiedad privada, familiar (el *patrimonium*) del César, de manera que fisco y patrimonio se confundieron muy pronto (Jones 1950; Millar 1963; Nicolet 1988; Brunt 1990; Duncan-Jones 1994).

El *fiscus* acabó actuando como un auténtico sujeto jurídico, como un propietario, generando una situación ambigua, en la que se mezclaban lo público y lo privado. De ahí que se puedan distinguir cosas que eran de propiedad pública, pero al margen del uso público, y otras que eran de propiedad y uso

6 «... se reconocerá que nada hubiese sido más admirable en todo el mundo».

7 «Con estas grandes [estructuras] tan numerosas e indispensables, por las que circulan tantas aguas, ise va a comparar las ociosas pirámides u otras obras inútiles, aunque renombradas, de los griegos!».

públicos. Las primeras se vinculaban al emperador como soberano: las propiedades imperiales y los bienes del Estado gestionados en beneficio exclusivo de la administración imperial; las segundas, al *populus*. Este crecimiento del fisco como herramienta de gestión financiera de bienes públicos por parte del emperador hizo que el término *publicus*, referido genéricamente al pueblo romano, acabase conviviendo con *fiscalis* a la hora de calificar los bienes del Estado. Esta es la principal diferencia del *aquam ducere* que afecta a los canales mineros respecto a otro tipo de acueductos y conducciones de agua en general: los acueductos eran construcciones realizadas en beneficio público y los canales mineros en beneficio del fisco imperial.

Los canales y depósitos mineros eran, pues, infraestructuras imperiales gestionadas por el fisco. Esto tenía implicaciones importantes: la propiedad directa del agua que circulaba por ellos, del suelo en el que se trazaban (posiblemente con una zona de uso restringido a ambos lados) y de los elementos construidos o excavados. A esto habría que añadir el *caput aquae,* ya fuera una surgencia, ya fuera un arroyo o río, que entraría en el campo de la fiscalidad total o parcialmente. La apropiación por parte del fisco de corrientes naturales queda también evidenciada en los distintos «montefurados» que se documentan en el Noroeste y Lusitania, empleados para desviar (completamente o no) un curso fluvial, facilitando así el bateo de los placeres (Sánchez-Palencia *et al.* 2023). El río Coura fue desviado por la construcción de un túnel, el Couço de Monte Furado (Covas, Vila Nova da Cerveira); el Sil mediante el túnel de Montefurado, en Quiroga (Lugo) (fig. 391) y en un meandro del Navia se seccionó el istmo (Pena Tallada, entre Navia de Suarna, Lugo, e Ibias, Asturias). Respondería esto a facilitar la primera forma de extraer oro que indica Plinio, el *aurum fluminum ramentis* (*HN,* XXXIII 66) (ver apartado 11.1.1).

En realidad, el carácter fiscal de la red hidráulica es coherente con el carácter igualmente fiscal del conjunto de la explotación minera. Pero la viabilidad de su explotación dependía de otra pieza esencial, las *civitates* locales y sus habitantes.



Figura 391. Montefurado en el curso del Sil (Quiroga, Lugo).

11.3.3. Las *civitates* locales y la red hidráulica: aspectos territoriales

La implantación de *civitates* supuso insertar a las comunidades indígenas en marcos organizativos romanos: la *civitas* se convirtió en la unidad administrativa de referencia, agrupando a *peregrini* (libres, no ciudadanos sometidos al Imperio), determinando unos límites geográficos y estableciendo las cargas tributarias. Sus denominaciones son indígenas y normalmente expresadas con el nombre de la comunidad (en genitivo plural), como se ha visto más arriba: la *civitas* de los guigurros o la de los susarros. De acuerdo con las condiciones del suelo que se manejaban en los textos de agrimensura coetáneos, la ordenación de estas *civitates* responde al *ager mensura conprehensus,* tal y como lo expresa Frontino en *De agrorum qualitate:* «El suelo definido por su perímetro es aquel cuya superficie total es asignada a una *civitas,* como ocurre en Lusitania con los salmanticenses y en Hispania Citerior con los palantinos, y en numerosas provincias el suelo tributario es delimitado en su totalidad para cada pueblo».[8]

La *civitas* sustituyó al castro como unidad de referencia en el poblamiento. Un poblamiento que era básicamente rural y con un patrón disperso, en el que

8 «Ager est mensura conprehensus, cuius modus universus civitati est adsignatus, sicut in Lusitania Salmanticensibus aut Hispania citeriore Palantinis et in conpluribus provinciis tributarium solum per universitatem populis est definitum», Th., 1-2.

se detectan crecientes desigualdades entre poblados y en el seno de las comunidades de indígenas peregrinos. Como refleja el pasaje de Plinio (*HN,* XXXIII 4, 28), eran la base del censo y del catastro, algo coherente con su carácter tributario (Orejas y Sastre 1999 y 2020; Orejas *et al*. 2023; Orejas y Villa 2024).

En buena parte del Noroeste estas *civitates* convivieron con un número creciente de labores mineras a partir de las primeras décadas del siglo I d. C. Esta coexistencia debió de empezar antes, con las primeras prospecciones y evaluaciones de la riqueza y potencialidad de los yacimientos auríferos. Por una parte, compartieron el mismo espacio y posiblemente esto hizo que los perímetros de las *civitates* fuesen cambiantes o que dentro de su territorio se abriesen minas. Como se ha resumido al comienzo de este capítulo (apartado 11.1), el caso de Las Médulas muestra claramente la evolución espacial de las labores, con las consecuentes ampliaciones de la red hidráulica y el avance de las superficies ocupadas por los estériles. En otras zonas, como las cercanas Valduerna y Valderia, se aprecia el carácter remontante de las labores, a partir de la evidencia de yacimientos secundarios, que expandieron los trabajos en ambas márgenes de los ríos y colonizaron las laderas de ambas vertientes del Teleno.

Las *civitates* se definieron y pusieron en marcha como un mecanismo de gestión indirecta del suelo provincial. Hasta hace relativamente poco, y a partir de los trabajos clásicos de Th. Mommsen, se ha considerado que Roma asumía el control territorial de las regiones conquistadas a partir de la noción de *ager publicus:* el suelo conquistado pasaba a ser propiedad del pueblo romano. Como se ha argumentado hace tiempo (Orejas y Sastre 1999, con la bibliografía correspondiente), esta visión es incompleta: el suelo pasaba a ser propiedad pública por derecho de conquista, pero dejaba de serlo cuando Roma devolvía *(reddere)* a las poblaciones sometidas sus tierras, su libertad y reconocía su autonomía local, a cambio de la imposición tributaria. Se configuraron así las *civitates* denominadas *peregrinas* por el estatuto de sus habitantes. Esto implicaba que se administraban internamente de acuerdo con sus propias normas y mecanismos de gestión local, diferentes de los que se aplicaban a los ciudadanos romanos *(ius civile).* En unos casos esto suponía el reconocimiento de entidades políticas preexistentes y, en otros, una reconfiguración total del paisaje local, para adaptar estas realidades a las exigencias de la dominación y la tributación.

A partir de Augusto quedó claramente separada Italia de las provincias y el territorio de estas se configuró explícitamente como *ager provincialis,* no como *ager publicus,* categoría que, como se ha dicho anteriormente, se aplicaba a los bienes propiedad del Estado. Precisamente fue en este periodo cuando estas *civitates* tomaron forma, como prueba el Edicto de El Bierzo. Antes de que se pusiesen en marcha los trabajos mineros, Roma había establecido las bases para garantizar el gobierno de las poblaciones y la definición de las unidades fiscales. La puesta en marcha sistemática de las labores mineras se produjo unas décadas después, ya que las fechas más tempranas de poblados vinculado a las minas llevan al 15-20 d. C., a las que se suman ahora las dataciones obtenidas en la propia red hidráulica. Previamente, y en paralelo a la organización administrativa de las comunidades locales, se debieron de llevar a cabo prospecciones y las primeras intervenciones directas relacionadas con las infraestructuras mineras (Sánchez-Palencia *et al.* 2017). Esto obliga a reflexionar sobre cómo se explicitaba el régimen jurídico de las minas (que sin duda eran *res fiscales* sobre *ager publicus*) en relación con los territorios de las comunidades peregrinas, teniendo en cuenta que Roma va abriendo explotaciones conforme va progresando en su conocimiento del territorio y que este no podía ser completo en el momento de la puesta en marcha del sistema administrativo.

Recientemente A. Rodríguez Fernández (2019) ha discutido tres opciones para conceptualizar este proceso. La primera opción, y menos probable, es que Roma fuera confiscando el suelo de las comunidades locales a cambio de una compensación. La segunda sigue la teoría clásica de Negri (1985) sobre la propiedad del subsuelo. Según este planteamiento, es posible que el emperador se reservara la propiedad de las potenciales minas cuando se procedió

a definir los territorios peregrinos, así como el derecho de prospección y explotación de las mismas. De este modo, la propiedad se adquiría de facto en el momento en que procuradores y militares pusieran en marcha la explotación minera, quedando individualizados los yacimientos, que pasarían a ser *res fiscales* (Sastre 2012; Rodríguez 2019, 354). La tercera opción tiene en cuenta un tipo particular de suelo al que aluden los agrimensores: el *ager arcifinius*. Se trataba del suelo que quedaba sin medición gromática y, por lo tanto, era distinto tanto del *ager divisus et adsignatus* (que se parcelaba y asignaba a ciudadanos de determinadas comunidades, como las colonias), como del *ager per extremitatem mensura conprehensus,* el suelo medido por su perímetro, que es el que se propone para las comunidades peregrinas de las regiones que ahora nos ocupan. La medición o no del suelo tenía mucho que ver con su aptitud para la explotación agraria: era *ager arcifinius* el que por su carácter rocoso o montañoso no resultaba adecuado para ser dividido y asignado. Era también la franja de terreno que quedaba entre las parcelas. Sobre este suelo que queda sin asignar Roma se reservaba el *ius subsecivorum,* el derecho a reclamar su propiedad (Rodríguez 2019, 356).

De cualquiera de estas dos últimas maneras, bien por el derecho sobre el subsuelo, bien por un control directo sobre zonas ajenas a las *civitates* (entre las que cabría destacar los posibles límites entre ellas, que frecuentemente eran zonas de montaña), Roma garantizaba no solo por su poder político, sino también con un respaldo jurídico el control de las futuras zonas mineras.

Es de suponer que los canales atravesaron territorios de *civitates* peregrinas, de manera que serían franjas de suelo público diferenciado del suelo peregrino de las comunidades locales. Inicialmente, estas tierras podrían ser suelo público local (de las *civitates*, no de Roma) o bien propiedades particulares. Lo cierto es que los canales discurren principalmente por áreas escarpadas, y en algunos casos a bastante altura, en principio poco aptas para el cultivo, aunque sí para otras actividades, como las ganaderas o las silvícolas, que deberían respetar las infraestructuras y tendrían vetado o, al menos, escrupulosamente regulado, el acceso al agua. Efectivamente, al margen del uso minero, solo hay algunos casos en los que esa agua ha cumplido otras funciones. El más claro es el caso de los denominados «castros mineros» (Currás *et al.* 2026), en los que se recurrió a la energía hidráulica para delimitar los asentamientos por medio de fosos o, como en el caso de La Corona de Quintanilla, alimentar un depósito en uno de los extremos del mismo núcleo. Se trata de poblados insertos en sectores mineros y orientados a su explotación, por lo que el uso del agua se hacía en el mismo contexto minero, sin generar conflicto jurídico o de propiedad. Otro caso plantea más dudas: junto al asentamiento de La Fuente de la Mora y a las minas de El Cabaco (Salamanca) se han documentado terrazas de cultivo romanas, posiblemente para regadío, en un punto en el que la propia red hidráulica minera pudo usarse con fines agrícolas (Sánchez-Palencia 2014b, 174). Dentro del carácter no sectorial de la explotación del territorio, la convivencia entre usos agrarios y usos mineros es evidente y tal vez el acceso al agua estaba permitido y regulado por la administración imperial, en función de las épocas del año, de las exigencias del trabajo minero, etc. No podemos afirmar ni una cosa ni su contraria, pero sí suponer un control estricto del agua para garantizar los procesos de explotación minera, al tiempo que se intentaría no impedir, o incluso favorecer como atestiguan las evidencias arqueológicas, otros usos en beneficio de las poblaciones que tenían que trabajar o mantener las minas.

En general, el control del acceso al agua por parte de privados está bien documentado para el caso de los acueductos urbanos y para usos agrarios. Se hacía por concesión o por arrendamiento, y en muchas ocasiones podía considerarse un privilegio. *Curatores* y *ediles* controlaban que no se derivara agua fraudulentamente y que no se deteriorasen las estructuras, poniendo en peligro la llegada de suficiente caudal a zona urbana o a las parcelas correspondientes. Hay documentos que indican que todo esto se regulaba cuidadosamente, como algunos fragmentos de *forma urbis* (del Aventino, *CIL* VI 1261, y de Tívoli, *CIL* XIV 3676; Willi 2012). La inscripción de *Lamasba* (Numi-

dia) recoge medidas adoptadas *ex decreto oridinis et colonorum* para regular los turnos de acceso al agua para regar los campos (según tamaño de las parcelas), explicitando las fechas y la duración del turno (*CIL* VIII 4440; Shaw 1982; Meuret 1996; Debidour 2009). Las leyes municipales de Urso y de Irni permiten atisbar un modelo semejante al de Roma, con aspectos como el carácter público del agua destinada al *oppidum (aqua publica),* que la conducción del agua se debía permitir por los campos que decretasen los magistrados, el posible uso privado *(in privatum)* del agua sobrante *(aqua caduca)* para irrigación, pero con condiciones, o el mantenimiento de las canalizaciones, básico para el normal funcionamiento de la ciudad y su territorio, siendo su deterioro o el robo de agua sancionables (*lex Ursonensis* V, col. 23-24, VII, col. 31-32; *lex Irnitana* cap. 82). Por su parte, la *lex rivi Hiberiensis* (Beltrán 2006 y 2011) ilustra la autogestión de las infraestructuras hidráulicas por parte de una comunidad de regantes, con la división del agua según la cantidad de tierra y la responsabilidad de cada propietario ante esta comunidad rural. Como indican este y otros documentos relacionados con el regadío, estas cuestiones se dirimían a escala local, y se recurría a instancias superiores en situaciones conflictivas.

La lectura de estas fuentes permite vislumbrar que detrás de la ideología de la *utilitas publica* había un acceso desigual a los recursos hídricos. En relación con las minas hubo un enfrentamiento bien documentado, que Estrabón recoge (Str. IV, 7). Los *salassi,* población que se ubicaba en el actual Val d'Aosta en el norte de Italia, poseían el valle y parte de las montañas circundantes y explotaban las minas de oro antes del 140 a. C. El río Dorea les proporcionaba el agua necesaria para la obtención del metal, derivando su caudal mediante numerosas trincheras en diferentes puntos. Estos trabajos resultaban perjudiciales para los agricultores del llano, porque les privaban del agua para regar sus campos. Esto dio lugar a frecuentes conflictos. Un segundo momento se inicia después del 140 a. C., con la apropiación de las minas por parte de Roma tras la expedición de Appio Claudio Pulcro. Estrabón dice que cuando Roma los dominó, los *salassi* perdieron sus minas y su territorio, pero conservaron las montañas y continuaron vendiendo agua a los contratistas públicos de las minas de oro y cobrando por atravesar los pasos de montaña. El carácter fiscal de las infraestructuras mineras en el noroeste hispano ahorraba aquí a Roma este tipo de problemas. La historia de los *salassi* permite también ilustrar cómo se concretaba el carácter público de los cursos fluviales. De la información de Estrabón puede deducirse que estas comunidades se habían apropiado del Dorea gracias al control del curso alto del río, y lo destinaron a un uso minero, sin tener en cuenta los posibles derechos de acceso al agua de las comunidades del valle. Incluso tras la pérdida de las minas, los *salassi* siguieron haciendo un uso particular de esos bienes que tenían en la mentalidad romana una vocación pública: vendían el agua y cobraban por el uso de las vías. Este hecho sirvió para justificar la violenta intervención de Augusto y el duro final de esta comunidad, esclavizada y vendida en una gran parte, y sometida a la fundación colonial de Augusta Pretoria (Aosta).

11.3.4. Las *civitates* locales y la red hidráulica: trabajo y mano de obra

Además de estas cuestiones territoriales y su vertiente jurídica, hay otro aspecto fundamental, en el que se imbrican las poblaciones locales organizadas en *civitates* y la red de canales y depósitos que discurrían por sus territorios: su construcción y el mantenimiento y limpieza de las infraestructuras. Esto formaba parte del trabajo en las minas en su conjunto, que se ha abordado en otras ocasiones (Orejas 2017; Orejas *et al.* 2024). Las imposiciones fiscales sobre las *civitates* hacían posible canalizar hacia Roma los recursos locales que mayor interés revestían. En muchos casos se establecía en productos agrarios o se estimaban en moneda. Las comunidades del Noroeste tenían un recurso estratégico: la mano de obra necesaria para explotar para Roma el oro. Plinio se refiere a ellos como *operati* (*HN,* XXXIII 70) y Floro, en su resumen del final de las guerras de Augusto contra cántabros y astures, concluye diciendo que los astures, por lo tanto, trabajadores locales, «esforzándose

en las profundidades, descubrieron sus riquezas mientras las explotaban para otros».[9] El trabajo tributario ha formado históricamente parte de los sistemas fiscales, como las contribuciones en especie o dinerarias, directas (por persona, por tierras, por otro tipo de bienes) o indirectas. Los términos *munera* y *opera* en latín, o el de corveas, hacen referencia a ello, a veces para satisfacer demandas a escala local, a veces impuestas por poderes estatales. Este sería el caso de las comunidades del noroeste hispano y, así, las *civitates* resultarían esenciales para asegurar la viabilidad de la explotación de los *metalla*.

De esta manera, Roma hizo rentable una explotación que, en términos económicos, no lo era. Salvo algunos yacimientos concretos, accesibles y con leyes altas, la mayor parte de las minas beneficiadas por Roma tenían, en términos absolutos, una escasa productividad. El fisco imperial recurría así a dos piezas que tenía bajo su control: los *metalla publica* y la imposición tributaria sobre las comunidades sometidas al Imperio. Ello permitía al mismo fisco contar de manera regular con la materia prima para la acuñación de la prestigiosa moneda de oro.

Además de la construcción, el cuidado de los sistemas hidráulicos era esencial y para entenderlo es necesario echar un vistazo general a los mecanismos conforme a los cuales la administración gestionaba estas cuestiones en relación con los bienes públicos. A la información existente sobre los acueductos se puede unir la disponible sobre las vías públicas, porque comparten algunos principios semejantes. En ambos casos se puede identificar una gestión directa, bien con personal adscrito o contratado por la administración, bien con arrendamiento de los servicios; también el trabajo podía efectuarse a través de la obligación de los ciudadanos en general, o propietarios colindantes en particular, de hacerse cargo de determinadas tareas. Se suele dar por supuesto que estas obligaciones de los particulares eran propias de momentos antiguos de la organización de la *res-publica* y que progresivamente se fue imponiendo la gestión directa o el arrendamiento por medio de *locatio-conductio*. Pero, como se verá, la carga sobre los ciudadanos locales de determinadas obligaciones públicas estuvo muy presente durante todo el Alto Imperio.

Según Frontino, con anterioridad a su mandato como *curator aquarum* de Roma (con Nerva, en el 95 d. C.), el mantenimiento de acueductos implicaba el arriendo a *redemptores*. Estos debían contar con un número mínimo de esclavos para hacer el trabajo tanto en la ciudad como *extra urbem* (*De aq*. II, 100). Pero en la época de la curatela de Frontino, existían en Roma dos *familiae*, o grupos de esclavos estatales, empleados exclusivamente en la *tutela ductum* (*De aq*. II, 96 y ss.). La *familia publica* tenía su origen en la donación al Estado de los esclavos especialistas en hidráulica empleados por Agripa cuando fue *curator aquarum* y era mantenida por el erario, es decir, por el tesoro republicano tradicional dependiente del Senado. Posteriormente, Claudio creó una *familia Caesaris* que dependía del fisco, como también todos los gastos relacionados con el mantenimiento. Toda la gestión del agua era controlada directamente por el Príncipe, que es de quién dependían las concesiones de agua y la gestión del correspondiente *vectigal* (pago por el uso del bien público). Estas *familiae* de esclavos estaban compuestas por diversos tipos de trabajadores: *vilici* (vigilancia del agua en la ciudad y en el campo), *castellarii* (mantenimiento de los depósitos), *circitores* (inspectores), *silicarii* (pavimentadores), *tectores* (enfoscadores o estucadores), etc.

En el tratado de Frontino se describen también las obligaciones de los propietarios de las tierras colindantes a los acueductos: dejar una franja libre de árboles y edificaciones, suministrar materias primas para las obras de mantenimiento (con compensación económica) y permitir el paso a los operarios cuando fuera necesario. En la administración local se documenta también la intervención de las autoridades en las concesiones y normas parecidas para la conservación de los acueductos e infraestructuras hidráulicas. En Venafrum, una ciudad de Italia de la que se conserva una inscripción augustea relacionada con la

9 «Sic astures nitentes in profundum opes suas atque divitias, dum aliis quaerunt, nosse coeperun» (Flor., II 33, 46, 60).

construcción de un acueducto (*CIL* X 4842), el mantenimiento, reparación y limpieza de las infraestructuras posiblemente era también encomienda municipal con trabajadores públicos (Rodríguez Neila 1988) y se regulaba la obligación de facilitar el acceso por las fincas privadas.

En las leyes municipales conservadas en Hispania —la *lex Ursonensis* (que puede retrotraerse en gran medida a las normativas coloniales de César) y la *lex Irnitana* (de época flavia)— se regulaba también la *munitio,* la contribución de los ciudadanos locales al mantenimiento de obras públicas, incluyendo el número de días de trabajo al año, de personas y de animales de tiro, que debía aportar para el trabajo comunitario cada ciudadano o habitante del territorio de la ciudad; quiénes estaban exentos (por edad); cómo debía votarse el decreto decurional que ponía en marcha la *munitio;* la supervisión de los trabajos por los magistrados locales y la aplicación de sanciones para los incumplidores (*lex Urs*. 92 y *lex Irn.* 83; Martínez de Morentin 2016).

Las vías eran *res publicae in uso publico,* que en ocasiones tuvieron un régimen administrativo semejante al de los acueductos. En este caso está claramente documentada la obligación de los propietarios colindantes de velar por la conservación de las infraestructuras, bien encargándose de los trabajos, o bien a través del pago de un *vectigal*. El libro de Papiniano sobre las obligaciones de los ediles, *De officio aedilium,* indica que estos debían velar para que se cumpliese la obligación de los propietarios colindantes de ocuparse de la vía pública que pasase enfrente de su casa y limpiar los acueductos que estuviese al descubierto (D. 43.10.1.3). Es posible que el mantenimiento o limpieza de un acueducto implicara una labor de supervisión global que no era fácil de parcelar entre los distintos propietarios de su recorrido. Pero la colaboración de *privati* en el mantenimiento de infraestructuras parece algo frecuente y paralelo al empleo de trabajadores públicos. La *lex Iulia municipalis* insiste también en la obligación de los propietarios de ocuparse del mantenimiento de las vías públicas: «la conservación de las calles en la Roma imperial aparece como una carga particular de la propiedad edificada» (Ponte 2010, 115). Como indica Capogrossi (1969, 45-7), las vías públicas se construían también por el Estado, generalmente mediante concesión de las obras a *curatores* o *redemptores,* pero los gastos recaían sobre los propietarios de las parcelas colindantes (Sic. Flac. Th. 109-110) y tal vez de otros que también se beneficiaban del nuevo trazado. En el caso de las vías vecinales, se sabe que los magistrados de *vici* y *pagi* o bien exigían *operae* a los *possessores* o bien asignaban a cada uno una parte del trazado *(spatiae certae),* de cuyo mantenimiento eran responsables con sus propios recursos.

En época tardía se documenta explícitamente ya la obligación por parte de los propietarios colindantes de ocuparse de la limpieza y el mantenimiento de los acueductos que atravesaban sus tierras a cambio de una cierta rebaja en la presión fiscal (Bruun 2012). Según Bruun, esta obligación era síntoma de la descarga de las obligaciones oficiales en los hombros de los ciudadanos. Pero la necesidad de mantener adecuadamente limpios las parcelas o edificios colindantes favoreció una participación activa de los propietarios en la conservación.

Estos sistemas mixtos de gestión de las infraestructuras pueden suponerse también para el caso de los canales mineros. Ya se ha indicado que es muy posible la intervención de soldados en el trazado y construcción de los canales y no es descartable que hubiera especialistas en hidráulica en el seno del ejército. También se puede suponer la existencia de una familia de obreros hidráulicos especializados a cargo de la *officina metallorum*, pero al mismo tiempo, resulta necesario considerar que la aportación fundamental de mano de obra implicaba la participación activa de las *civitates* locales por las que discurrían los canales. Al igual que para el mantenimiento de vías y calzadas públicas se recurría a la gestión local, lo mismo cabe pensar para la red hidráulica. La diferencia es que en el primer caso se trataba de obras públicas al servicio de la comunidad, y en el segundo era una imposición que no beneficiaba a los locales. El mecanismo era una tributación en forma de *operae* (jornadas de trabajo) incardinada en la noción de *munitio* o *munera* (obligaciones hacia

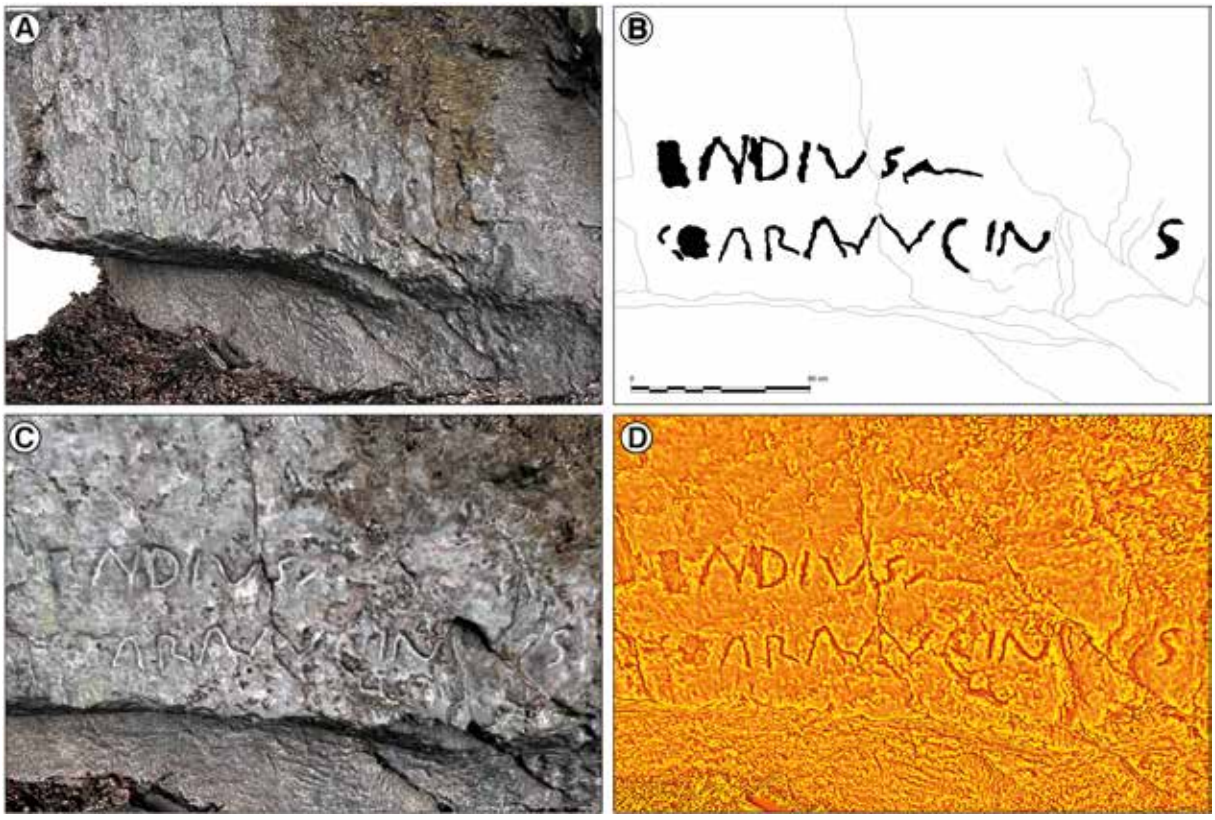


Figura 392. Inscripción en el canal C1 a su paso por el valle de Valdefrola, en Castroquilame (Puente de Domingo Flórez), cerca del límite con Pombriego. A) Situación. B) Calco. C) Detalle y D) Imagen tratada.

la comunidad que tienen todos sus ciudadanos). La propia conformación del sistema de *civitates* se basó en esta cuestión, de ahí que el Edicto de El Bierzo recogiese un par de disposiciones de Augusto relacionadas con el privilegio de la inmunidad fiscal y el reparto de la tributación, aludiendo al cambio de *civitas* de los *aliobrigiaecini* con la frase «omni munere fungi iubeo cum susarris» («ordeno que cumplan con sus obligaciones con los susarros»). En último término, una *civitas* era una agrupación poblacional que tributaba conjuntamente. Y entre las obligaciones se contaba el trabajo en las minas y el mantenimiento y limpieza de las infraestructuras públicas.

La participación de trabajadores locales en la vigilancia y mantenimiento de los canales queda reflejada arqueológicamente en la construcción de asentamientos distribuidos en función del trazado de los canales (ver apartado 11.2.4). Se trata de pequeños poblados, con frecuencia ubicados en puntos de difícil acceso y que en ocasiones podían ocuparse solo estacionalmente. Esta relación ya se propuso al detectar su distribución a intervalos en el trazado de la red hidráulica meridional de Las Médulas, en La Cabrera (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia 1988, 219-221).

Las inscripciones encontradas en el recorrido de algunos canales (ver anexo III) podrían ponerse en relación con estas contribuciones locales a la limpieza y mantenimiento de las infraestructuras, y como tales las hemos interpretado en otras ocasiones (Sastre y Sánchez-Palencia 2002, 229-230).

Pero, al tratarse de unas inscripciones escritas directamente sobre la roca de pizarra con un *ductus* poco ortodoxo, su adecuada lectura no es fácil y deja abierta la vía a otras interpretaciones. Lo que ponen de manifiesto, sin duda, es el carácter indígena de los nombres que en ellas se recogen, lo que lleva a supo-



Figura 393. Zona del canal C18 de laderas pendientes donde se encuentran las inscripciones (anexo III, n.os 1 y 2).

ner una presencia de locales. Recientemente estas inscripciones se han vuelto a localizar y documentar (Matías 2008; Rodríguez y Ferrer 2010) y esto ha dado pie a nuevas interpretaciones y lecturas, reconociendo los autores que para ello han empleado «cierta audacia y algo de imaginación» (Rodríguez y Ferrer 2010, 228).

En el canal C1 (Castroquilame, Puente de Domingo Flórez), sin duda uno de los más antiguos en la secuencia relativa, se encuentra una de las inscripciones (anexo III, n.º 5 y fig. 392), en el lugar de Valdefrola, a poco más de tres kilómetros del castro de Santa Cruz (n.º 105016 en la tabla 65). Si, como parece plausible, es contemporánea del trazado, sería una de las inscripciones más antiguas de la región, incluso anterior a la generalización del hábito epigráfico, fenómeno que suele datarse a partir de mediados del siglo I d. C.

Las dos lecturas que se han propuesto son la de Gómez Moreno (1925-1926), recogida por Diego Santos (1986), *ENDIUS/CARANCINUS*, y la de Rodríguez y Ferrer, *Emˆaˆdius Carancin[i]us* (ver anexo III, n.º 5).

Las dos siguientes inscripciones se encuentran en el mismo canal, el C18, en Llamas de Cabrera (Benuza) (ver anexo III, n.os 1 y 2). Ambas se ubican a corta distancia la una de la otra, en un tramo del trazado que transcurre por laderas muy empinadas por lo que la construcción del canal implicó la realización de importantes cortes en la roca (figs. 393 y 395).

De una de ellas (anexo III, n.º 1 y fig. 394) se colocó *in situ* información, incluyendo una reproducción (ver apartado 6.2). La lectura tradicional de Gómez Moreno, recogida por Diego Santos es: *FLACI/ INTERCISO/ SEURORU/ [...]ITC/ SUSICUS*. Y la propuesta de Rodríguez y Ferrer es*: Placi(dio)/ Interciso/ Seur(r)roru(m)/ i(nstruendam) t(itulum) c(uravit)/ Susicus*.

La segunda inscripción del canal C18 (anexo III, n.º 2), fue también leída por Gómez Moreno y recogida por Diego Santos: *[...] ON/ SEVTR/ AM·E/ COPC/ IVXI V*. La lectura propuesta por Rodríguez y Ferrer es: *Con(so)/ M(arcus)? Eutr(opius)/ [ar]am e[x]/ [vo]to po[s](uit)/ iuxta*.

Dado el estado posiblemente fragmentario y la difícil lectura de los textos es prácticamente imposible deducir ninguna información clara de las mismas. A continuación, se abordan las interpretaciones que resultan viables, teniendo en cuenta estas graves limitaciones.

Como ya se ha indicado, si fuesen contemporáneas al trazado de los canales, se trataría de inscripciones muy tempranas. En términos generales, las inscripciones identificadas en rocas y ubicadas en puntos más o menos aislados en el paisaje suelen corresponder o bien a dedicatorias votivas, o bien a delimitaciones territoriales (Gatto y van Haeperen 2023). En el caso de los canales de Las Médulas, están situadas en lugares públicos, pero en principio poco accesibles y también poco visibles, salvo para quienes se ocuparon de su construcción y mantenimiento. Esto lleva a pensar que las inscripciones se relacionaban directamente con el canal, no solo como soporte, sino como una forma de expresión relacionada con su construcción, el trabajo invertido o el ámbito simbólico que lo envolvía. El tipo de letra, su trazado, así como la ausencia de cualquier demarcación o preparación del campo epigráfico, las alejan de otras inscripciones relacionadas con obras públicas en las

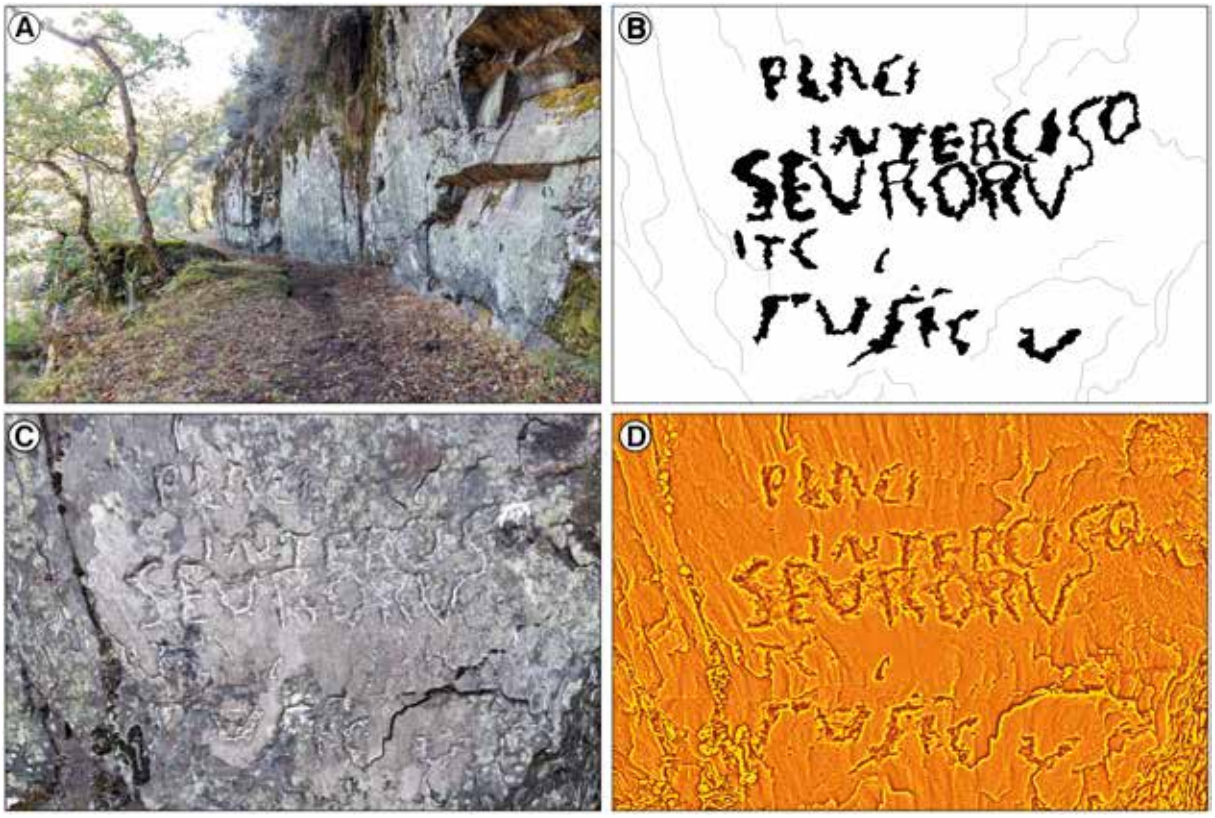


Figura 394. Inscripción en el canal C18 (anexo III, n.º 1) a su paso por el valle Airoso o Cheiroso, en Llamas de Cabrera (Benuza). A) Situación. B) Calco. C) Detalle y D) Imagen tratada.

que se evidencia el carácter oficial de las mismas. Ni su contexto físico ni el carácter ajeno al uso público ni el marco conceptual negativo de la minería dan pie, en principio, a pensar que pudieran aprovecharse los cortados para actos de propaganda. Por otra parte, la carga local e indígena es evidente. Sus lecturas, con todos los márgenes de incertidumbre comentados, recogen nombres indígenas *(Endius Carancinus, Seurorum, Susicus...),* que pudieron pertenecer a individuos o comunidades de origen local o de regiones vecinas *(¿seurri?)* o a gentes de otras áreas hispanas, tal vez relacionados con el ejército. El primer caso, permitiría hablar de una alfabetización temprana, tal vez relacionada con el contacto con ambientes militares que, como ya se ha argumentado, deben considerarse fundamentales en la puesta en marcha de la minería.

Carancinus puede ser un antropónimo. Solo está documentado en este caso, pero en Clunia apareció un epígrafe en una columna de mármol, de utilidad indeterminada, con el nombre *M(arcus) Aem/il(ius) Car/ancus*, datable en el siglo II d. C. (HEp. 14162 = ERClu 27 = HEp 2, 1990, 95 = AE 1988, 774 = CIRPBu 105). Hay otro caso, más cercano, en León: *[...]da Caranca / [- - -] uxs(or!) f(aciendum) c(uravit)* (IRPL 174). *Endius*, en caso de ser antropónimo, sería un hápax. Es frecuente *Pentius* en el ámbito astur. Se documenta también *Vendius*, como teónimo en Valdegeña (Soria): */ Vendiu / Val(eri) Flav(i) / v(otum) s(olvit) l(ibens) m(erito)* (ERPSoria 33). Pero los rasgos tan profundos de la inscripción y el tamaño de las letras parecen indicar que las líneas están completas. Si se tratara de un teónimo con epíteto, *Endius Carancinus,* obviamente también sería un hápax. Que sea una dedicación votiva podría ser también una salida interpretativa lógica dentro de lo que es habitual en inscripciones



Figura 395. Situación de la segunda inscripción en el canal C18 (anexo III, n.º 2), en la zona de valle Airoso o Lleiroso de Llamas de Cabrera (Benuza).

rupestres, aunque tendría más fuerza si estuviera en dativo y no en nominativo.

Rodríguez-Colmenero y Ferrer plantean la posibilidad de que al menos una de ellas sea votiva, a partir de una hipotética, e incluso forzada, lectura del nombre de la divinidad *Cosus* en la segunda inscripción del canal C18 (anexo III, n.º 2). Se trata de una propuesta indemostrable por el estado de conservación de la inscripción, pero la hipótesis de que alguna de las inscripciones tenga un carácter religioso no es descartable. Los canales tallados en la roca son un espacio en principio proclive a la epigrafía votiva, tanto en relación con el propio trabajo sobre la piedra como con la actividad minera.

El término *interciso* (de *intercido*), también en la segunda inscripción del canal C18, parece hacer referencia, como ya indicó Gómez Moreno (1925-1926), al corte o al perforado de la montaña. Existen numerosos epígrafes en diversos lugares del Imperio que se vinculan con obras públicas que han cortado u horadado montañas o colinas para construir o reparar infraestructuras hidráulicas o viarias y que incluyen términos con el mismo significado o derivados de ese mismo verbo. Posiblemente los paralelos más cercanos (en el uso del término) sean dos inscripciones con el mismo texto (*CIL* III, 199) talladas en la roca, con un campo epigráfico en forma de *tabula ansata,* localizadas en Suq Wadi Barada (Siria) y datables entre el 163 y 166 d. C. Están relacionadas con la reconstrucción de una vía, destrozada por la fuerza del río.[10] Seguramente la obra se hizo para mayor gloria del gobernador provincial Julio Vero, pero el gasto recayó sobre los *abileni,* una comunidad local.

El mismo término, *interciso* o *intercido,* u otros semánticamente similares, aparecen en otros casos relacionados con conducciones y embalses de agua (Kolb 2015). Por ejemplo, el «interciso aggere»[11] en la antigua *Cora* (actual Cori, Lacio, Italia) (*CIL* X 6526 = *ILS* 5772).

En otras ocasiones, tanto para canales como para vías, se utilizó el verbo *caedo* o *perforo*: *perforatis montibus* (*CIL* VI 1245, Roma), *montibus caesis* (*CIL* III 227, Gülek Bogazi, Cilicia, Turquía) *montem cecidit* (*CIL* III 6983, Bitinia y Ponto, Turquía), *montibus excisis* (*CIL* III 8267, en las famosas Puertas de Hierro del Danubio, Kladobo, Serbia; *CIL* X 1199).

El significado del verbo *intercidere* es 'abrir', 'excavar', 'separar', 'interrumpir' o 'atravesar'. Generalmente se considera que se refiere al corte de la roca (Zanovello 1997, 75). Sin embargo, en ocasiones el contexto parece indicar que no se trata tanto de 'cortar' o 'tallar', que parece más propio de *caedo, caesus* (este verbo se usa también para 'matar' en el contexto de la guerra). Es curioso el caso de la *mutatio* (estación viaria) *ad Intercisa en la via Flaminia,* identificada con la actual Gola del Furlo (Urbino), y que mereció también la atención de Zanovello (1997, 65). Siguiendo a esta autora, aquí se documenta una perforación en la roca realizada en época de Vespasiano para posibilitar el trazado de la vía, y que acaba adquiriendo valor de topónimo. Según el epítome de Aurelio Victor (IX, 8), se excavaron los montes

10 «Imp(erator) Caes(ar) M(arcus) Aurel(ius) Antoninus / Aug(ustus) Armeniacus et / Imp(erator) Caes(ar) L(ucius) Aurel(ius) Verus Aug(ustus) Ar/meniacus viam fluminis / vi abruptam interciso / monte restituerunt per / Iul(ium) Verum leg(atum) pr(o) pr(aetore) provinc(iae) / Syr(iae) et amicum suum / i<m=N>pendiis Abilenorum».

11 «C(aius) Oppius Verus L(ucius) Turpilius / Priscus f(ilius) IIIIuir(i) i(ure) d(icundo) / ex aquam caelestem dilabentem mon/tibus collectam interciso aggere / per formam cur(a) sua factam in pisci/nis repurgatis longo tempore ces/santibus p(ecunia) p(ublica) perduxerunt / et PE[---]AO[---]».

(cavati montes) para hacer un paso que es denominado vulgarmente Pertunsa Petra (piedra perforada). En el *Itinerarium Burdigalense* y en la *tabula Peutingeriana* se menciona como *Intercisa*. Y el topónimo actual, Furlo, hace también referencia a 'apertura' (Zanovello 1997, 65). Están en paralelo, por lo tanto, los términos *intercisa* y *pertunsa* en un contexto de 'horadar', más que 'tallar'. En Suiza, el topónimo aparece en Pierre Pertuis (Tavannes, Berna), y se relaciona también con un túnel (Coralini 1997, 288). En cambio, en una de las inscripciones de las ya mencionadas Puertas de Hierro del Danubio, vía tallada en la roca por las tropas romanas de manera parecida al de los canales de Las Médulas, el término usado es 'tallar' (*montibus excisi[s], CIL* III 1699).

En las inscripciones que se han señalado más arriba (la de Suq Wadi Barada y la de Cora) el término *interciso* no se usa para indicar el trabajo de tallar la roca, sino la idea de atravesar una montaña: en un caso la vía se ha visto separada por la fuerza del agua y se ha restituido *interciso monte*, habiéndose excavado o atravesado el monte. Zanovello interpreta que se trataba de un nuevo trazado viario que implicó tallar la roca (Zanovello 1997, 67). Así lo entienden también Golvin y Coulon (2021, 55). Pero ¿podría referirse a los derrubios dejados por la fuerza del agua? En el otro caso, lo que es *interciso* es el *agger* (terraplén en el contexto de obras para recoger el agua que discurre por la pendiente). Hay otro caso en el que el verbo sirve para indicar que el paso del tiempo ha interrumpido, cortado, separado una vía que es reparada por el emperador Trajano en los Alpes Marítimos (*CIL* V 8102, 8103, 8106): «viam Iuliam Aug(ustam) a flumine Trebia quae vetustate interciderat sua pecunia restituit». Tal vez la inscripción de Llamas de Cabrera no se refiera al tallado de la roca (*caedo, caesus,* documentado en otros casos), sino a la limpieza realizada si un derrumbe hubiera interrumpido el flujo del agua por el canal. Si esto fuera así, se trataría de obras de mantenimiento que, tal vez por una situación de emergencia o de especial gravedad, que quedó reflejada en la propia inscripción, pudieron haber implicado *munera* de más comunidades, aparte de las vecinas. Esto permitiría desvincular el trazado de los canales (que pudo ser una obra de soldados) del carácter indígena de los inscriptores (que, de todos modos, pudieron ser también soldados, aunque no parecen legionarios ni hacen constar, aparentemente, su vinculación al ejército). Coralini llama la atención sobre la frecuencia con la que las inscripciones de la red viaria se refieren a reparaciones y mejoras y no tanto al momento específico del trazado o la construcción, bien porque habían quedado trabajos pendientes, bien porque las labores de restauración y mantenimiento cobran relevancia por sí mismas (Coralini 1997, 327).

En las inscripciones latinas que celebran la construcción o arreglo de infraestructuras se detecta, en general, el tópico del dominio de la naturaleza y la capacidad de vencer grandes obstáculos para reconducir situaciones que habían alterado las formas de vida locales y amenazan su continuidad. El emperador o el responsable de la obra aparece revestido de fuerza y determinación para alcanzar objetivos heroicos: se parten las rocas, se allanan las montañas, se perforan los montes. El contenido honorífico es claro. Es difícil valorar si este es el sentido de la inscripción de Llamas, pero todo indica que no. Desde luego, la irregularidad del trazado y el desigual tamaño de las líneas no apuntan hacia una dedicatoria formal tal y como son las que se han documentado con autoría del ejército o la administración.

La primera línea de la primera inscripción (anexo III, n.º 1) se ha leído como un nombre personal: *Flacci* o *Placi*. Otra opción sería pensar que aquí iría el nombre al que hace referencia un adjetivo *interciso* (¿un dativo absoluto?), pero las posibilidades de leer algo semejante a *mons* (u otro término referente a aquello que es atravesado o perforado) no están claras.

Alguna lectura propone: *Severu* en lugar de *Seuro* en línea 3. Si lo que continúa fuera AV en lugar de RV ¿podría tratarse de *Severu Aug(usto)*? Pero a continuación es prácticamente imposible seguir la titulatura oficial de Septimio Severo. Si fuera así, la inscripción no sería contemporánea del trazado del canal. La otra opción, que cuenta con la aceptación de la mayoría de investigadores que se han ocupado del tema, es que *seurorum* sea un genitivo relativo a *interciso*: 'el corte de los *seurorri* o los *seurri*'. Hace tiempo

propusimos una vía de interpretación, relacionada con la identificación y delimitación de los tramos de canal que pudieron ser objeto de *munitio* (mantenimiento, limpieza, vigilancia) por parte de las comunidades locales (Sastre y Sánchez-Palencia 2002, 230). Esta interpretación se basa en el hecho de que muchas de las inscripciones rupestres conocidas en el occidente de la península ibérica tienen relación con delimitaciones territoriales. Pero la *civitas* de los *seurri,* cuya ubicación se vincula con la actual Sarria (Lugo), sin estar excesivamente alejada, no era una *civitas* de la zona que pudiera estar encargada de estas tareas, de acuerdo con la práctica de que las infraestructuras fuesen vigiladas por propietarios de fundos colindantes. Tal vez para una obra tan amplia como el trazado de los canales se tuvo que recurrir a varias *civitates,* más o menos cercanas, entre otras cosas porque el suministro de mano de obra de cada comunidad debía de ser forzosamente limitado. Y lo mismo pudo ocurrir en el caso de otras intervenciones de amplio alcance. Si es así, más que los encargados de mantener el canal, estos *seurri* pudieron ser los que fueron encargados de su reparación. *Susicus* pudo hacer una dedicación, quizás votiva, para conmemorar el evento. Nuevamente las dificultades de lectura son insalvables.

Los registros epigráficos en relación con el trabajo en las minas de oro hispanas son exiguos, pero un excepcional documento sugiere la existencia de formas de gestión de la mano de obra local; se trata del listado de nombres inscrito en una placa de pizarra, recuperada en el asturiano castro de Pélou (Villa *et al.* 2005; Rodríguez Fernández 2020).

11.4. LAS MÉDULAS Y SU RED HIDRÁULICA, UN PAISAJE GESTIONADO, EXPLOTADO Y POBLADO

Inés Sastre
Almudena Orejas
F. Javier Sánchez-Palencia
Brais X. Currás

En 1988, cuando el grupo de investigación EST-AP del CSIC planteó a la Junta de Castilla y León el proyecto de investigación de la ZAM, se consideró que sería imposible hacer una valoración arqueológica e histórica correcta si se planteaba solo la documentación y excavación de asentamientos de época romana. Para comprender los procesos históricos que los espectaculares trabajos mineros de Las Médulas reflejan, era preciso partir del conocimiento del territorio y las comunidades que lo habitaban en época prerromana. De esa manera se pretendía investigar los cambios en la ordenación del territorio, las relaciones sociales y la explotación de los recursos, entre ellos la minería y su impacto.

El punto de partida para ello fueron los modelos de poblados y de patrones de ocupación del espacio de fase prerromana y romana, que se habían detectado en las excavaciones de La Corona y El Castro de Corporales y en los estudios sobre La Valderia y La Cabrera. Efectivamente, las excavaciones en la zona de Las Médulas se iniciaron en dos yacimientos que por sus características se consideraron coherentes con los modelos prerromanos: El Castro de Borrenes y El Castrelín de San Juan de Paluezas. El Castrelín confirmó la presencia de unidades de ocupación o domésticas, que ya se habían documentado en La Corona de Corporales, como núcleos de la articulación espacial, social y productiva del castro. Estaban conformadas siempre por varios espacios diferenciados funcionalmente, de ellos uno era el principal, con el hogar y los principales útiles de la vida doméstica, como el molino, el contenedor de agua y un conjunto de cerámica más o menos diferenciado, siempre hecho a mano. Estas unidades son muy similares entre sí y siempre cuentan con un almacén, destinado a los productos agrarios, frecuentemente muy bien aislado. De esta forma de acumular la producción agraria se deduce la existencia de una explotación de base familiar de los recursos, que eran obtenidos en los campos que se extendían en las inmediaciones del asentamiento, ya fuesen de secano, ya se tratase de algunas tierras de regadío. El registro arqueozoológico muestra una cabaña diversificada, con ganado bovino, ovicáprido y porcino. Generalmente, en los basureros se documenta un aprovechamiento total del animal, que era sacrificado a una edad madura.

En general, la mayoría de los bienes necesarios para la vida del poblado se encontraban en un radio de acción muy reducido, incluidos aquellos de naturaleza mineral, desde la arcilla o la piedra para la construcción, hasta el hierro, el cobre o incluso el plomo y la plata. Obviamente se trataba de metales en pequeñas proporciones, para abastecer una producción artesanal, que es llevada a cabo por un herrero o metalúrgico en todos los poblados. Dentro de este mismo esquema se puede entender la fabricación de objetos de oro, que podía ser recuperado mediante bateo en los cercanos cursos auríferos. Así pues, se trataba de unas sociedades campesinas y que podían cubrir de manera autosuficiente sus necesidades básicas.

Las unidades domésticas se ordenaban en los poblados de forma muy independiente entre sí, sin medianerías ni espacios de articulación evidentes (calles, plazas). No obstante, hay algunas señas claras de la cohesión de la comunidad que habitaba cada castro: la muralla o parapeto era siempre respetada y no se construía en el espacio inmediato hacia el interior; contaban siempre con áreas no construidas dentro del recinto, posiblemente destinadas a actividades y funciones colectivas, productivas o sociales.

Estas comunidades no alcanzan nunca grandes dimensiones y, de acuerdo con su reducido tamaño y densidad de edificación de los poblados, contarían con entre 100 y 200 individuos, por lo general. Dada su independencia en el acceso a los recursos y en la estructura del poblado, su complejidad social no llegaría a generar un proceso de jerarquización ni unas situaciones de desigualdad importantes.

La fragmentación (o segmentación) de la comunidad se produciría seguramente cuando los recursos y el espacio necesario para su desarrollo no fuesen suficientes. Este proceso implicaría la creación de un nuevo asentamiento. Este pudo ser el caso de El Castro de Borrenes, donde un conjunto no muy extenso de individuos inició la construcción de un nuevo recinto castreño. Lo hizo delimitando en primer lugar el espacio de habitación, para lo que se acometió la construcción de la muralla. Se ha calculado por métodos experimentales que se pudo invertir en construirla poco tiempo: dos o tres familias podrían haber tardado unos seis meses, ya que consistía en dos paramentos de sillarejo de cuarcita propia del terreno, con un relleno entre ellos de tierra y cascajo, que alcanzó unos 4 m de ancha y no más de 3 m de alzado.

El poblado prácticamente no se ocupó: solo se llegaron a edificar dos modestas construcciones, con un exiguo ajuar cerámico. Pero lo más significativo es que la muralla fue anulada al ser demolida intencionalmente, como muestran los niveles arqueológicos del derrumbe de su muro hasta hacerlo ataludado hacia el interior y el exterior. Las dataciones obtenidas permiten proponer que la comunidad que pretendía desplazarse al Castro de Borrenes se vio sorprendida por la primera presencia romana y forzada a abandonar su proyecto.

Las comunidades indígenas, muy independientes entre sí, respondieron de forma desigual ante Roma. Esto es algo que se constata tanto en los textos literarios de autores clásicos, como en documentos epigráficos. En este sentido es explícito el epígrafe más antiguo conocido en la zona, la placa de bronce que contiene el Edicto de Augusto de El Bierzo (15 a. C.), que menciona la concesión de la inmunidad fiscal perpetua como premio a aquellos que permanecieron fieles a Roma, mientras que otros se habían opuesto a ella, frente a la tributación generalizada como marca del sometimiento.

Pero también arqueológicamente se puede apreciar la diversidad de efectos del contacto con Roma, que delatan los distintos finales de los poblados prerromanos. Ya se ha indicado la destrucción y el desalojo de El Castro de Borrenes. En el caso de La Corona de Corporales se produjo una destrucción generalizada, con claras señales de incendio en muchas zonas, es decir, se puede pensar en un final violento que, por las fechas, se sitúa en el contexto de la primera presencia romana. Por el contrario, El Castrelín fue simplemente abandonado, también cerca del cambio de era, y sus habitantes se llevaron prácticamente todo lo que podría aún ser útil. En el conjunto del Noroeste hay evidencia de otros castros que siguieron ocupados, aunque con cambios notables en su estructura, ordenación interna y relación con nuevas tramas de poblamiento.

La presencia de Roma supuso la conversión de las tierras conquistadas en suelo provincial, lo que implicó profundos cambios organizativos, desde los espacios domésticos a la ordenación del territorio. En los apartados anteriores se han expuesto los parámetros básicos de este proceso y su plasmación en el Noroeste, con dos pilares esenciales: las *civitates* y los *metalla publica*. En suma, las minas y el oro que producían estaban bajo el control del fisco, es decir, formaban parte del conjunto de bienes controlados directamente por el emperador a través de *procuratores* y sus *officinae*. Por lo tanto, minas y canales eran *res fiscales* y este esquema funcionó igual a grandes rasgos hasta finales del siglo II.

Ejército y administración imperial fueron esenciales para el mantenimiento de la dominación imperial y de las infraestructuras que la garantizaban. La construcción de la red viaria, así como el trazado de los canales mineros eran labores que solo pudo llevar a cabo el Estado, seguramente, al menos en parte, a través del ejército. De la misma manera, la delimitación global de los territorios de las *civitates* locales, esencial al ser la base de la fiscalidad, implicó labores de agrimensura que pudieron ser realizadas también por militares.

Estos son los aspectos clave para entender el marco general del control y explotación de estos recursos y poblaciones provinciales. Las evidencias arqueológicas del poblamiento en la zona en esos doscientos años constituyen el reflejo material de los cambios, de las nuevas tramas sociales, de las nuevas formas de territorialización y de los mecanismos para extraer recursos a través del sistema fiscal, sobre todo uno con valor estratégico para Roma: el trabajo de las comunidades locales en su beneficio. O, en palabras de Floro: los astures que, esforzándose en las profundidades, descubrieron sus riquezas al explotarlas para otros.

El poblamiento romano registrado en la zona albergaba a *peregrini*, en un patrón de poblamiento rural y disperso, en el que predominan pequeños núcleos. Hay algunas grandes diferencias respecto al patrón prerromano, sucintamente descrito en las páginas anteriores. Los poblados pasaron a ser variados en dimensiones, morfologías, situaciones y emplazamientos. El acceso equilibrado a los recursos de subsistencia ya no era un requisito para elegir la ubicación. La densidad de poblados es mucho mayor, y esto parece indicar un crecimiento demográfico, pero moderado. Sus pobladores cultivaban la tierra, tenían ganado, realizaban actividades artesanales, se desplazaban... y trabajaban en las múltiples tareas necesarias en la mina. No hay nada que sustente la imagen de miles de esclavos.

El registro muestra aún otras tres características de este poblamiento: siguió siendo indígena (aunque progresivamente se adoptaron usos romanos), muestra una clara jerarquización y era funcionalmente complementario. El contraste entre la *domus* de Las Pedreiras y los poblados de Orellán y de Chaos de Mourán resulta muy elocuente en este sentido, pero a partir de los datos conocidos, se pueden apuntar otras tendencias. Por ejemplo, la existencia de restos en varios puntos entre el pueblo de La Campañana y la vega del arroyo de Valderrío, al norte de Borrenes, puede ponerse en relación con las tierras llanas y fértiles de esta zona. Yacimientos como La Igrixilía han proporcionado un buen conjunto de materiales en superficie, tanto de restos constructivos como de cerámicas romanas. Algo similar ocurre con los sitios localizados junto al embalse de La Campaña, al norte del lago de Carucedo, con tierras irrigadas por el arroyo del Buqueiro o Boquerión, con las que se pueden relacionar núcleos como el de El Laguayo, Los Liñares o La Travesa (Orejas y Sastre 2000, 278, cuadro 42; Sánchez-Palencia 2002, 113-115, fig. 6.1). Ya se han mencionado más arriba los yacimientos con evidencias de actividad metalúrgica. Otros pudieron desempeñar un papel más importante en la zona, a tenor de sus dimensiones, su ubicación y la densidad de restos en superficie, es el caso de El Chao de Villaseca (fig. 396).

En este estudio se ha tratado con especial interés la red hidráulica de Las Médulas. Aunque esta orientación haya estado inicialmente condicionada por unos fines de carácter patrimonial (ver anexo I), el trabajo desarrollado tiene un alcance científico primordial para comprender el proceso histórico

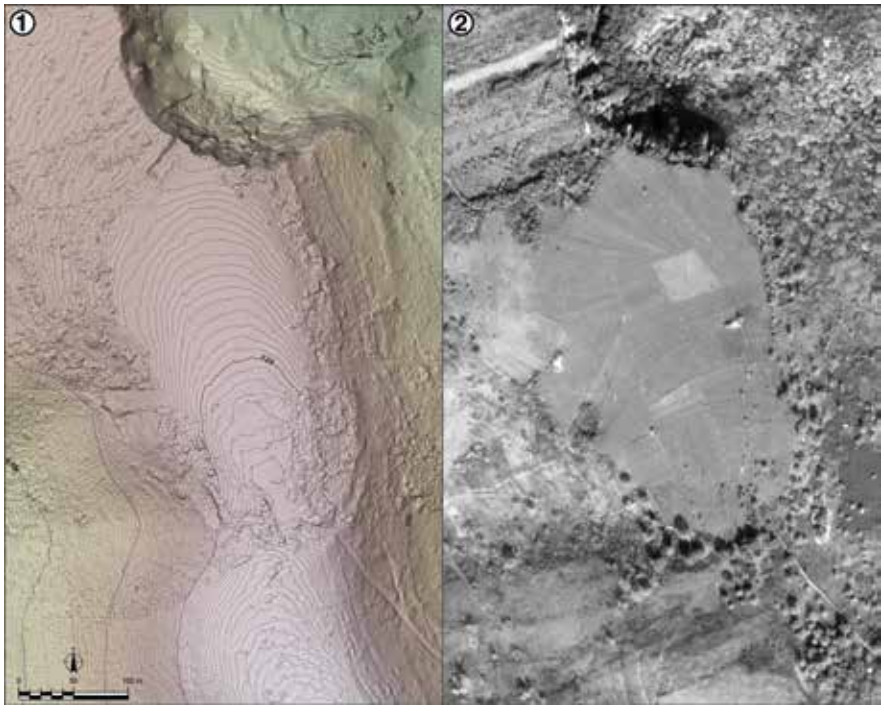


Figura 396. El Chao de Villaseca (San Juan de Paluezas, Borrenes).

de toda la zona arqueológica, como queda plasmado tanto en los capítulos expresamente dedicados a ella, como en la amplia cartografía adjunta (ver anexo II) y en la especial atención prestada a la epigrafía de los canales (ver anexo III).

Los historiadores y arqueólogos han escrito mucho sobre el control del agua por parte de la sociedad romana, y sobre la relevancia de la misma para entender las formas de vida difundidas por Roma a lo largo y ancho del Imperio. Sorprende que la abundante literatura resulte útil para el estudio de los canales mineros del Noroeste solo de una manera general. Esto se debe a que la mayoría de la información y de la investigación se orienta hacia el suministro de agua a ciudades o establecimientos urbanos y se rige por una ideología marcada por el bien común. La legislación se basa en la *utilitas rei publicae,* para garantizar que los usos necesarios para la supervivencia y la continuidad de las actividades económicas estuviera garantizado. Precisamente por eso, el agua es, además, una de las vías principales de promoción política a través del evergetismo, de la búsqueda de popularidad mediante la ejecución de obras útiles a la comunidad, lo que se inserta en su carácter civilizador: vida cotidiana *(salubritas, amoenitas, voluptas),* comercio, agricultura. Al mismo tiempo el acceso al agua era una marca de desigualdad social: el agua corriente era concedida a algunas grandes casas y establecimientos privilegiados, mientras la mayoría de la población se abastecía en los pozos y fuentes urbanas. Y también de desigualdad entre ciudades, no solo por las propias condiciones geográficas de sus ubicaciones, sino por la capacidad o no de generar recursos propios o de benefactores para invertir en infraestructuras (Leveau 2011, 2). Garantizar el acceso al agua es una de las tareas que asume el gobernante como parte de su misión benéfica, y está documentada la preocupación incesante de los emperadores durante el Principado por estas cuestiones, en Roma y en provincias. De ahí que el acueducto sea, en el pasado y en el presente, uno de los símbolos de la grandeza de Roma.

Una frase sintetiza una de las conclusiones fundamentales de estos estudios: «Rien n'atteste dans le dossier réuni d'une gestion autoritaire et dirigiste de l'eau» («Nada permite documentar en la

información manejada una gestión autoritaria y dirigista del agua») (Leveau 2011, 20), porque se trata de una cuestión propia de las autoridades locales, en la cual intervienen los gobernadores provinciales cuando estas tienen dificultades financieras o técnicas o cuando hay conflictos, siempre en el contexto de garantizar la continuidad del sistema fiscal. También Bannon ha defendido una prioridad de la gestión local, al tiempo que explica el carácter público de los acueductos urbanos en términos ideológicos y políticos, como un instrumento para reforzar la jerarquía social a través de la gestión de los derechos de acceso al agua y de las distintas formas de evergetismo (Bannon 2017, 85). Obviamente no tenemos información directa equivalente sobre los canales mineros, pero el conocimiento que tenemos sobre su contexto arqueológico, poblacional y administrativo apunta a conclusiones muy diferentes, incluso contrarias. El problema que plantea esta red hidráulica es que, siendo como es una obra ingente por su extensión y por su ejecución, no se hace en beneficio de nadie que no sea el fisco, ni siquiera para garantizar un sistema agrario que haga posible la tributación. La grandeza de Roma y su carácter civilizador quedan plasmados en su dominio de la naturaleza, en su capacidad de control sobre el agua atravesando montes y uniendo valles; pero esto no se hace para garantizar el suministro de agua a los ciudadanos o súbditos de Roma, sino para extraer el oro que era propiedad del Estado. Al mismo tiempo, la minería tiene una connotación negativa, precisamente contraria a esa labor humanizadora y civilizadora que defiende la ideología del poder imperial.

La envergadura de las explotaciones y la ordenación del territorio en el que se integran llevan a pensar que el agua en las zonas mineras no es *res communis omnium* sino *res fiscalis* o *res publica in patrimonio fisci,* entrando en un régimen jurídico que se asemeja más al de la propiedad privada, pero sin las restricciones que se imponen por esa necesidad de acceso a este recurso fundamental. No es como las *aquae publicae* inalienables que puede pertenecer a entidades cívicas (Biundo 2008, 365), puesto que no se destina a un uso público. Esto simplifica enormemente la cuestión de las formas de acceso al agua y los conflictos que pueden acarrear, así como las servidumbres establecidas en relación con las propiedades colindantes y los derechos de paso y uso: es de suponer que para garantizar la actividad minera el agua y los canales eran propiedad estatal y el acceso al mismo estaría totalmente restringido salvo autorización o concesión expresa por parte del fisco (es decir, de los *procuratores* que actúan a escala local). Por lo tanto, los canales mineros se sitúan al margen de la gestión local del agua (a escala de municipios, colonias u otras *civitates* o dentro de las mismas, como ocurre con los *pagi* recogidos en el bronce de Agón (Campo de Borja, Zaragoza), que es la base del control y distribución de este recurso en las provincias, bajo supervisión de los gobernadores provinciales o de los propios emperadores (Beltrán 2006 y 2011). Es más, si efectivamente el fisco puede considerarse un sujeto de derecho y por lo tanto, propietario de las *res fiscales*, es más probable que el régimen de gestión de la red hidráulica sea más acorde con el *ius civile* que con la gestión de los bienes públicos. El fisco sería el propietario de las cabeceras o fuentes de agua, de los canales, y del suelo minero, y ejercería sobre ellos los derechos tipificados por Bannon (2017) en torno a la gestión del agua: acceso, extracción, gestión, exclusión y enajenación, a los que habría que añadir las acciones para evitar el daño de las infraestructuras. La enajenación, es decir, la venta o, más probablemente, la cesión de derechos de acceso o extracción del agua, en caso de llevarse a cabo, se circunscribiría a las propias áreas mineras y seguramente pretendía facilitar el funcionamiento de las mismas. Así habría que interpretar, por ejemplo, el uso de la red hidráulica minera en las terrazas de cultivo inmediatas al asentamiento de La Fuente de la Mora, situado en medio de las explotaciones auríferas romanas de Las Cavenes de El Cabaco (Sierra de la Peña de Francia, Salamanca) (Sánchez-Palencia 2014b; Sánchez-Palencia y Currás 2017).

Quintavalla (2022) ha llamado la atención sobre el hecho de que el agua en sociedades premodernas en general, y en la romana en particular, no se concibe como una entidad unitaria, con unas características

universales y por lo tanto sujeta a una forma única de gestión, al contrario de lo que ocurre en época contemporánea, cuando muchas legislaciones nacionales tienden a considerar el agua como un único recurso y a convertirlo en un bien público. El agua en las sociedades antiguas se percibe desde la diversidad de las características que le aporta el contexto específico en el que se integra y la percepción que de ella tienen las comunidades locales. Esto da lugar a una «fragmented conceptualisation of water» y se refleja en las distintas disposiciones al respecto. Nuestra propuesta para entender el control y gestión del agua de las zonas mineras permite evidenciar que es, efectivamente, la especificidad de la actividad extractiva y su implementación lo que conlleva una forma concreta de *aquam ducere* que resulta divergente de lo que ocurre en ámbitos urbanizados, pero que seguramente recurre a instrumentos administrativos similares para las labores de mantenimiento de los canales. La especificidad de los canales mineros es, por lo tanto, necesaria para completar nuestro conocimiento sobre la gestión del agua en el Imperio romano.

La aparente facilidad con la que el fisco llevó a cabo su control sobre el agua, en la red hidráulica y sobre los propios ríos auríferos (que son claramente apropiados por parte del Estado que altera cauces o capta el agua en función de las necesidades de la minería) lleva a suponer que estos usos no entraban en colisión con la explotación agraria. Por una parte, por implicar una explotación de los espacios de montaña que no impedía seguramente otro tipo de explotación forestal. Por otra, por la relativa facilidad para derivar agua a otros usos, a veces agrarios, en las zonas colindantes con las explotaciones mineras. Se trata de una gestión global de los espacios rurales mediante la cual quedaba garantizadas tanto la explotación minera como la agricultura productora de los excedentes necesarios para la tributación y para el mantenimiento de las desigualdades internas de las *civitates*.

Este carácter estatal, específico y ajeno al bien común puede ser una de las razones por las que el notable impacto de la red hidráulica minera en el paisaje ha quedado oculto a lo largo del tiempo, al contrario de lo que ha ocurrido con muchos acueductos monumentales. Los canales se ubican en zonas en gran medida ajenas a la vida agraria y su funcionamiento es solo viable mediante una gestión a amplia escala del territorio. Sin embargo, si bien los acueductos se han conservado generalmente como infraestructuras imponentes, aunque en su mayoría obsoletas, los canales pervivieron con una función distinta: como *carriles*, es decir, como vías de paso útiles en zonas de accesos difíciles. Es curioso como en esto confluye también la identidad administrativa y técnica del trazado de las vías y las conducciones de agua.

Bibliografía

Acedo, Carmen, Ana Molina, Bernardo Miranda, Carmen Lence y Félix Llamas. 2008. «Flora Protegida en la ZEPA de Los Montes Aquilianos. ¿Una Microrreserva de Flora?. Red Natura 2000». *II Jornadas Día Forestal Mundial:* 9-35. Ponferrada: Ayuntamiento de Ponferrada.

AE = *L'Année épigraphique* (Mireille Corbier, dir.) PUF, París. https://www.jstor.org/journal/anneepig

Afifipour, Mohammad y Parviz Moarefvand. 2014. «Mechanical behavior of bimrocks having high rock block proportion». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 65: 40-48.

Alejano, Leandro R., Silverio García-Cortés, Fernando García-Bastante y Roberto Martínez-Alegrí. 2013. «Study of a rockfall in a limy conglomerate canyon (Covarrubias, Burgos, N. Spain)». *Environmental Earth Sciences* 70: 2703-2717.

Alejano, Leandro R., Iván Gómez-Márquez y Roberto Martínez-Alegría. 2010. «Analysis of a complex toppling-circular slope failure». *Eng Geol* 114: 93-104.

Alejano, Leandro R., Elena Martín-Ortega, Ignacio Pérez-Rey, Brais X. Currás y F. Javier. Sánchez-Palencia. 2023. «Roman gold exploitation at the archeological site of Las Médulas (NW-Spain) by means of Ruina Montium: a rock and fluid mechanics perspective». En *15th ISRM Congress 2023 & 72nd Geomechanics Colloquium. Challenges in Rock Mechanics and Rock Engineering,* editado por W. Schubert y A. Kluckner, 800-806. Salzburgo: ÖGG (Austrian Society for Geomechanics).

Alfayé, Silvia y Francisco Marco. 2014. «Santuarios en canteras y romanización religiosa en Hispania y Gallia». En *Santuarios suburbanos y del territorio de las ciudades romanas,* editado por J. Mangas y M.A. Novillo, 53-86. Madrid: UAM.

ALLIEVI. 2018. *Manual técnico de usuario. Versión 3.0.0*, septiembre de 2018.

Álvarez-González, Yolanda. 2021. *Espacios y paisajes castreños en la cuenca media del Miño desde sus orígenes a la dominación romana. Bibliotheca Praehistorica Hispana* XXXVII. Madrid: CSIC.

Andreu Pintado, Javier. 2011. «La ciudad romana de Los Bañales (Uncastillo, Zaragoza) en las fuentes históricas». *Caesaraugusta* 82: 19-100.

Arauzo, Tomás, Mateo Gutiérrez-Elorza y Carlos Sancho. 1996. «Retroceso de escarpes en ambientes semiáridos a partir de facetas triangulares de ladera (depresión del Ebro)». En *IV Reunión de Geomorfología,* editado por A. Grandal d'Anglade y J. Pagés Valcarlos, 405-416. A Coruña: Sociedad Española de Geomorfología, O Castro.

ASTM D2487-17. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).*

ASTM D6572-00. *Standard Test Methods for Determining Dispersive Characteristics of Clayey Soils by the Crumb Test.*

Aydan, Ömer. 2012. «The inference of physico-mechanical properties of soft rocks and the evaluation of the effect of water content and weathering on their mechanical properties from needle penetration

tests». *46th US Rock Mechanics/geomechanics Symposium* 1: 410-415.

Bailey, Kenneth C. 1929. *The Elder Pliny's Chapters on chemical subjects*. Part I. Londres: Edward Arnold & Co.

Bakker, M. y D.G. van Smeerdijk. 1982. «A palaeoecological study of a Late Holocene section from "Het Ilperveld", Western Netherlands». *Review of Palaeobotany and Palynology* 36: 95-163.

Balbín, Paloma. 2006. *Hospitalidad y patronato en la Península Ibérica durante la Antigüedad*. Valladolid: Junta de Castilla y León.

Balsera Nieto, Verónica. 2017. *Demografía y poblamiento en la meseta sur entre el 5500 y el 1200 cal BC. Una perspectiva desde el radiocarbono.* Tesis doctoral inédita. https://repositorio.uam.es/handle/10486/680470

Bannon, Cynthia. 2017. «Fresh water in Roman law: Rights and policy». *Journal of Roman Studies* 107: 60-89.

Barton, Nick R. 2002. «Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design». *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 39: 185-216.

Beagon, Mary. 1992. *Roman Nature. The Thought of Pliny the Elder*. Oxford: Clarendon Press.

Bedon, Robert y Ella Hermon (eds.). 2005. *Concepts, pratiques et enjeux environnementaux dans l'Empire Romain. Caesarodunum* 39. Limoges: Presses Universitaires de Limoges et du Limousin.

Bello Carnelo, Fernando. 2010. *Léxico y literatura de tradición oral en el entorno de Las Médulas (León).* León: Universidad de León.

Beltrán Lloris, Francisco. 2006. «An Irrigation Decree from Roman Spain: The Lex Rivi Hiberiensis». *Journal of Roman Studies* 96: 147-197.

Beltrán Lloris, Francisco. 2011. «El agua y las relaciones intercomunitarias en la Tarraconense». En *Aquam perducendam curavit. Captación, uso y administración del agua en las ciudades de la Bética y el occidente romano,* editado por L. Lagóstena, J.L. Cañizar y L. Pons, 21-40. Cádiz: Universidad de Cádiz.

Beltrán Lloris, Francisco y Anna Willi. 2011. «El regadío en la Hispania romana. Estado de la cuestión». *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 21: 9-56.

Bertran, Pascal. 1993: «Deformation-induced microstructures in soils affected by mass movements». *Earth Surface Processes and Landforms* 18 (7): 645-660. https://doi.org/10.1002/esp.3290180707

Bertran, Pascal, Bernad Hétu, Jean-Pierre Texier y Henk van Steijn. 1997. «Fabric Characteristics of Subaerial Slope Deposits». *Sedimentology* 44 (1): 1-16. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1997.tb00421.x.

Bianco, Anna Domizia. 2007. *Aqua ducta, aqua distributa: La gestione delle risorse idricche in età romana.* Turín: Silvio Zamorani Editore.

Bird, David. 1972: «The Roman Gold Mines of North-West Spain». *Bonner Jahrbücher* 172: 36-64.

Bird, David. 1984. «Pliny and the gold mines of the North West of the Iberian Peninsula». En *Papers in Iberian Archaeology,* editado por T.F.C. Blagg, R.F.J. Jones y S.J. Keay, 341-368. Oxford: BAR International Series 193.

Bird, David. 2004a. «Pliny's Arrugia. Water Power in Roman Gold-Mining». En *Water Power in Mining.* A Special Issue of *Mining History* 15 (4/5): 58-63.

Bird, David. 2004b. «Aspects of Roman gold-mining: Dolaucothi, Asturias and Pliny». En *Archaeology of the Roman Empire. A tribute to the life and works of Professor Barri Jones,* editado por N.J. Higham, 265-275. Oxford: BAR International Series 940.

Biundo, Rafaella. 2008a. «*Aqua publica*: propriété et gestion de l`eau dans l´economie des villes de l'Empire». En *Le quotidien municipal dans l'Occident romain. Actes du colloque international tenu à la Maison des sciences de l'homme. Clermont-Ferrand et à l'IUFM d'Auvergne, Chamalières, 19-21 octobre 2007),* editado por C. Berrendonner, M. Cébeillac-Gervasoni y L. Lamoine, 365-377. Clermont-Ferrand: IUFM.

Biundo, Rafaella. 2008b. «La gestion publique de l'eau: finances municipales et centre du pouvoir à l'époque impériale». En *Vers une gestion intégrée de l'eau dans l'Empire Romain. Actes du Colloque International, Université Laval (Québec) octobre*

2006, editado por E. Hermon, 163-174. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Blackmore, Stephen, Annick Le Thomas, Siwert Nilsson y Wim Punt. 1992. *Pollen and spores. Terminology*. Utrecht: Universidad de Utrecht.

Bonnefille, Raymonde y Guy Riollet. 1980. *Pollens des savanes d´Afrique orientale*. París: CNRS.

Bordes, Jean-Louis y Claude Domergue. 2007. «À propos de la ruina montium de Pline l'Ancien: une lecture technique du site de Las Médulas (León, Espagne)». En *Énergie Hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité,* editado por J.-P. Brun y J.-L. Fiches, 89-111. Nápoles: Publications du Centre Jean Bérard..

Borgatti, Lisa, Cristiano Guerra, Olivia Nesci, Roberto W. Romeo, Francesco Veneri, Alberto Landuzzi, Gianluca Benedetti, Gianfranco Marchi y Claudio C. Lucente. 2015. «The 27 February 2014 San Leo landslide (northern Italy)». *Landslides* 12 (2): 387-394.

Boskovic, Djurdje. 1978. «Aperçu sommaire sur les recherches archéologiques du limes romain et paléobyzantin des Portes de Fer». *Mélanges de l'École française de Rome. Antiquité* 90 (1): 425-463.

Bottema, Sytze. 1975. «The interpretation of pollen spectra from prehistoric settlements (with special attention to liguliflorae)». *Palaeohistoria* 17: 17-35

Brady, Barry H.G. y E. Ted Brown. 1985. *Rock Mechanics for Underground Mining*. Londres: Ed. George Allen & Unwin.

Brunt, Peter A. 1990. «Remarks on the Imperial Fiscus». En *Roman Imperial Themes*: 347-353. Oxford: Clarendon Press.

Bruun, Christer. 2012. «Roman emperors and legislation on public water use in the Roman Empire: clarifications and problems». *Water History* 4: 11-33.

Burjachs, Francesc. 1990. *Palinologia dels dòlmens de l'Alt Empordà i dels dipòsits quaternaris de la cova de l'Arbreda (Serinyà, Pla de l'Estany) i del Pla de l'Estany (Olot, Garrotxa). Evolució del paisatge vegetal i del clima desde fa més de 140.000 anys al N.E. de la Península Ibèrica*. Tesis Doctoral. Bellaterra: Publicaciones de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Burjachs, Francesc, José Antonio López Sáez y M.ª José Iriarte. 2003. «Metodología Arqueopalinológica». En *La recogida de muestras en Arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas. La gestión de los recursos vegetales y la transformación del paleopaisaje en el Mediterráneo occidental,* editado por R. Buxó y R. Piqué, 11-18. Barcelona: Museu d'Arqueologia de Catalunya.

Camino, Jorge, Eduardo Peralta y Jesús F. Torres (coords.). 2015. *Las Guerras Astur-Cántabras*. Gijón: KRK Ediciones.

Canny, John. 1986. «A Computational Approach to Edge Detection». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, n.º 6: 679-698. https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851.

Capogrossi-Colognesi, Luigi. 1966. *Ricerche sulla struttura delle servitù d'acqua in diritto romano*: 52-106 (esp.). Milano: Giuffrè.

Capogrossi-Colognesi, Luigi. 1969. *La Struttura della Proprietà e la Formazione dei «Iura Praediorum» Nell'età Repubblicana*. Milano: Giuffrè.

Capogrossi-Colognesi, Luigi. 2014. «La disciplina giuridica del rapporto tra società e ambiente naturale nel contesto romano». *Quaderni Lupiensi di Storia e Diritto* 4: 53-59.

Carrión Marco, Yolanda. 2005. *La vegetación mediterránea y atlántica de la península Ibérica. Nuevas secuencias antracológicas*. Trabajos Varios del Servicio de Investigación Prehistórica, 104. Valencia: Diputación de Valencia-SIP.

Carrión, José S., Errikartal Yll, Michael J. Walker, Alfonso J. Legaz, Celia Chain y José Antonio López Sáez. 2003. «Glacial refugia of temperate, Mediterranean and Ibero-North African flora in south-eastern Spain: new evidence from cave pollen at two Neanderthal man sites». *Global Ecology and Biogeography* 12: 119-129.

Caterpillar. 1974. *Caterpillar Performance Handbook*. Nueva York: Caterpillar.

Cech, Brigitte, Simone Elmer, Martin Fuchs, Frank Melcher, Robert Scholger, Frank Stremke, Hei-

mo Urban y Günther Weixelberger. 2023. «Neues vom römischen Goldbergbau im Karth - Gold waschen nach Plinius dem Älteren». *Römisches Österreich* 45: 13-28.

Celis, Jesús. 2002. «La ocupación castreña en el Alto Valle del río Cúa: "El Castro" de Chano, León». En *Los poblados fortificados del noroeste de la Península Ibérica: formación y desarrollo de la cultura castreña. Coloquios de Arqueología en la cuenca del Navia*, coordinado por M.A. de Blas y Á. Villa, 189-210. Navia: Ayuntamiento de Navia.

Celis, Jesús. 2003. «Notas sobre las etapas de la Cultura Castreña en El Bierzo». En *Actas de las Jornadas sobre Castro Ventosa (Cacabelos, León, 4-6 octubre 2002),* coordinado por J.A. Balboa de Paz, I. Díaz-Álvarez y V. Fernández-Vázquez, 13-33. Cacabelos: Peñalba.

Celis, Jesús y Fernando Muñoz Villarejo. 2015. «Veinte años en la investigación de la Edad del Hierro en las Tierras de León». En *Arqueoleón* II = *Historia de León a través de la Arqueología (Actas. Museo de León, noviembre 2023 / marzo 2024)*, coordinado por L. Grau Lobo, 43-65. León: Junta de Castilla y León.

Chabal, Lucie, Laurent Fabre, Jean-Frederic Terral e Isabelle Théry-Parisot. 1999. «L'Anthracologie». En *La Botanique,* por C. Bourquin-Mignot, J.-E.Brochier, L. Chabal, S. Crozat, L. Fabre, F. Guibal, P. Marinval, H. Richard, J.-F. Terral e I. Théry-Parisot. París: Editions Errance (Collection Archéologiques).

CIL II = *Corpus Inscriptionum Latinarum, vol. II: Inscriptiones Hispaniae Latinae*. De la nueva edición bajo la coordinación de Armin U. Stylow de este volumen II -*CIL* II²-, se han publicado hasta la fecha solo tres tomos: Conventus Astigitanus *CIL* II 2/5, 1998; Cordubensis *CIL* II 2/7, 1995; y Tarraconensis Sur *CIL* II 2/14 fasc. 1, 1995.

CIRBu = Santos Crespo Ortiz de Zárate y Ángeles Alonso Ávila. 2000. *Corpus de inscripciones romanas de la provincia de Burgos: fuentes epigráficas para la historia social de Hispania romana*. Valladolid: Universidad de Burgos.

Clarke, Katherine. 1999. *Between Geography and History. Hellenistic Constructions of the Roman World*. Oxford: Clarendon Press.

Coli, Niccolo, Paolo Berry, Daniela Boldini y Roberto Bruno. 2009. «In situ large size non-conventional shear tests for mechanical characterization of a BIMROCK in the Santa Barbara open pit mine (Italy)». *43rd US Rock Mechanics Symposium - Ashville*. Ashville: ARMA.

Conedera, Marco, Patrik Krebs, Willy Tinner, Marco Pradella y Damiano Torriani. 2004. «The cultivation of Castanea sativa (Mill.) in Europe: from its origin to its diffusion on a continental scale». *Vegetatiom, History and Archaeobotany* 13: 162-179.

Coralini, Antonella. 1997. «Conplanatis montibus et caesis rupibus. Vie in galleria, in tagliata e in trincea nel mondo romano al di fuori dell'Italia peninsulare». En *Via per montes excise. Strade in galleria e passaggi sotterranei nell'Italia romana,* editado por M.S. Busana, 281-335. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Corso, Antonio, Rossana Mugellesi y Gianpiero Rosati. 1988. *Gaio Plinio Secondo. Storia Naturale V. Mineralogia e Storia dell'Arte. Libri* 33-37. Turín: Giulio Einaudi ed.

Costa, Jose Manuel. 2016. «Presencia militar romana en La Chana (Castrocalbón, León)». *Nailos* 3: 47-85.

Costa Tenorio, Margarita, Carlos Morla Juaristi y Helios Sainz Ollero (eds.). 2005. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Barcelona: Planeta.

Courty, Marie-Agnès. 2001. «Microfacies Analysis Assisting Archaeological Stratigraphy». En *Earth Sciences and Archaeology,* editado por P. Goldberg, V.T. Holliday y C.R. Ferring, 205-239. Boston, MA: Springer US. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1183-0_8.

Courty, Marie-Agnès, Richard I. Macphail y Paul Goldberg. 1989. *Soils and Micromorphology in Archaeology*. Cambridge Manuals in Archaeology. Cambridge: Cambridge University Press.

Currás, Brais X. (coord.). 2011. *Estudio del trazado de la vía XVIII (Via Nova) en su tramo español.* Memoria final. Madrid: CSIC-Ministerio de Cultura.

Currás, Brais X. 2019. *Las sociedades de los castros entre la Edad del Hierro y la dominación de Roma. Estudio del paisaje del Baixo Miño. Bibliotheca Praehistorica Hispana* XXXIV. Madrid: CSIC.

Currás, Brais X., Almudena Orejas, Inés Sastre y F. Javier Sánchez-Palencia. 2026. «Castros in the middle. Persistence, resistance and adaptation of Iron Age settlement in the Roman mining areas of north-western Hispania». En *Resistance and Reception: Critical Archaeologies of Iron Age and Roman Worlds. Essays in Honour of Richard Hingley,* editado por R. Witcher y E. Hanscam. Oxford: Oxford Archaeopress.

Darling, Andrew L., Kelin X. Whipple, Paul R. Bierman *et al.* 2018. «Erosion rate patterns in the Grand Canyon and Grand Staircase predicted from rock strength patterns with new developments on the stream power incision model». *Joint 70th Rocky Mountain Annual Section / 114th Cordilleran Annual Section Meeting. Meeting of the Geological Society of America.* 2018, Paper n.º 30-1. https://www.uvm.edu/cosmolab/papers/Darling_2018_6461.pdf

Debidour, Michel. 2009. «Le problème de l'eau dans une cité de Numidie: l'inscription hydraulique de *Lamasba*». En *Urbanisme et urbanisation en Numidie militaire,* editado por A. Groslambert, 153-180. París: De Boccard.

Diego Santos, Francisco. *1986. Inscripciones romanas de la provincia de León.* León: Institución Fray Bernardino de Sahagún.

Dieulafait, Christine, Francis Dieulafait, Claude Domergue, Myriam Fincker y Verónique Picard. 2011. «L'établissement romain de Las Rubias, dans la sierra del Teleno (Corporales, province de León, España)». En *Actas del Quinto Congreso Internacional sobre minería y metalurgia históricas en el suroeste europeo. Libro en homenaje a Claude Domergue,* 59-98. Madrid: SEDPGyM.

Domaszewski, Alfred von y Brian Dobson (revisor). 1967. *Die Rangordnung des römischen Heeres*. Colonia: Böhlau Verlag.

Domergue, Claude. 1970. «Introduction á l'étude des mines d'or du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité». *Legio VII Gemina*: 253-286. León: Diputación Provincial de León.

Domergue, Claude. 1972-1974. «À propos de Pline, *Naturalis Historia*, 33, 70-78, et pour illustrer sa description des mines d'or romaines d'Espagne». *Archivo Español de Arqueología* 45-47: 499-548.

Domergue, Claude. 1983. *La mine Antique d'Aljustrel (Portugal) et les tables de bronze de Vipasca*. (= *Conimbriga* XXII). Coimbra: Universidade de Coimbra

Domergue, Claude. 1986. «Dix-huit ans de recherche (1968-1986) sur les mines d'or romaines du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique». En *Actas I Congreso Internacional Astorga Romana* 2: 7-101. Astorga: Ayuntamiento de Astorga.

Domergue, Claude. 1987. *Catalogue des mines et fonderies antiques de la Péninsule lbérique I y II*. Madrid: Casa Velázquez.

Domergue, Claude. 1990. *Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité Romaine. Coll. de l'École française de Rome* 127. Roma: EFR.

Domergue, Claude. 2008. *Les mines antiques. La production des métaux aux époques grecque et romaine*. París: Picard.

Domergue, Claude. 2012. «Les exploitations hydrauliques romaines dans les dépôts alluviaux aurifères du Nord-Ouest de l'Espagne: Las Médulas et le Teleno (Province de León). À propos de publications récentes». En *L'eau: usages, risques et représentations, dans le Sud-Ouest de la Gaule et le Nord de la péninsule Ibérique, de la fin de l'âge du Fer à l'Antiquité tardive (IIe siècle a. C. – VIe siècle p.C.). Aquitania Suppl.* 21, dirigido por Jean-Pierre Bos, 111-140. Burdeos: Université Bordeaux Montaigne.

Domergue, Claude y Gérard Hérail. 1978. *Mines d'or romaines d'Espagne. Le district de la Valduerna (León). Étude géomorphologique et archéologique*. Toulouse: Publs. de l'Univ. de Toulouse-Le Mirail.

Domergue, Claude y Gérard Hérail. 1999. «Condition de gisement et exploitation antique à Las Médulas (Léon, Espagne)». *L'or dans l'Aintiquité, de la mine a l'objet. Aquitania* Sup. 9: 93-116.

Domínguez Tristán, Paula. 2013. «Antecedentes romanos del actual uso de las riberas y márgenes

de los ríos». *Direito romano: poder e direito. 15 Congreso Internacional de Derecho Romano:* 1035-1054. Coimbra.

Dopico, M.ª Dolores. 1988. *La Tabula Lougeiorum. Estudios sobre la implantación romana en Hispania.* Vitoria-Gasteiz: Universidad del País Vasco.

Duda, Richard O. y Peter E. Hart, 1974. *Pattern classification and scene analysis.* A Wiley-Interscience publication.

Duncan-Jones, Richard. 1994. *Money and Government in the Roman Empire*. Cambridge: Cambridge University Press.

ERClu. Pedro de Palol y José Vilella. 1987. *Clunia II. La epigrafía de Clunia. EAE* 150. Madrid: Ministerio de Cultura.

ERPLe. Manuel A. Rabanal Alonso y Sonia M.ª García Martínez. 2001. *Epigrafía romana de la provincia de León*. León: Universidad de León.

Escribano, Consuelo, Manuel Rojo y Jesús M. del Val. 2024. *Investigaciones arqueológicas en Castilla y León en el siglo xxi*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Faegri, Knut y Johannes Iversen. 1989. *Text-book of pollen analysis.* 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons.

Fernández Manzano, Julio, F. Javier Sánchez-Palencia, M.ª Dolores Fernández-Posse y Almudena Orejas. 2001. *Plan Director de ordenación, usos y gestión de Las Médulas (PDLM)*. Documento inédito. Valladolid: TEMA de la Universidad de Valladolid- Instituto de Historia del CSIC.

Fernández Rodríguez, Carlos. 2016. *Informe n.º 2016/1202/PH16. Análisis de los restos de fauna del yacimiento de la Peña del Hombre (Paradela de Muces, León). Intervención arqueológica 2016.* Área de prehistoria de la Universidad de León. Diciembre 2016.

Fernández-Ochoa, Carmen. 1979. «Aportaciones al estudio de la minería romana de Asturias: el dique de la Barrosa y el canal de los lagos de Silva de Salave (Tapia de Casariego)». *Boletín del Instituto de Estudios Asturianos* 96-97: 411-422.

Fernández-Ochoa, Carmen y Ángel Morillo. 2002. «El Convento Araugustano y las Aras Sestianas: reflexiones sobre la primera organización administrativa del noroeste hispano». *Latomus* 61 (2): 889-910.

Fernández-Ochoa, Carmen, Javier Salido y M.ª del Mar Zarzalejos. 2014. «Las formas de ocupación rural en Hispania. Entre la terminología y la praxis arqueológica». *CuPAUAM* 40: 111-136.

Fernández-Posse, M.ª Dolores. 1998. *La investigación protohistórica en la Meseta y Galicia*. Madrid: Síntesis.

Fernández-Posse, M.ª Dolores. 2000a. «La organización interna de los castros prerromanos». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. Javier Sánchez-Palencia, 58-81. León: Instituto Leonés de Cultura.

Fernández-Posse, M.ª Dolores. 2000b. «La organización territorial de los castros prerromanos». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. Javier Sánchez-Palencia, 92-108. León: Instituto Leonés de Cultura.

Fernández-Posse, M.ª Dolores y Julio Fernández Manzano. 2000. «Los recintos de los castros. La función social de la muralla». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. Javier Sánchez-Palencia, 82-91. León: Instituto Leonés de Cultura.

Fernández-Posse, M.ª Dolores y F. Javier Sánchez-Palencia. 1988. *La Corona y El Castro de Corporales II. Campaña de 1983 en La Corona y Prospecciones en la Cabrera y la Valdería (León). EAE* 153. Madrid: Ministerio de Cultura.

Fernández-Posse, M.ª Dolores y F. Javier Sánchez-Palencia. 1998. «Las comunidades campesinas en la Cultura Castreña». *Trabajos de Prehistoria* 55 (2): 125-150.

Flügel, Erik. 2004. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Berlín-Heidelberg: Springer-Verlag.

Filippin, Antonio. 2010. «Lat. Arrugia». *Studj Romanzi* 5-6: 205-215.

Forbes, Robert J. 1966. *Studies in Ancient Technology, VII. Geology, Mining*. Leiden: E. J. Brill.

French, Roger. 1994. *Ancient Natural History. Histories of nature*. Londres-Nueva York: Routledge.

Galop, Didier y José Antonio López Sáez. 2002. «Histoire agraire et paléoenvironnement: les apports de la palynologie et des microfossiles non-polliniques». *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* 42 (1-2): 161-164.

García Antón, Mercedes, Carlos Morla Juaristi y Helios Sainz Ollero. 1990. «Consideraciones sobre la presencia de algunos vegetales relictos terciarios durante el Cuaternario en la Península Ibérica». *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec.Biol.)* 86 (1-4): 95-105.

García García, Jesús. 2007. *Léxico de la documentación berciana*. Ponferrada: IEB.

García García, Jesús. 1983. *La toponimia del Bierzo (bases para un corpus toponymicus)*. Memoria para optar al grado de doctor mecanografiada, inédita. Madrid: UCM.

García Rey, Verardo. 1979. *Vocabulario del Bierzo*. León: Ed. Nebrija.

Gatto, Federica y Françoise van Haeperen (eds.). 2023. *Cultes et divinités dans les carrières et les mines de l'Empire romain*. Lovaina la Nueva: Presses Universitaires de Louvain.

Girard, Michel y Josette Renault-Miskovsky. 1969. «Nouvelles techniques de préparation en palynologie appliquées à trois sédiments du Quaternaire final de l´Abri Cornille (Istres, Bouches du Rhône)». *Bulletin de l´Association Française pour l´Etude du Quaternaire* 4: 275-284.

Glacken, Clarence J. 1996. *Huellas en la playa de Rodas. Naturaleza y cultura en el pensamiento occidental desde la Antigüedad hasta finales del siglo xviii*. Barcelona: Eds. del Serbal.

Goeury, Claude y Jacques-Louis Beaulieu. 1979. «À propos de la concentration du pollen à l`aide de la liqueur de Thoulet dans le sédiments minéraux». *Pollen and Spores* 21: 239-251.

Goldberg, Paul y Richard I. Macphail. 2006. *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Malden-Oxford-Carlton: Blackwell Pubs. http://dx.doi.org/10.1002/9781118688182.fmatter.

Goldberg, Paul, Christopher E. Miller, Solveig Schiegl, Bertrand Ligouis, Francesco Berna, Nicholas J. Conard y Lyn Wadley. 2009. «Bedding, hearths, and site maintenance in the Middle Stone Age of Sibudu Cave, KwaZulu-Natal, South Africa». *Archaeological and Anthropological Sciences* 1 (2): 95-122. https://doi.org/10.1007/s12520-009-0008-1

Golvin, Jean-Claude y Gérard Coulon. 2021. *La ingeniería del ejército romano*. Madrid: Desperta Ferro eds.

Gómez Moreno, Manuel. 1925-1926. *Catálogo monumental de España. Provincia de León (1906-1908)*. Madrid: Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes.

Gómez Orellana, Luis, Pablo Ramil Rego y Castor Muñoz Sobrino. 2007. «The Würm in NW Iberia, a pollen record from Area Longa (Galicia)». *Quaternary Research* 67: 438-452.

González Rodríguez, María Cruz. 2024. «La epigrafia religiosa de los *conventus Asturum* y *Bracaraugustanus* y el panteón local: nuevas lecturas y nuevos hallazgos». En *"Tituli Hispani": tradición y nuevo rumbo,* editado por Helena Gimeno, Javier Moralejo e Isabell Mossong, 53-81. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.

Goodman Richard E. y Jonathan D. Bray 1976. «Toppling of rock slopes». *Proceedings of the Specialty. Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes* 2: 201-233.

Grau, Luis y José Luis Hoyas (eds.). 2001. *El bronce de Bembibre. Un edicto del emperador Augusto del año 15 a. C.* Valladolid: Junta de Castilla y León.

Guerrero, Macarena 2018. «La conservación de las infraestructuras en el *De aquaeductu urbis Romae* de Frontino: un estudio jurídico». *Diritto e Storia* 16. https://www.dirittoestoria.it/16/tradizione/Guerrero-Conservacion-infraestructuras-De-aquaeductu-urbis-Romae-Frontino-estudio-juridico.htm.

Gutiérrez Elorza, Mateo y V. H. Sesé Martínez. 1999. «Cálculo de retrocesos de escarpes de la Cuenca de Almazán y significación climática de la evolución de laderas (Depresión oriental del Duero)». *Boletín Geológico y Minero* 110: 581-590.

Hacar, Manuel, José Luis Pagés y Ana María Alonso. 1999: «Nueva interpretación de la geología de la mina romana de Las Médulas. El Bierzo, León». *Geogaceta* 25: 83-86.

Halleux, Robert. 1970. «Fecondité des mines et sexualité des pierres dans l'Antiquité greco-romaine». *Revue Belge de Philologie et d'Histoire* 18 (1): 16-25.

Halleux, Robert. 1974. *Le problème des métaux dans la science antique. Bib. de la Fac. de Philosophie et Lettres de l'Univ. de Liège* CCIX. París: Les Belles Lettres.

Healy, John F. 1978. *Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World*. Londres: Thames and Hudson.

Healy, John F. 1986. «Pliny on Mineralogy and Metals». En *Science in the Early Roman Empire: Pliny the Elder, his Sources and Influence,* editado por R. French y F. Greenaway, 111-146. Londres-Sidney: Croom Helm.

Healy, John F. 1989. «Greek and Roman Gold sources: the literary and scientific evidence». En *Minería y Metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas,* coordinado por Claude Domergue, II, 9-20. Madrid: Ministerio de Cultura.

Healy, John F. 1999. *Pliny the Elder on Science and Technology*. Oxford: Oxford University Press.

HEp = HISPANIA EPIGRAPHICA, base de datos online. Universidad de Alcalá de Henares (base de datos diseñada por Kurt Schaller y Jakob Egger en estrecha colaboración con Joaquín Gómez-Pantoja). https://hepol.uah.es/pub/search_select.php

Hérail, Gérard. 1984. *Geomorphologie et gítologie de l'or detritique. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne (Monts de Léon, Bierzo)*. Thèse du doctorat d'Etat. París: CNRS.

Hérail, Gérard y Luis Carlos Pérez García. 1989. «Intérêt archéologique d'une étude géomorpho-litologique: les gisements d'or alluvial du nord-ouest de l'Espagne». En *Minería y Metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas,* coordinado por Claude Domergue, II, 21-34. Madrid: Ministerio de Cultura.

Hermon, Ella (ed.). 2008. *Vers une gestion intégrée de l'eau dans l'Empire romain. Actes du Colloque International, Université Laval, octobre 2006 Atlante Tematico di Topografia Antica* XVI (Supplemento). Roma: L'Erma di Bretschneider.

Hirt, Alfred M. 2010. *Imperial mines and quarries in the Roman world: organizational aspects, 27 BC - AD 235*. Oxford-Nueva York: Oxford University Press.

Hispania Epigraphica = serie peródica *Hispania Epigraphica. Archivo epigráfico de Hispania - UCM. Revista Hispania Epigraphica* 1-20 (1995-2014). *Serie Hispania Epigraphica* 2012-2017. Madrid: UCM.

Hodge, Alfred T. 1992. *Roman Aqueducts & Water Supply*. Londres: Duckworth.

Hoek, Evert y Jonathan D. Bray. 1974. *Rock Slope Engineering*. Rotherfield: Chapman & Hall.

Hough, Benjamin K. 1969. *Basic Soils Engineering*. Nueva York: Ronald Press.

Hoz, Javier de. 2003. «El léxico minero de Plinio y su posible origen hispano». *Palaeohispanica* 3: 73-100.

Humphrey, John W., John P. Oleson y Andrew N. Sherwood. 1998. *Greek and Roman Technology: a sourcebook. Annoted translation of Greek and Latin Texts and Documents*. Londres: Routledge.

Huntley, Brian y Harry John B. Birks. 1983. *An Atlas of Past and Present Pollen Maps for Europe: 0-13000 years ago (BP)*. Cambrigde: Cambridge University Press.

ICOMOS. 2022. *Carta sobre el Turismo Cultural Patrimonial*. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Secretariat/2023/CSI/eng-spa_ICHT_Charter.pdf

IGME. 1982. *Mapa Geológico de España. Serie Magna 1:50.000. Hoja 191. Silván*. Madrid: IGME.

ILS = Hermann Dessau. 1856-1931. *Inscriptiones latinae selectae*. Berolini Apud Weidmannos.

IRPL = Francisco Diego Santos. 1986. *Inscripciones romanas de la provincia de León*. León: Institución Fray Bernardino de Sahagún.

Isager, Jakob. 1991. *Pliny on Art and Society. The Elder Pliny's Chapters on the History of Art*. Londres-Nueva York: Routledge.

ISRM. 2007. *The complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring:*

1974-2006, editado por Resat Ulusay y John A. Hudson. Ankara: ISRM Turkish National Group.

Itasca. 2021. *User Manual for FLAC Fast Lagrangian Analysis of Continua. Version 9.01*. Minnesota: Itasca Consulting Group Inc.

Itasca. 2022. *User Manual for UDEC Universal Distinct Element Code. Version 7.01*. Minnesota: Itasca Consulting Group Inc.

ITGE, MME, Ponferrada. 1993 = Instituto Tecnológico GeoMinero de España. *Mapa Metalogenético de España. Escala 1:200.00. Hoja 18/3-3, Ponferrada*. Madrid: ITGE.

Jacquiot, Clément 1955. *Atlas d´anatomie des bois des conifères*. París: Centre Technique du Bois.

Jacquiot, Clément, Yvonne Trenard y Danièle Dirol. 1973. *Atlas d´anatomie des bois des angiospermes (Essences feuillues)*. París: Centre Technique du Bois.

Jain, Ramesh, Rangachar Kasturi y Brian G. Schuck. 1995. *Machine Vision*. Nueva York: McGraw Hill.

Jiménez Salvador, Jose Luis y Juan José Ruiz López. 2019. «El acueducto de Peña Cortada (la Serranía, Valencia): una muestra singular de la ingeniería romana en tierras valencianas». En *Arcos y conductos: estudios sobre ingeniería hidráulica en la Comunidad Valenciana,* dirigido por L. Arciniega, 83-132. Valencia: Generalitat Valenciana.

Jing, Lanru y John A. Hudson. 2002. «Numerical methods in rock mechanics». *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 39 (4): 409-427.

Jones, Arnold H. M. 1950. «The Aerarium and the Fiscus». *Journal of Roman Studies* 40: 22-29.

Jones, Richard F. J. y David Bird. 1972. «Roman Gold-Mining in North-West Spain II: workings on the Rio Duerna». *Journal of Roman Studies* 62: 59-74.

Jordá Pardo, Jesús F., Emilio Abad Vidal, Israel Picón Platas, Valeria Francés Zandueta, Josefa Rey Castiñeira y Carlos Marín Suárez. 2020. «Cronología radiocarbónica de la Edad del Hierro del Noroeste de Iberia. Diez años después del congreso Interpretierte Eisenzeiten. Fallstudein, Methoden, Theorie, Linz 2008». En *Cultura Castreja: identidade e transições. Atas do Congresso Internacional cultura castreja: identidade e transições,* coordinado por R. Centeno, R. Morais, T. Soeiro y D. Ferreira, I, 41-61. Santa Maria da Feira: Câmara Municipal de Santa Maria da Feira.

Jordán Lorenzo, Ángel A. 2011. «Inscripciones, monumentos anepígrafos, dudosos, sellos y grafitos procedentes del *municipium ignotum* de Los Bañales de Uncastillo». *Caesaraugusta* 82: 289-336.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. 2011. *Espacio cultural de Las Médulas. Plan de Adecuación y Usos*. Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo, Dirección General de Patrimonio Cultural. Marzo de 2011. Documento inédito.

Kahraman, Sair y Michael Alber. 2006. «Estimating unconfined compressive strength and elastic modulus of a fault breccias mixture of weak blocks and strong matrix». *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 43: 1277-1287.

Kahraman, Sair y Michael Alber. 2008. «Triaxial strength of a fault breccia of weak rocks in a strong matrix». *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 67: 435-441.

Kalender, Aycan, Hulya Sönmez, Edmund Medley, Celal Tunusluoglu y K. Ercin Kasapoglu. 2014. «An approach to predicting the overall strengths of unwelded bimrocks and bimsoils». *Engineering Geology* 183: 65-79.

Karkanas, Panaiotis y Paul Goldberg. 2013. «Micromorphology of cave sediments». *Treatise on Geomorphology, Karst Geomorphology* 6: 286-297. San Diego: Academic Press.

Karkanas, Panaiotis y Paul Goldberg. 2019. *Reconstructing Archaeological Sites: Understanding the Geoarchaeological Matrix*. Nueva York: Wiley-Blackwell.

Kirillov, Alexander, Eric Mintun, Nikhila Ravi, Hanzi Mao, Chloé Rolland, Laura Gustafson, Tete Xiao, Spencer Whitehead, Alexander C. Berg, Wan-Yen Lo, Piotr Dollár y Ross Girshick. 2023. *Segment Anything*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.02643

Kirsch, Ernest G. 1898. «The theory of elasticity and the needs of strength of materials». *Journal of the Association of German Engineers* 42: 797-807.

Knapp, Robert 1980. «Festus 262L and *Praefecturae* in Italy». *Athenaeum* 58: 14-38.

Kłodziński, Karol. 2024. *Officium a rationibus. The Office and Officials Responsible for the Imperial Treasury. Journal of Juristic Papyrology Supplements* 46. Lovaina: Peeters Publishers.

Kolb, Anne. 2013. «Epigraphy as a Source on Ancient Technology». En *Structure and Performance in the Roman Economy. Models, Methods and Case Studies. Collection Latomus* 350, editado por P. Erdkamp y K. Verboven, 223-238. Bruselas: Société d'Études Latines de Bruxelles-Latomus, A.S.B.L.

Kooistra, Maja J. y Mirjam M. Pulleman. 2018. «Chapter 16 - Features Related to Faunal Activity». En *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths (Second Edition),* editado por G. Stoops, V. Marcelino y F. Mees, 447-469. Ámsterdam-Oxford: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63522-8.00016-4

Krebs, Patrik, Marco Conedera, Marco Pradella, Damiano Torriani, Markus Felber y Willy Tinner. 2004. «Quaternary refugia of the sweet chestnut (Castanea sativa Mill.): an extended palynological approach». *Vegetation, History and Archaeobotany* 13: 145-160.

Kühn, Peter, José Aguilar, Rienk Miedema y Maria Bronnikova. 2018. «Chapter 14 - Textural Pedofeatures and Related Horizons». En *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths (Second edition),* editado por G. Stoops, V. Marcelino, y F. Mees, 377-423. Nueva York: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63522-8.00014-0

Lagóstena, Lázaro G. 2014. «Captación y apropiación del agua para la ciudad. Del paradigma de Roma al caso provincial de la Hispania Ulterior Baetica». En *Lex rivi Hiberiensis. Diritto e tecnica in una comunità di irrigazione della Spagna romana,* editado por L. Maganzani y C. Buzzacchi, 33-54. Nápoles: Jovene ed.

Lagóstena, Lázaro G., José Luis Cañizar y LIuís Pons. 2011. *Aquam perducendam curavit. Captación, uso y administración del agua en las ciudades de la Bética*. Cádiz: Universidad de Cádiz.

Landels, J.G. 2000. *Engineering in the Ancient World*. Edición revisada de la primera, publicada por Chattp & Windus en 1978. Londres: Constable & Robinson.

Le Roux, Patrick. 1983. «Exploitations minières et armées romaines: essai d'interprétation». En *Minería y Metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, coordinado por Claude Domergue, II, 171-182. Madrid: Ministerio de Cultura.

Leveau, Philippe 2011. «Les aqueducs romains, le territoire et la «gouvernance» de l'eau». En *Aquam perducendam curavit. Captación, uso y administración del agua en las ciudades de la Bética y el occidente romano,* editado por L. Lagóstena, J.L. Cañizar y L. Pons, 1-20. Cádiz: Universidad de Cádiz.

Lewis, Peter R. y G.D. Barri Jones. 1970. «Roman Gold-Mining in North-West Spain». *Journal of Roman Studies* 61: 169-185. Madrid: UCM.

Lindquist, E. S. 1994. *The strength and deformation properties of mélange.* Ph.D. Thesis. Berkeley: University of California.

Lindquist, E. S. y Richaerd E. Goodman. 1994. «The strength and deformation properties of model mélange». *Proc. 1st North American Rock Mechanics Symposiume (NARMS)*: 843-850. Austin, Texas.

Locher, Albrecht (1986): «The structure of Pliny the Elder's Natural History». En *Science in the Early Roman Empire: Pliny the Elder, his Sources and Influence,* editado por R. French y F. Greenaway, 20-29. Londres-Sidney: Croom Helm.

López González, Luis F., Yolanda Álvarez González y Miguel Ángel López Marcos. 2003. *Los canales de abastecimiento de la mina de oro romana de Las Médulas (Llamas de Cabrera, Benuza, León): documentación de los trabajos realizados.* Informe inédito.

López González, Luis F. 2020. *Castros y territorio: evolución del poblamiento castreño y de los procesos de territorialización en la Sierra Oriental Gallega y sector meridional lucense.* Tesis doctoral inédita. Madrid: UCM.

López Merino, Lourdes y José Antonio López Sáez. 2009. «Dialéctica entre el ser humano y el haya durante el Holoceno en el sistema ibérico septentrional». *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 30: 43-48.

López Merino, Lourdes, José Antonio López Sáez, M.ª Blanca Ruiz Zapata y M.ª José Gil García. 2008. «Reconstructing the history of beech (*Fagus sylvatica* L.) in north-western Iberian Range (Spain): From Late-Glacial refugia to Holocene anthropic induced forests». *Review of Palaeobotany and Palynology* 152: 58-65.

López Merino, Lourdes, Antonio Martínez Cortizas, Guillermo S. Reher, José Antonio López Sáez, Tim M. Mighall y Richard Bindler. 2014. «Reconstructiong the impact of human activities in a NW Iberian Roman mining landscape for the last 2500 years». *Journal of Archaeological Science* 50: 208-218.

López Merino, Lourdes, Leonor Peña-Chocarro, Mónica Ruiz Alonso, José Antonio López Sáez y F. Javier Sánchez-Palencia. 2010. «Beyond nature: the management of a productive cultural landscape in Las Médulas area (El Bierzo, León, Spain) during pre-Roman and Roman times». *Biosystems* 144 (4): 909-923.

López Sáez, José Antonio, Arthur Glais, Sandra Robles López, Francisca Alba Sánchez, Sebastián Pérez Díaz, Daniel Abel Schaad y Reyes Luelmo. 2017. «Unraveling the naturalness of sweet chestnut forests (*Castanea sativa* Mill.) in central Spain». *Vegetation, History and Archaeobotany* 26: 167-182.

López Sáez, José Antonio, Daniel Sánchez Mata, Francisca Alba Sánchez, Daniel Abel Schaad, Rosario G. Gavilán y Sebastián Pérez Díaz. 2013. «Discrimination of Scots pine forests in the Iberian Central System (*Pinus sylvestris* var. iberica) by means of pollen analysis». *Phytosociologial considerations. Lazaroa* 34: 191-208.

López Sáez, José Antonio, Bas van Geel, Solange Farbos-Texier y Marie Françoise Diot. 1998. «Remarques paléoécologiques à propos de quelques palynomorphes non-polliniques provenant de sédiments quaternaires en France». *Revue de Paléobiologie* 17 (2): 445-459.

López Sáez. José Antonio, Pilar López García y Francesc Burjachs. 2003. «Arqueopalinología: Síntesis crítica». *Polen* 12: 5-35.

López Sáez, José Antonio, Bas van Geel y Mariano Martín Sánchez. 2000. «Aplicación de los microfósiles no polínicos en Palinología Arqueológica». En *Contributos das Ciências e das Technologias para a Arqueologia da Península Ibérica, Actas 3.º Congresso de Arqueología Peninsular,* editado por V. Oliveira Jorge, IX, 11-20. Oporto: Adecap.

Macphail, Richard I. y Paul Goldberg. 2018. *Applied Soils and Micromorphology in Archaeology*. *Cambridge Manuals in Archaeology.* Nueva York: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9780511895562

Magri, Donatella, Giovanni G. Vendramin, Bernard Comps, Isabelle Dupanloup, Thomas Geburek, Duscaronian Gömöry, Malgorzata Latalowa, Thomas Litt, Ladislav Paule, Joan Maria Roure, Ioan Tantau, Willem O. van der Knaap, Rémy J. Petit y Jacques-Louis de Beaulieu. 2006. «A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences». *New Phytologist* 171: 199-221.

Mañanes, Tomás 1981. *El Bierzo prerromano y romano*. León: Diputación de León.

Mañanes, Tomás 1988. *Arqueología de la cuenca leonesa del río Sil (Laceana, Bierzo, Cabrera)*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Martín Seijo, María, Nuno Oliveira y Ana M. S. Bettencourt. 2023. «El manejo de los recursos leñosos por las comunidades de la Edad del Hierro en el Noroeste de Iberia, el asentamiento de São João de Rei (Portugal)». *SPAL* 32 (1): 110-126.

Martín, Esperanza. 2002-2003: «Dos décadas de arqueología romana de León (1980-2002). Balance historiográfico». *Lancia* 5: 199-250.

Martín, Esperanza, Florian Hermann y Félix Teichner. 2024. «Roman camps of Villamontán de la Valduerna. A military complex close to Via XVII. Item a Bracara Augusta». En *Current approaches*

to Roman frontiers. Limes XXV, editado por H. van Enckevort, M. Driessen, E. Graafstal, T. Hazenberg, T. Ivleva y C. van Driel-Murray, 1, 125-134. Leiden: Sidestones Press.

Martínez Atienza, Fernando y Carlos Morla Jauristi. 1992. «Aproximación a la paleoecología holocena de *Fagus* en la Península Ibérica a través de datos polínicos». *Investigaciones Agrarias, Sistemas y Recursos Forestales* 1: 135-145.

Martínez de Morentin Llamas, M.ª Lourdes. 2016. «El cuidado y administración de las aguas previsto en dos leyes municipales de la Hispania Romana». *Iura: rivista internazionale di diritto romano e antico* 64: 147-181.

Martinez Quintana, Jimena, Antonio Trigo García, Daniel Moreno Rodríguez y Juan Torrejón Valdelomar. 2020. *Memoria preliminar/justificativa de la excavación arqueológica desarrollada en el yacimiento de «El Chao-Villaseca»*. (Expte: 20/243-LE Octubre-2020: informe inédito). San Juan de Paluezas-Borrenes-ECNLM.

Matías, Roberto. 2004. «Ingeniería minera romana: La red hidráulica de Las Médulas». En *Actas del II Simposio de Minería y Metalurgia Antiguas del Sudoeste Europeo:* 279-233. Madrid: SEDPGYM.

Matías, Roberto. 2006. «La red hidráulica de Las Médulas: Trazado e Ingeniería». *Estudios Bercianos. Revista del Instituto de Estudios Bercianos* 30-31: 5-86.

Matías, Roberto. 2008. «El agua en la ingeniería de la explotación minera de Las Médulas». *Lancia* 7: 17-112.

Matías, Roberto 2011. «Nuevos hallazgos en la mina aurífera romana de Llamas de Cabrera (León-España) y su relación con la cronología de la actividad minera en Las Médulas». En *Actas del Quinto Congreso Internacional sobre Minería y Metalurgia históricas en el Suroeste Europeo (León - 2008). Libro en homenaje a Claude Domergue:* 509-524. León: SEDPGyM.

Matías, Roberto. 2019. «Cartografía de un nuevo tramo de 43 km del canal C-4 de la mina de oro romana de Las Médulas (León-España)». *El Patrimonio Geológico y Minero. Identidad y motor de desarrollo. Actas del XVII Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero. Cuadernos del Museo Geominero* 29: 327-340. Madrid: IGME.

Matías, Roberto. 2020. «Los canales de Las Médulas (León-España): razones para su inclusión en el Patrimonio de la Humanidad». *Revista euroamericana de Antropología* 10: 131-161.

Matías, Roberto. 2021. *La minería aurífera romana del noroeste hispano: una visión desde la ingeniería de minas actual.* Tesis doctoral inédita. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas-UPM.

Matías, Roberto, Manuel Hacar, Jose Luis Pagés y Ana María Alonso. 2011. «Implicaciones en el análisis de la ingeniería de explotación de la mina romana de Las Médulas considerando la nueva hipótesis genética sobre la formación del yacimiento aurífero». En *Actas del Quinto Congreso Internacional sobre Minería y Metalurgia históricas en el Suroeste Europeo (León - 2008). Libro en homenaje a Claude Domergue:* 437-450. León: SEDPGyM.

Mayhoff, Karl F. Th. 1897. *C. Plini Secundi. Naturalis Historiae Libri XXXVII. V. Libri XXXI-XXXVII*. Bibliotheca S. G. et R. Teubneriana. Stuttgart: Teubner (reimpr. 1967).

Medley, Edmund. 1994. *The engineering characterization of melanges and similar block_in_matrix rocks (bimrocks)*. PhD diss. Berkley: Dept. of Civil Engineering, University of California.

Menzies, John. 2022. «Differentiation of Diamictons (Glacigenic – Non-Glacigenic) Using Microstructure Abundancies and Types». *Proceedings of the Geologists' Association* 133 (6): 603-615. https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2022.07.006.

Menzies, John y Jaap J. M. van der Meer. 2018. «Micromorphology and Microsedimentology of Glacial Sediments». En *Past Glacial Environments,* editado por J. Menzies y J.J.M. Meer, 753-806. Ámsterdam: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100524-8.00036-1

Meuret, Christophe. 1996. «Le règlement de Lamasba: des tables de conversion appliquées à l'irrigation». *Antiquités Africaines* 32: 87-112.

Millar, Fergus G. B. 1963. «The Fiscus in the First Two Centuries». *Journal of Roman Studies* 53: 29-42.

Miola, Antonella. 2011. «Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis. A list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972-2011)». *Review of palaeobotany and palynology* 186: 142-161.

Montero, Ignacio y Almudena Orejas. 2018. «Minas, metales reciclados y monedas. Abastecimiento de cobre entre el Imperio Romano y la Antigüedad Tardía». Dossier «Les métaux précieux: de l'extraction à la frappe monétaire (Antiquité - Moyen Âge)». *Mélanges de la Casa de Velázquez* 48 (1): 111-135.

Moore, Peter D. y Judith. A. Webb. 1978. *An illustrated guide to pollen analysis*. Londres: Hodder and Stoughton.

Moore, Peter D., Judith. A. Webb y Margaret E. Collinson. 1991. *Pollen analysis* (2nd ed.). Londres: Blackwell Scientific Publications.

Morla Juaristi, Carlos. 1996. «Especies forestales autóctonas y alóctonas en la restauración del tapiz vegetal de la Península Ibérica». En *Medio ambiente y crisis rural,* editado por J. García Fernández, 33-61. Valladolid: Universidad de Valladolid,

Mücher, Herman, Henk van Steijn y Frans Kwaad. 2010. «3 - Colluvial and Mass Wasting Deposits». En *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths,* editado por Georges Stoops, Vera Marcelino y Florias Mees, 37-48. Ámsterdam: Elsevier. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444531568000039

Muñoz Sobrino, Castor, Pablo Ramil Rego y Luis Gómez Orellana. 2004. «Vegetation of the Lago de Sanabria area (NW Iberia) since the end of the Pleistocene: a palaeoecological reconstruction on the basis of two new pollen sequences». *Vegetation, History and Archaeobotany* 13: 1-22.

Muñoz Villarejo, Fernando A. 2018. *Protección y adecuación para la visita pública de la domus romana de Pedreiras del Lago, Lago de Carucedo (León).* (Informe de intervención arqueológica y 2 planos fuera de texto).

Naas, Valérie. 2002. *Le projet encyclopédique de Pline l'Ancien*. Coll. *de l'École Française de Rome* 303. Roma: EFR.

Napoli, Maria Lia, Andrea Festa y Monica Barbero. 2022. «Practical classification of geotechnically complex formations with block-in-matrix fabrics». *Engineering Geology* 301, art. n.º 106595.

Napoli, Maria Lia, Lorenzo Milan, Monica Barbero y Claudio Scavia. 2020. «Identifying uncertainty in estimates of bimrocks volumetric proportions from 2D measurements». *Engineering Geology* 278, art. n.º 105831.

Nasti, Fara y Francesca Reduzzi (eds.). 2012. *Per una comune cultura dell'acqua. Dal Mediterraneo all'America del nord*. Cassino: Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale.

Negri, Giovanni. 1985. *Diritto Minerario Romano, I. Studi esegetici sul regime delle cave private nel pensiero dei giuristi classici*. Milán: Giuffrè Ed.

Nicolet, Claude. 1988. *L'inventaire du monde. Géographie et politique aux origins de l'Empire romain*. París: Fayard.

Nicosia, Cristiano y Goerges Stoops (eds.). 2017. *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*. Nueva York: John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781118941065.index

Okada, Sigheru, Yasushi Izumiya, Yunosuke Iizuka y Sumio Horiuchi. 1985. «The estimation of soft rock strength around a tunnel by needle penetration test». *Journal Japanes Society Soil Mechanics and Foundation Engineering* 33 (2): 35-38.

Olmo, Rubén. 2018. «Los legados asignados a gobernadores de provincias imperiales durante el Principado: ¿diferentes títulos, diferentes funciones?». *Dialogues d'Histoire Ancienne* 44 (2): 111-138.

Orejas, Almudena. 1996. *Estructura social y territorio. El impacto romano en la cuenca noroccidental del Duero. Anejos de AEspA* 15. Madrid: CSIC.

Orejas, Almudena. 1999 y 2003. *Atlas historique des zones minières d'Europe, I y II*. Luxembourg: Commission Européenne.

Orejas, Almudena. 2004. «La perception des mines anciennes hier et aujourd'hui». En *Espaces intégrés et gestion des ressources naturelles dans l'Empire*

Romain. Actes du Colloque International (Québec, 5 au 8 mars 2003): 49-58. Besançon: PUFC.

Orejas, Almudena. 2017. «Minatori durante l'Impero Romano: schiavi e lavoratori dipendenti». En *Spartaco. Schiavi e padroni a Roma* (Spazio espositivo Ara Pacis, 31/03 - 17/09/2017, Roma): 101-117. Roma: De Luca Editori d'Arte.

Orejas, Almudena, Brais X. Currás, Damián Romero, Sebastián Pérez-Díaz, Juan Luis Pecharromán, José Antonio López-Sáez y F. Javier Sánchez-Palencia. 2024. «Water reservoirs in north-western Hispania Roman gold mining: technology, chronology and paleoenvironmental evolution». *Environmental Archaeology*: 1-28. https://doi.org/10.1080/14614103.2023.2299909

Orejas, Almudena, Brais X. Currás, F. Javier Sánchez-Palencia, Inés Sastre, Juan Luis Pecharromán. 2023. «Economías locales, economía imperial paisajes provinciales del noroeste y occidente de Hispania. La investigación de zonas mineras». En *Conociendo nuestro pasado: proyectos e investigaciones arqueológicas en el CSIC,* editado por I. Montero Ruiz y A. Pizzo, 205-212. Madrid: CSIC.

Orejas, Almudena y Ángel Morillo. 2013. «*Asturica Augusta*: reflexiones sobre su estatuto y su papel territorial (finales del siglo i a. d. C. - principios del siglo iii d. C.)». En *Debita verba: estudios en homenaje al profesor Julio Mangas Manjarrés,* editado por R. Cid y E. García, 2, 93-119. Oviedo-Madrid: Universidad de Oviedo-UCM.

Orejas, Almudena y Domingo Plácido. 2000. «Las Médulas y la explotación minera en la Antigüedad. Las Médulas como ejemplo del concepto de *metallum*». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. Javier Sánchez-Palencia, 19-31. León: Instituto Leonés de Cultura.

Orejas, Almudena y Christian Rico. 2012. *Minería y metalurgia antiguas: visiones y revisiones homenaje a Claude Domergue*. *Collection de la Casa de Velázquez* 128. Madrid: Casa de Velázquez.

Orejas, Almudena y F. Javier Sánchez-Palencia. 2002. «Mines, Territorial Organization, and Social Structure in Roman Iberia: Carthago Noua and the Peninsular Northwest». *American Journal of Archaeology* 106 (4): 581-599. https://doi.org/10.2307/4126218.

Orejas, Almudena y F. Javier Sánchez-Palencia. 2006. «Les mines et les formes de coloniser les territoires dans l'Occident d'Hispania». En *Journeys through European Landscapes/Voyages dans les paysages européens,* editado por L. Lévêque, M. Ruiz del Árbol, L. Pop y Ch. Bartels, 101-105. Ponferrada: Fundación Las Médulas–Comisión Europea (COST).

Orejas, Almudena y F. Javier Sánchez-Palencia. 2014. «Los paisajes mineros de Hispania y la investigación en arqueominería». *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 24: 319-344.

Orejas, Almudena y F. Javier Sánchez-Palencia. 2016. «Del final de la conquista al inicio de la explotación minera: Augusto y el control del Noroeste hispano». En *Clausus est Ianus. Augusto e a transformación do noroeste hispano* (= *Philtáte* 1), editado por M.ª Dolores Dopico y M. Villanueva, 341-397. Lugo: Diputación de Lugo.

Orejas, Almudena, F. Javier Sánchez-Palencia, Brais X. Currás, José Antonio Ron y Luis F. López. 2019. «Campamentos militares durante la primera ocupación romana del noroeste de la península Ibérica». En *Accampamenti, guarnigioni e assedi durante la Seconda Guerra Punica e la conquista romana (secoli iii-i a. C.): prospettive archeologiche,* editado por B. Vallori Márquez, C. Rueda Galán y J.P. Bellón Ruiz, 97-111. Roma: Ed. Quasar.

Orejas, Almudena, F. Javier Sánchez-Palencia, Brais X. Currás, José Antonio Ron y Luis F. López. (en prensa). «La minería del oro romana en el occidente de la cordillera Cantábrica (Ancares y alto Navia. León, Lugo, Asturias)». En *Colloque Aquitania. Entre montagne et océan: hommes, milieux et territoires de l'Aquitaine aux sommets cantabres/ Entre montaña y océano: hombres, ambientes y territorios de Aquitania a las cumbres cantábricas (Santander 3-6 octubre 2023).*

Orejas, Almudena, F. Javier Sánchez-Palencia y Domingo Plácido. 2000. «La arqueología de una conquista». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. J. Sánchez-Palencia, 111-136. León: Instituto Leonés de Cultura.

Orejas, Almudena, F. Javier Sánchez-Palencia y José Antonio Ron. 2018. «Proyecto IVGA: Conquista, dominación y explotación minera entre el Conventus de los astures y el lucense». *Excavaciones Arqueológicas en Asturias 2013-2016:* 239-252. Oviedo: Gobierno del Principado de Asturias-Trabe, S.L.

Orejas, Almudena e Inés Sastre. 1999. «Fiscalité et organisation du territoire dans le Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique: *civitates*, tribut et *ager mensura conprehensus*». *Dialogues d'Histoire Ancienne* 25 (1): 159-188.

Orejas, Almudena e Inés Sastre. 2000. «El poblamiento romano en la ZAM y la diferenciación funcional». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. Javier Sánchez-Palencia, 253-283. León: Instituto Leonés de Cultura.

Orejas, Almudena e Inés Sastre. 2020. «Paisajes y territorios, urbes y *civitates* en la Hispania romana». En *Ciutats mediterrànies: l'espai i el territorio,* editado por F. Sabaté i Curull, 39-47. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

Orejas, Almudena, Inés Sastre y Brais X. Currás. 2024. «*Metalla* et *civitates*. Ámbitos de convergencia en Hispania Citerior». En *Agrupaciones cívicas, intracívicas y no cívicas de Hispania citerior,* editado por E. Ortiz de Urbina, 425-446. Roma: Carocci editore.

Orejas, Almudena, Inés Sastre y F. Javier Sánchez-Palencia. 2020. «Los Astures de los textos y de la arqueología». En *Docendo discimus. Homenaje a la profesora Carmen Fernández Ochoa. Anejos a CuPAUAM* 4, editado por L. Berrocal-Rangel y A. Mederos Martín, 201-210. Madrid: UAM. http://dx.doi.org/10.15366/ane4.ochoa2020.014

Orejas, Almudena, Inés Sastre, F. Javier Sánchez-Palencia y Brais X. Currás. 2023. «Les mineurs de l'or de Rome. Communautés indigènes dans les zones minières du Nord-ouest hispanique». En *Cultes et divinités dans les carrières et les mines de l'Empire romain. Coll. Fervet Opus* 10, dirigido por F. Gatto y F. van Haeperen, 193-237. Lovaina la Nueva: Presses Universitaires de Louvain.

Orejas, Almudena, Inés Sastre y Elena Zubiaurre. 2012. «Organización y regulación de la actividad minera hispana altoimperial». En *Paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica. Investigaciones recientes y nuevas líneas de trabajo,* editado por M. Zarzalejos, P. Hevia y Luis Mansilla, 31-46. Madrid: UNED.

Orejas, Almudena y Elena Zubiaurre. 2021. «*Metalla publica* en el occidente hispano. Las minas de oro del noroeste». En *Gestión y trabajo en las propiedades imperiales durante el reinado de Adriano: cinco casos de estudio,* editado por H. González Bordas y A. Alvar Ezquerra, 13-40. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.

Ott, Richard F., Nicolás Pérez-Consuegra, Dirk Scherler, Andrés Mora, Kimberly L. Huppert, Jean Braun, Gregory D. Hoke y José R. Sandoval Ruiz. 2023. «Erosion rate maps highlight spatio-temporal patterns of uplift and quantify sediment export of the Northern Andes». *Earth and Planetary Science Letters* 621, artº n.º 118354.

Pals, Jan P., Bas van Geel y A. Delfos. 1980. «Palaeoecological studies in the Klokkeweel bog near Hoogkarspel (Prov. of Noord-Holland)». *Review of Palaeobotany and Palynology* 30: 371-418.

Paniagua, David. 2016. *Sexto Julio Frontino, De aquaeductu urbis Romae. Las canalizaciones de agua de la ciudad de Roma.* Estudio introductorio, traducción y notas. Zaragoza: Libros Pórtico.

Pantaleón Cano, José, Ramón Pérez-Obiol, Erikarta I. Yll y Joan María Roure. 1996. «Significado de Pseudoschizaea en secuencias sedimentarias de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica e islas Baleares». En *Estudios Palinológicos, XI Simposio de palinología (A.P.L.E.),* editado por M.B. Ruiz Zapata, 101-105. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.

Paparazzo, Ernesto. 2008. «Pliny the Elder on Metals: philosophical and scientific issues». *Classical Philology* 103 (1): 40-54.

Perea Caveda, Alicia y F. Javier Sánchez-Palencia. 1995. *Arqueología del oro astur. Orfebrería y minería*. Oviedo: Caja de Asturias.

Pérez, Maurilio y Roberto Matías. 2008. «Plinio y la minería aurífera romana: nueva traducción e interpretación de Plin., Nat. 33.66-78». *Cuadernos de Filología Clásica. Estudios Latinos* 28: 43-58.

Pérez-Díaz, Sebastián, Almudena Orejas, F. Javier Sánchez-Palencia y José Antonio López-Sáez. 2021. «The Northwestern Iberian Mountains: Resilient Landscapes until the Augustan Conquest, 29-19 B.C.». *Landscapes* 22 (1): 3-25.

Pérez García, Luis Carlos. 1977. *Los sedimentos auríferos del NO de la Cuenca del Duero (Provincia de León, España) y su prospección.* Tesis doctoral inédita. Oviedo: Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad de Oviedo.

Pérez García, Luis Carlos. 1988. «Estudio geológico del yacimiento aurífero de Las Médulas de Carucedo». En M.ª D. Fernández-Posse y F. J. Sánchez-Palencia, *La Corona y el Castro de Corporales II. Campaña de 1983 y Prospecciones en La Cabrera y La Valderia (León). EAE* 153. Apéndice I, 243-248 y figs. 182-184. Madrid: Ministerio de Cultura-Junta de Castilla y León.

Pérez García, Luis Carlos. 1992. «Las Médulas de Carucedo, contribución a su conocimiento geológico». En *Actas del III Congreso Geológico de España y VIII Congreso latinoamericano de geología* 3: 273-279. Salamanca: Universidad de Salamanca.

Pérez García, Luis Carlos. 2001. «La mina de oro romana de Las Médulas». En *Patrimonio geológico de Castilla y León,* editado por R. Nuche del Rivero, 30-55. Madrid: ENRESA.

Pérez García, Luis Carlos y F. Javier Sánchez-Palencia. 1985. «Yacimientos auríferos ibéricos en la antigüedad». *Investigación y Ciencia* 104 (mayo): 64-75.

Pérez García, Luis Carlos y F. Javier Sánchez-Palencia. 1992. «Los yacimientos de oro de Las Médulas de Carucedo (León)». En *Recursos minerales de España,* coordinado por J. García Guinea y J. Martínez Frías, 861-873. Madrid: CSIC.

Pérez García, Luis Carlos y F. Javier Sánchez-Palencia. 2000a. «El yacimiento aurífero de Las Médulas: situación y geología». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F.J. Sánchez-Palencia, 144-157. León: Instituto Leonés de Cultura.

Pérez García, Luis Carlos y F. Javier Sánchez-Palencia. 2000b. «Los sistemas de explotación de la minería romana». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F.J. Sánchez-Palencia, 158-188. León: Instituto Leonés de Cultura.

Phillips, Emrys. 2006. «Micromorphology of a Debris Flow Deposit: Evidence of Basal Shearing, Hydrofracturing, Liquefaction and Rotational Deformation during Emplacement». *Quaternary Science Reviews* 25 (7-8): 720-738. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.07.004.

Pina, Francisco y Alejandro Díaz. 2019. *The Quaestorship in the Roman Republic*. Berlín-Boston: De Gruyter.

Plácido, Domingo y F. Javier Sánchez-Palencia. 2014. «La explicación de la minería de oro romana hispana en la Historia Natural de Plinio el Viejo, párrafos 66 a 78 del libro XXXIII». En *Minería en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal (Asturia y NE de Lusitania),* editado por F.J. Sánchez-Palencia, 17-34. Valladolid: Junta de Castilla y León-CSIC.

Ponte, Vanessa. 2010. «Régimen jurídico de las vías romanas». En *Las técnicas y las construcciones en la ingeniería romana*: 75-118. Fundación de la Ingeniería Técnica de Obras Públicas. http://www.traianvs.net/pdfs/2010_03_ponte.pdf

Postigo Mijarra, José María, Fernando Gómez Manzaneque y Carlos Morla Juaristi. 2008. «Survival and longterm maintenance of tertiary trees in the Iberian Peninsula during the Pleistocene: first record of *Aesculus* L. (Hippocastanaceae) in Spain». *Vegetation, History and Archaeobotany* 17: 351-364.

Postigo Mijarra, José María, Carlos Morla Juaristi, Eduardo Barrón, César Morales Molino y Salvia García. 2010. «Patterns of extinction and

persistence of arctotertiary flora in Iberia during the quaternary». *Review of Palaeobotany and Palynology* 162: 416-426.

Prémaillon, Mélody, Vincent Regard, Thomas Dewez e Yves Auda. 2018. «GlobR2C2 (Global Recession Rates of Coastal Cliffs): A global relational database to investigate coastal rocky cliff erosion rate variations». *Earth Surface Dynamics* 6 (3): 651-668.

Purcell, Nicholas. 1996. «Rome and the management of water: environment, culture and power». En *Human Landscapes in Classical Antiquity: environment and culture,* editado por J. Salmon y G. Shipley, 180-212. Londres: Routledge.

Quintavalla, Alberto. 2022. «Roman law and waters: how local hydrography framed regulation». *Water Alternatives* 15 (2): 457-472.

Rabat, Álvaro, Miguel Cano, Roberto Tomás, Ángel E. Tamayo y Leandro R. Alejano, 2020. «Evaluation of Strength and Deformability of Soft Sedimentary Rocks in Dry and Saturated Conditions Through Needle Penetration and Point Load Tests: A Comparative Study». *Rock Mechanics and Rock Engineering* 53: 2707-2726

Rackham, Harris. 1952. *Pliny. Natural History. Books XXXIII-XXXV. Loeb Classical Library* 394. Cambridge (Ma)-Londres: Harvard University Press (reimpr. 1995).

Ramírez-Oyanguren, Pedro y Leandro R. Alejano. 2004. *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Red DESIR (disponible en ResearchGate).

Reille, Maurice. 1992. *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Marsella: Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.

Reille, Maurice. 1995. *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Supplément* 1. Marsella: Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.

Rico, Christian y Almudena Orejas (eds.). 2018. *Los metales preciosos: de la extracción a la acuñación (Antigüedad-Edad Media). Les métaux précieux: de l'extraction à la frappe monétaire (Antiquité-Moyen Âge). Mélanges de la Casa de Velázquez* 48 (1). Madrid: Casa de Velázquez.

Rivas Martínez, Salvador. 1987. *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

ROCSCIENCE. 2020: *SLIDE. Software. www.rocscience.com*

ROCSCIENCE. 2021: *RS2: User's Manual. Manual de uso del programa de elementos finitos RS2. www.rocscience.com*

Rodà, Isabel (ed.). 2005. *Aqua romana. Técnica humana y fuerza divina*. Madrid: Ministerio de Cultura.

Rodríguez Colmenero, Antonio y Santiago Ferrer. 2010. «Redescubrimiento y reinterpretación de las tres inscripciones romanas dadas a conocer por Gómez Moreno en los canales de Las Médulas». *Larouco* 5: 227-230.

Rodríguez Fernández, Antonio. 2019. *Fiscalidad y ordenación del territorio en el occidente romano: su impacto social en el Noroeste de "Hispania" (ss. I a. C.-II d. C.)*. Tesis doctoral inédita. Madrid: UCM.

Rodríguez Fernández, Antonio. 2020. «La *tabula censualis* de Pelóu (Grandas de Salime, Asturias: HEp 18, 2009, 21) en el marco del Noroeste hispano: un ensayo de definición como documento de gestión militar». *Archivo Español de Arqueología* 93: 183-199.

Rodríguez Fernández, Luis Roberto, José María Toyos, Alejandro Díez Montes, Luis González Menéndez, Gloria Gallastegui, Nemesio Heredia, Luis Miguel Martín Parra, Francisco J. Rubio Pascual, Javier Fernández Lozano y Rodrigo Castaño de Luis. 2021. *Mapa y Memoria de la Hoja n.º 18 (Ponferrada). Mapa Geológico de España E. 1:200.000*. Primera edición en línea. Madrid: IGME- CSIC.

Rodríguez González, Pablo y Julio M. Vidal. 2000-2001. «Dos nuevos yacimientos castreños relacionados con la red hidráulica de Las Médulas». *Lancia* 4: 205-210.

Rodríguez Neila, Juan Francisco. 1988. «*Aqua publica* y política municipal romana». *Gerión* 6: 223-252.

Rosten, Edward y Tom Drummond. 2006. «Machine learning for high speed corner detection». *9th European Conference on Computer Vision* 1: 430-443.

Rosten, Edward, Reid Porter y Tom Drummond. 2010. «Faster and Better: A Machine Learning Approach

to Corner Detection». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* 32 (1): 105-119. https://doi.org/10.1109/TPAMI. 2008.275

Rubinos Pérez, Antonio. 2009. «Límites de la geocronología en el estudio de yacimientos de época histórica». *Munibe* 60: 331-347.

Rubio, Rubén. 2023. *Sociedad y territorio entre la primera Edad del Hierro y el final del mundo antiguo en el Alto Sil (León)*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Salamanca.

Rublee, Ethan, Vincent Rabaud, Kurt Konolige y Gary Bradski. 2011. «ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF». *2011 International Conference on Computer Vision, Barcelona, Spain*: 2564-2571. https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126544

Ruiz Alonso, Mónica, Sebastián Pérez Díaz y José Antonio López Sáez. 2019. «From glacial refugia to the current landscape configuration: permanence, expansion and forest management of *Fagus sylvatica* L. in the Western Pyrenean Region (Northern Iberian Peninsula)». *Vegetation, History and Archaeobotany* 28: 481-496.

Ruiz del Árbol, María, Inés Sastre y Domingo, Plácido. 2000. «El nuevo modelo de organización del territorio». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. Javier Sánchez-Palencia, 229-252. León: Instituto Leonés de Cultura.

Ruiz Pino, Salvador. 2017. «Algunos precedentes históricos de protección o defensa de los recursos naturales y de la *salubritas* en Roma. Hacia un derecho administrativo medioambiental romano». *Revista digital de derecho administrativo* 17: 91-109.

Sánchez, Javier, Nelson Monzón y Agustín Salgado. 2018. «An Analysis and Implementation of the Harris Corner Detector». *Image Processing* 8: 305-328. https//doi.org/10.5201/ipol.2018.229

Sánchez-Lafuente, Jorge. 2021. «Reflexiones sobre el *procurator C. Iulius Silvanus Melanio* y la controversia pagano-cristiana». En *Religión y cultos en la Meseta sur de Hispania durante época romana,* editado por G. Carrasco, 347-373. Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha.

Sánchez-Palencia, F. Javier. 1983. *La explotación del oro de Asturia y Gallaecia en la Antigüedad*. Tesis doctoral inédita. Madrid: UCM

Sánchez-Palencia, F. Javier. 1989.: «Explotación del oro en la Hispania Romana: sus inicios y precedentes». En *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas, Coloquio internacional asociado, Madrid 25-28 octobre 1985,* dirigido por Claude Domergue, II, 35-43. Madrid, Ministerio de Cultura.

Sánchez-Palencia, F. Javier (ed.). 2000. *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana*. León: Instituto Leonés de Cultura.

Sánchez-Palencia, F. Javier (comisario científico). 2002. *Las Médulas. Patrimonio de la Humanidad. Exposición en el Real Jardín Botánico del CSIC (Madrid) (16 de diciembre de 2002 a 22 de marzo de 2003)*. Salamanca: Junta de Castilla y León.

Sánchez-Palencia, F. Javier (ed.). 2014a. *Minería romana en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal (Asturia y NE de Lusitania)*. León: Junta de Castilla y León-Consejería de Cultura y Turismo.

Sánchez-Palencia, F. Javier. 2014b. «La minería romana de la Sierra de la Peña de Francia. Las zonas arqueológicas de Las Cavenes de El Cabaco y del Pinalejo y Tenebrilla (Salamanca)». En *Minería en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal (Asturia y NE de Lusitania),* editado por F. J. Sánchez-Palencia, 135-180. Valladolid: Junta de Castilla y León-CSIC.

Sánchez-Palencia, F. Javier. 2015. «La zona minera de Tresminas (Vilapouca de Aguiar). Aportaciones a partir de la fotografía aérea». *Conimbriga* 54: 179-223. https://doi. org/10.14195/1647-8657_54_7

Sánchez-Palencia, F. Javier, Yolanda Álvarez González y Luis F. López González. 1996. «La minería aurífera en *Gallaecia*». En *El Oro y la Orfebrería Prehistórica de Galicia,* 9-40. Lugo: Diputación Provincial de Lugo-Museo Provincial de Lugo.

Sánchez-Palencia, F. Javier y Brais X. Currás. 2015. «Campamentos romanos en zonas mineras del cuadrante noroeste de la Península Ibérica». En

Las Guerras Astur-Cántabras, coordinado por J. Camino, E. Peralta y J.F. Torres, 273-283. Gijón: KRK Ediciones.

Sánchez-Palencia, F. Javier y Brais X. Currás. 2017. «Minería del oro y explotación del territorio en Lusitania: estado de la investigación». En *IX Mesa Redonda Internacional de Lusitania. Lusitania Romana: del pasado al presente de la investigación,* editado por T. Nogales Basarrete, 393-415. Mérida: Museo Nacional de Arte Romano.

Sánchez-Palencia, F. Javier y M.ª Dolores Fernández-Posse. 1985. *La Corona y El Castro de Corporales I (Truchas, León). EAE* 141. Madrid: Ministerio de Cultura.

Sánchez-Palencia, F. Javier y M.ª Dolores Fernández-Posse. 1986-1987. «Vivienda y Urbanismo en la Asturia Interior: La Corona de Corporales». *Zephyrus* 39-45: 375-386.

Sánchez-Palencia, F. Javier y M.ª Dolores Fernández-Posse. 1998. «El beneficio del oro por las comunidades prerromanas del noroeste peninsular». En *Minerales y metales en la Prehistoria reciente. Algunos testimonios de su explotación y laboreo en la Península Ibérica.* Studia Archaeologica 88, coordinado por G. Delibes de Castro, 227-246. Valladolid: Universidad de Valladolid- Fundación Duques de Soria.

Sánchez-Palencia, F. Javier, M.ª Dolores Fernández-Posse y Julio Fernández Manzano. 1992. *La Zona Arqueológica de Las Médulas. Estudio de viabilidad para su conversión en Parque Arqueológico.* I.C.R.B.C. Documento inédito. Madrid: Ministerio de Cultura.

Sánchez-Palencia, F. Javier, M.ª Dolores Fernández-Posse, Julio Fernández Manzano y Almudena Orejas. 1996. *La zona arqueológica de Las Médulas (León). Guía Arqueológica*. Salamanca: Junta de Castilla y León-Fundación Cultural Banesto.

Sánchez-Palencia, F. Javier, M.ª Dolores Fernández-Posse, Julio Fernández Manzano, Almudena Orejas y Luis Carlos Pérez García. 1998. «Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero». *Boletín Geológico y Minero (El Oro en Epaña)* 109 (5-6): 157-168.

Sánchez-Palencia, F. Javier, M.ª Dolores Fernández-Posse, Almudena Orejas y Luis Carlos Pérez García. 1992. «Las Médulas». En *Actas del III Congreso Geológico de España y VIII Congreso latinoamericano de Geología* 3: 339-346. Salamanca: Universidad de Salamanca.

Sánchez-Palencia, F. Javier y A. García. 2014. «El posible uso del mercurio en las minas de oro del Noroeste de Hispania: Las Médulas y Las Cavenes de El Cabaco». En *Minería en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal (Asturia y NE de Lusitania),* editado por J. Sánchez-Palencia, 231-242. Valladolid: Junta de Castilla y León-CSIC.

Sánchez-Palencia, F. Javier y Julio Mangas (coords.). 2001. *El Edicto del Bierzo y la primera organización del Noroeste por Augusto*. León: Fundación Las Médulas.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Almudena Orejas, Brais X. Currás, Inés Sastre, Damián Romero, Juan Luis Pecharromán, Yolanda Álvarez, Luis F. López y Óscar García-Vuelta. 2023. «Paisajes del oro en la Hispania romana: retrospectivas y perspectivas». En *Mines et métallurgies anciennes. Mélanges en l'honneur de Béatrice Cauuet,* editado por E. Meunier, J.-M. Fabre, E. Hiriart, S. Mauné y C.G. Tamas, 153-161. Bordeaux: Ausonius Éditions. https://doi.org/10.13039/501100004837

Sánchez-Palencia, F. Javier, Almudena Orejas, Inés Sastre y Luis Carlos Pérez García. 2006. «Las zonas mineras romanas del noroeste peninsular. Infraestructura y organización del territorio». En *Nuevos elementos de ingeniería romana. III Congreso de las Obras Públicas Romanas*, coordinado por I. Moreno Gallo, 265-285. Valladolid: Junta de Castilla y León.

Sánchez-Palencia, F. Javier y Luis Carlos Pérez García. 2000a. «La red hidráulica de Las Médulas: canales y depósitos». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F. J. Sánchez-Palencia, 189-207. León: Instituto Leonés de Cultura.

Sánchez-Palencia, F. Javier y Luis Carlos Pérez García. 2000b. «El lavado del oro y la evacuación de los estériles». En *Las Médulas (León). Un paisaje*

cultural en la Asturia Augustana, editado por F. J. Sánchez-Palencia, 207-226. León: Instituto Leonés de Cultura.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Luis Carlos Pérez García y Almudena Orejas. 1999. *El oro de las Médulas. Cuadernos de la Fundación Las Médulas* 1. Ponferrada: Fundación Las Médulas.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Luis Carlos Pérez García y Almudena Orejas. 2000. «Geomorphology and Archaeology in the Las Médulas Archaeological Zone (ZAM) (León, Spain). Evaluation of wastes and gold production». En *Geoarcheology of Landscapes of Classical Antiquity,* editado por F. Vermeulen y M. De Dapper, 167-177. Leiden: Babesch.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Luis Carlos Pérez García, Almudena Orejas, M.ª Dolores Fernández-Posse y Julio Fernández Manzano. 1999. «Las Médulas (León)». En *Atlas historique des zones minières d'Europe,* editado por A. Orejas, I, dossier III. Luxemburgo: Commission Européenne.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Damián Romero y Alejandro Beltrán. 2018. «Geoarqueología del oro en la zona minera de Pino del Oro (Zamora)». En *Los metales preciosos: de la extracción a la acuñación (Antigüedad-Edad Media). Les métaux précieux: de l'extraction à la frappe monétaire (Antiquité-Moyen Âge). Mélanges de la Casa de Velázquez* 48 (1), editado por Chr. Rico y A. Orejas, 63-87. Madrid: Casa de Velázquez.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Damián Romero, Alejandro Beltrán, Juan Luis Pecharromán y Brais X. Currás. 2014. «La zona minera de Pino del Oro (Zamora)». En *Minería en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal (Asturia y NE de Lusitania),* editado por F.J. Sánchez-Palencia, 181-215. Valladolid: Junta de Castilla y León-CSIC.

Sánchez-Palencia, F. Javier e Inés Sastre. 2002. «La red hidráulica en las minas romanas de oro del noroeste hispano: Las Médulas». En *Artifex: ingeniería romana en España. Museo Arqueológico Nacional, Madrid, marzo-julio de 2002,* coordinado por I. González Tascón, 241-254. Madrid: Ministerio de Educación Cultura y Deporte. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1046907

Sánchez-Palencia, F. Javier, Inés Sastre, Almudena Orejas y María Ruiz del Árbol. 2017. «Augusto y el control administrativo y territorial de las zonas mineras del Noroeste hispano». *Gerión* 35: 863-874.

Sánchez-Palencia, F. Javier y Valentín Suárez. 1985. «La minería antigua de oro en Asturias». *Libro de la Mina:* 221-241. Vitoria: Mases Eds.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Alberto Vaudagna, Juan Luis Pecharromán y Eneko, Iriarte. 2014. «La minería romana de oro en Italia: la Bessa (Biella) como precedente republicano de la minería en Hispania». *Informes y Trabajos. Excavaciones en el exterior* 11, 2012: 55-72.

Sánchez-Palencia, F. Javier, Alberto Vaudagna, Juan Luis Pecharromán y Eneko Iriarte. 2018. «La zona minera de La Bessa (Italia): sectores de explotación y evaluación de las labores». En *Los metales preciosos: de la extracción a la acuñación (Antigüedad-Edad Media). Les métaux précieux: de l'extraction à la frappe monétaire (Antiquité-Moyen Âge). Mélanges de la Casa de Velázquez* 48 (1), editado por Chr. Rico y A. Orejas, 43-62. Madrid: Casa de Velázquez. https://doi.org/10.4000/mcv.8191.

Sanjurjo-Sánchez, Jorge, Jordi Morera Camprubí y Oriol Olesti Vila. 2025. «First Evidence of Roman Gold Mining Obtained by Luminescence Dating of Sediments in Les Guilleteres D'All (Cerdanya, Girona, Eastern Pyrenees)». Land 14, n.º 9: 1912. https://doi.org/10.3390/land14091912

Sari, Mehmet. 2021. «Secondary toppling failure analysis and optimal support design for ignimbrites in the Ihlara Valley (Cappadocia, Turkey) by finite element method (FEM)». *Geotechnical and Geological Engineering* 39 (7): 5135-5160.

Sastre, Inés. 1999. «Nueva inscripción funeraria de un *vet. Leg. VII G.F.* procedente de la Zona Arqueológica de Las Médulas (León, España)». *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik* 125: 257-258.

Sastre, Inés. 2002. *Onomástica y relaciones políticas en la epigrafía del conventus Asturum durante el Alto Imperio. Anejos de AEspA* XXV. Madrid: CSIC.

Sastre, Inés. 2012. «Las zonas mineras auríferas en el sistema provincial altoimperial: el caso del Noroeste hispano». En *Minería y metalurgia antiguas. Visiones y revisiones. Homenaje a Claude Domergue. Collection de la Casa de Velázquez* 128, editado por A. Orejas y Chr. Rico, 255-259. Madrid: Casa de Velázquez.

Sastre, Inés 2023. «Kinship and Hospitality as Aristocratic Power Strategies in Hispania: On 'Indigenous Organizational Units'». *Athenaeum* 2: 547-574.

Sastre, Inés y Almudena Orejas. 2000. «Las aristocracias locales y la administración de las minas». En *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana,* editado por F.J. Sánchez-Palencia, 284-306. León: Instituto Leonés de Cultura.

Sastre, Inés y F. Javier Sánchez-Palencia. 2002. «La red hidráulica de las minas de oro hispanas: aspectos jurídicos, administrativos y políticos». *Archivo Español de Arqueología* 75: 215-233.

Scarascia-Mugnozza, Giuseppe, Helfried Oswald, Pietro Piussi y Kalliopi Radoglou. 2000. «Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs». *Forest Ecology and Management* 132: 97-109.

Schiffer, Michael B. 1986: «Radiocarbon dating and the «old wood» problem: The case of the Hohokam chronology». *Journal of Archaeological Science* 13 (1): 13-30.

Schweingruber, Fritz Hans. 1990. *Anatomie europäischer Hölzer.* Berna- Stuttgart: Paul Haupt.

Sensi, Luigi. 1992. «L'iscrizione rupestre di Triponzo e la via Nursina». En *Rupes Loquentes. Atti del convegno internazionale di studio sulle inscrizioni rupestri di etá romana in Italia,* editado por L. Gasperini, 243-252. Roma: Istituto italiano per la storia antica.

Shaw, Brent D. 1982: «*Lamasba*: an Ancient Irrigation Community». *Antiquités Africaines* 18: 61-103.

Shumilovskikh, Lyudmila S., Elena S. Shumilovskikh, Frank Schlütz y Bas Van Geel. 2022. «NPP ID: Non Pollen Palynomorph Image Database as a research and educational platform». *Vegetation History And Archaeobotany* 31: 323-328.

Sonmez, Hulya, Murat Ercanoglu, Aycan Kalender, Gulseren Dagdelenler y Celai Tunusluoglu. 2016. «Predicting uniaxial compressive strength and deformation modulus of volcanic bimrock considering engineering dimensión». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 86: 91-103.

Sonmez, Hulya, Erçin Kasapoglu, Abdullah Coskun, Celai Tunusluoglu, Edmund Medley y Robert W. Zimmerman. 2009. «A conceptual empirical approach for the overall strength of unwelded bimrocks». *Proceedings The Regional Symposium of the International Society for Rock Mechanics:* 357-360. Dubrovnik, Croacia: EUROCK.

Starfield, Anthony M. y Peter A. Cundall. 1988. «Towards a methodology for rock mechanics modeling». *International Journal of Rock Mechanics and Sciences & Geomechanics Abstracts* 25 (3): 99-106.

Stoops, Georges. 2021. *Guidelines for analysis and description of regolith thin sections (Second edition).* Hoboken (NJ): ASA, CSSA and SSSA books (Wiley-ACCESS).

Stoops, Georges, Vera Marcelino y Florias Mees (eds.). 2010. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths.* Ámsterdam: Elsevier.

Suspène, Arnaud, Maryse Blet-Lemarquand, Frédérique Duyrat y Sylvia Nieto-Pelletier. 2023a. *Avrevs. Le Pouvoir de l'or. The Power of gold.* Burdeos: Ausonius.

Suspène, Arnaud, Maryse Blet-Lemarquand y Dorian Bocciarelli, 2023b. «Roman gold coinage from Augustus to the year of the Four Emperors». En *Avrevs. Le Pouvoir de l'or. The power of gold. Scripta Antiqua* 171, editado por A. Suspène, M. Blet-Lemarquand, F. Duyrant, S. Nieto-Pelletier, 499-537. Burdeos: Ausonius.

Syme, Ronald. 1969. «Pliny the Procurator». *Harvard Studies in Classical Philology* 73: 201-236 (publicado también en: R. Syme 1979. *Roman Papers,* editado por E. Badian, II, 742-773. Oxford: Oxford University Press).

Texier, Jean-Pierre y José Meireles. 2003. «Relict Mountain Slope Deposits of Northern Portugal:

Facies, Sedimentogenesis and Environmental Implications». *Journal of Quaternary Science* 18 (2): 133-150. https://doi.org/10.1002/jqs.752

Théry-Parisot, Isabelle. 2001. Économie des combustibles au Paléolitique. Expérimentation, taphonomie, anthracologie. *Dossier de Documentation Archéologique* 20. París: CNRS.

Trigo García, Antonio, Patricia Fuentes Melgar, F. Javier San Vicente, Jimena Martínez Quintana y Jesús Celis Sánchez. 2020. *Propuesta de intervención y solicitud de permiso de actividad arqueológica en el marco del proyecto de protección y adecuación para la visita pública del castro Peña del Hombre (Fase II)*. Paradela de Muces, Priaranza del Bierzo, León: Diputación de León-Instituto Leonés de Cultura-Junta de Castilla y León-Fundación Las Médulas- Ayuntamiento de Priaranza del Bierzo.

Trigo García, Antonio, Rubén Rubio Díez, Patricia Fuentes Melgar y F. Javier San Vicente. 2017. *Informe preliminar de los trabajos de Arqueología realizados en el Castro de La Peña del Hombre. 2017 (Paradela de Muces, Priaranza, León)*. III Campo de Trabajo de Arqueología y Restauración.

Trigo García, Antonio, Rubén Rubio Díez, Patricia Fuentes Melgar y F. Javier San Vicente. 2018. *Informe de los trabajos arqueológicos realizados en el Castro de La Peña del Hombre. 2018 (Paradela de Muces, Priaranza, León)*. Junta de Castilla y León-Fundación Las Médulas-Ayuntamiento de Priaranza del Bierzo.

Trigo García, Antonio, Rubén Rubio Díez, F. Javier San Vicente y Patricia Fuentes Melgar. 2016. *Informe técnico de los trabajos realizados en el Castro de la Peña del Hombre (Paradela de Muces, Priaranza del Bierzo, León). Tomo I, texto*. Fundación Las Médulas. II Campo de trabajo de Arqueología y Restauración-Junta de Castilla y León-Fundación Las Médulas-Ayuntamiento de Priaranza del Bierzo.

Unesco. 2021. *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention* (WHC.21/01 2021). https://whc.unesco.org/en/guidelines/ Consultado 08/06/2023.

Vallori Márquez, Bartomeu, Carmen Rueda Galán y Juan Pedro Bellón Ruiz (eds.). 2019. *Accampamenti, guarnigioni e assedi durante la Seconda Guerra Punica e la conquista romana (secoli III-I a. C.): prospettive archeologiche*. Roma: Ed. Quasar.

van Geel, Bas. 1978. «A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals». *Review of Palaeobotany and Palynology* 25: 1-120.

van Geel, Bas. 2001. «Non-pollen palynomorphs». En *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators,* editado por J.P. Smol, H.J.B. Birks y W.M. Last, 99-119. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

van Geel, Bas, Sjoerd J.P. Bohncke y Henry Dee. 1981. «A palaeoecological study of an Upper Late Glacial and Holocene sequence from De Borchert». *The Netherlands. Review of Palaeobotany and Palynology* 31: 367-448.

van Geel, Bas, Janneke Buurman, Otto Brinkkemper, Jaap Schelvis, Andre Aptroot, Guido van Reenen y Tom Hakbijl. 2003. «Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi». *Journal of Archaeological Science* 30: 873-883.

van Geel, Bas, G. Russell Coope y Thomas van der Hammen. 1989. «Palaeoecology and stratigraphy of the Late-glacial type section al Usselo (The Netherlands)». *Review of Palaeobotany and Palynology* 60: 25-129.

van Geel, Bas, David P. Hallewas, y Jan P. Pals. 1983. «A Late Holocene deposit under the Westfriese Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of N-Holland, The Netherlands): palaeoecological and archaeological aspects». *Review of Palaeobotany and Palynology* 38: 269-335.

Vepraskas, Michael J., David L. Lindbo y Marrk H. Stolt. 2018. «Chapter 15 - Redoximorphic Features». En *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths (Second edition),* editado

por G. Stoops, V. Marcelino y F. Mees, 425-445. Amsterdam: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63522-8.00015-2

Vernet, Jean-Louis, Evelyne Bazile y Jacques Evin. 1979. «Coordination des analyses anthracologiques et des datations absolues sur charbons de bois». *Bull. Soc. Préhist. Fr*. 76 (3): 76-79.

Vidal, Julio M. 2015a. «Abierto por inventario: novedades castreñas en las comarcas de La Cabrera y Valdería (León)». En *Fortificaciones en la Edad del Hierro. Control de los recursos y el territorio,* coordinado por Ó. Rodríguez Monterrubio, R. Portilla Casado, J. C. Sastre Blanco y P. Fuentes Melgar, 51-80. Valladolid: Glyphos Publs.

Vidal, Julio M.. 2015b. «Los castros de La Cabrera y la Valdería: no estaban todos los que eran». *Argutorio*: 33: 34-38.

Vidal, Julio M.. 2015c «La aportación de las infraestructuras de datos espaciales al conocimiento de nuevos sitios castreños en la provincia de León». *Férvedes* 8: 25-34.

Vidal, Julio M. 2015d. «Los castros arriscados en la provincia de León: un grupo castreño singular». En *Evolución de los espacios urbanos y sus territorios en el Noroeste de la Península Ibérica. Estudios Humanísticos. Historia* 16, editado por R. Martínez-Peñín y G. Cavero, 339-401. León: Universidad de León.

Vidal, Julio M. 2015e. «Arrabalde y los 'castros arriscados' de la Sierra de la Culebra: analogías o diferencias con los de las Sierras del Teleno y la Cabrera». En *Fortificaciones en la Edad del Hierro: control de los recursos y el territorio,* editado por Ó. Rodríguez, R. Portilla, J.C. Sastre y P. Fuentes, 451-478. Valladolid: Glyphos Publs.

Vidal, Julio M.. 2018a. «Los castros tipo "Sierra de la Culebra" en la provincia de León». En *Arqueología en el Valle del Duero: del Paleolítico a la Edad Media,* coordinado por N. Hernández Gutiérrez, J. Larrazábal Galarza y R. Portero Hernández, 275-296. Valladolid: Glyphos Publs.

Vidal, Julio M. 2018b. «Una aproximación a la morfología de ciertos asentamientos castreños de la provincia de León». *Férvedes* 9: 75-86.

Vidal, Julio M., José Manuel Costa, David González y Andrés Menéndez. 2018. «La presencia del ejército romano en las montañas de El Bierzo (León): novedades arqueológicas». *Anales de Arqueología Cordobesa* 29: 85-110.

Viedma, Antonio y Blas Zamora. 1997. *Teoría de máquinas hidráulicas*. Editum. Murcia: Ediciones de la Universidad de Murcia.

Villa, Ángel. 2007. «Explotación aurífera en la Sierra de Begega (Belmonte de Miranda): principales resultados de la intervención arqueológica». *Excavaciones Arqueológicas de Asturias 1999-2002:* 295-303. Oviedo: Principado de Asturias.

Villa, Ángel. 2010. «El oro en la Asturias Antigua: beneficio y manipulación de los metales preciosos en torno al cambio de era». En *Cobre y Oro. Minería y Metalurgia en la Asturias prehistórica y antigua,* coordinado por J. Fernández-Tresguerres, 83-125. Oviedo: RIDEA.

Villa, Ángel, Julián De Francisco Martín y Geza Alföldy. 2005. «Noticia del hallazgo de un epígrafe altoimperial en el lugar de Pelóu, Grandas de Salime (Asturias)». *Archivo Español de Arqueología* 78: 271-274.

Villa, Ángel y José Antonio Fanjul. 2006. «Avance al estudio arqueológico de las labores auríferas de época romana de Carlés (Asturias, España)». En *Actas 3.º Simposio sobre mineraçao e metalurgia historicas no Suroeste Europeo:* 141-155. Oporto: SEDPGYM.

Villa, Ángel y Almudena Orejas. 2024. «Convergencias y divergencias en la configuración de *civitates* en el Cantábrico astur-galaico. Una lectura arqueológica». En *Specula Populi Romani? Revisitando el papel de la ciudad romana. Philtáte* 6, editado por D. Dopico y M. Villanueva, 211-137. Lugo: Diputación Provincial de Lugo.

Villar, Francisco. 2000. *Indoeuropeos y no indoeuropeos en la Hispania prerromana: las poblaciones y las lenguas prerromanas de Andalucía, Cataluña y Aragón según la información que nos proporciona la toponimia*. Salamanca: Universidad de Salamanca.

White, Kenneth D. 1984. *Greek and Roman Technology*. Londres: Thames and Hudson (reimpresión de 1986).

Willi, Anna. 2012. «Irrigation in the West of the Roman Empire. A Survey of the Epigraphic Evidence». *Congressus Internationalis Epigraphiae Graecae et Latinae* (poster). Berlín: CIEGL. https://www.academia.edu/45025121/Irrigation_ in_the_West_of_the_Roman_Empire_A_Survey_of_the_Epigraphic_Evidence

Xu, Wen-jie, Qiang Xu y Hu Rui-Lin. 2011. «Study on the shear strength of soil-rock mixture by large-scale direct shear test». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 48: 1235-1247.

Yeres. 2018. *Poblamiento tardoantiguo y altomedieval en el EC Las Médulas Intervención arqueológica en La Corona (Yeres, Puente de Domingo Flórez)*. Informe preliminar inédito. Ayuntamiento de Puente de Domingo Flórez-Universidad de León-Fundación Las Médulas.

Zanovello, Paola. 1997. «Vie di montagne e passaggi in galleria nelle fonti letterarie et epigraphiche». En *Via per montes excise. Strade in galleria e passaggi sotterranei nell'Italia romana,* editado por M.S. Busana, 59-79. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Zehnacker, Hubert. 1983. *Pline l'Ancien. Histoire Naturelle. Livre XXXIII*. París: Les Belles Lettres.

Zhang, Zong-Liang, Wen-jie Xu, Wei Xia y Hai-Jang Zhang. 2016. «Large-scale in-situ test for mechanical characterization of soilrock mixture used in an embankment dam[J]». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 86: 317-322.

Zubiaurre, Elena y Alejandro Beltrán. 2017: «El conjunto epigráfico de Villalís-Luyego-Priaranza de la Valduerna (León). Una propuesta de interpretación». En *Presente y futuro de los paisajes mineros del pasado: Estudios sobre minería, metalurgia y poblamiento*. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 24, editado por L.J. García Pulido, L. Arboledas Martínez, E. Alarcón García y F. Contreras Cortés, 377-387. Granada: Universidad de Granada.

ANEXOS

Anexo I. Propuesta de ampliación de la zona arqueológica de Las Médulas como BIC. Criterios, delimitación y recomendaciones

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Almudena Orejas
Instituto de Historia del CSIC

Nekbet Corpas
Instituto de Historia del CSIC

CRITERIOS

Tanto en la Declaración de Las Médulas como Patrimonio Mundial en 1997, como en el documento de Declaración retrospectiva de Valor Universal Excepcional (VUE) de Las Médulas en 2021, se incide en el esencial papel de la red hidráulica que hizo posible la explotación minera. El criterio (i) de la declaración incluye la energía hidráulica, en particular aplicada a la *ruina montium,* como uno de los pilares de Las Médulas como «obra capital del ingenio creativo humano». En los criterios (ii) y (iv) se insiste en el papel de la minería en la creación de un paisaje cultural, en el que la gestión del agua resultó esencial en su rápido proceso de antropización. El criterio (iii) explícitamente subraya que a través de Las Médulas se aprecian los conocimientos y aplicaciones técnicas que sustentaron el eficaz empleo de la energía del agua. Además, su integridad se argumenta, entre otras cosas, por la conservación de relevantes y diversos elementos que explican los complejos y amplios sistemas hidráulicos y su autenticidad por el estado en que muchos de ellos se han preservado, dados los limitados y poco invasivos usos que de ellos se ha hecho posteriormente y que han permitido un *re-asilvestramiento* de la zona, que ha facilitado, en general, su conservación.

Todo ello justifica sobradamente la necesidad de valorar y proteger adecuadamente las redes hidráulicas de Las Médulas, no como elementos secundarios o periféricos, sino como sistemas fundamentales para entender globalmente tanto los aspectos técnicos de la explotación minera, como el establecimiento de nuevas formas de poblamiento y ocupación del espacio.

1. Las redes que posibilitaron el abastecimiento de agua a Las Médulas constituyen un sistema a la vez singular y representativo de la tecnología hidráulica romana y de la capacidad del Imperio para controlar y gestionar amplios territorios:

- Su extensión y la densidad del sistema suponen un amplio impacto en el conjunto del

paisaje. En primer lugar, por su construcción, que implicó la aplicación de distintas técnicas y soluciones: tajos en afloramientos de roca, muros de contención en laderas pendientes, pequeños tramos de túneles, acondicionamiento de taludes, construcción de cajas para los canales o excavación del trazado de los canales o de los vasos de los depósitos. En segundo lugar, por su uso, que supuso la creación de un sistema artificial de conducción y almacenamiento del agua, que alteró el régimen natural. En tercer lugar, por las tareas vinculadas a su mantenimiento, limpiezas y reparaciones.

- Más que como elementos lineales (canales) o nodos (depósitos) hay que entender que el conjunto de las laderas surcadas por la red fue objeto de intervención para la construcción y mantenimiento de esta infraestructura. Para ello fueron necesarias algunas operaciones de gran impacto, como la habilitación de accesos o la deforestación parcial mediante talas y quemas.
- La red es prueba material de una serie de conocimientos y prácticas fundamentalmente sobre la gestión del agua y sobre topografía. Solo así se entiende la capacidad para establecer largos trazados, creando soluciones adaptadas, respondiendo a los requisitos topográficos y morfológicos de los canales: una pendiente muy moderada, un ancho más o menos estable o cajas que permitiesen la circulación de una lámina de agua limitando pérdidas.
- Todo ello muestra un profundo control territorial por parte de Roma y su capacidad para intervenir en puntos lejanos y de difícil accesibilidad.

2. Como sistema, su esencia son las relaciones entre los distintos elementos, que hace que no sea una suma de ítems (tramos de canales, depósitos, labores, poblados) sino un paisaje cultural íntegro y continuo.

3. Canales y depósitos son el resultado de muchas jornadas de trabajo desempeñado por las comunidades indígenas locales astures. El sistema fiscal de Roma y las imposiciones sobre las poblaciones conquistadas y sometidas hicieron posible la aplicación de fórmulas como el trabajo tributario. En Las Médulas, como en el conjunto de las minas de oro del noroeste hispano, esto hizo viable una explotación en la que las minas públicas *(metalla publica)* se beneficiaron gracias a las corveas *(operae)* debidas a Roma. Roma ejerce así sus derechos sobre el suelo y las gentes dominados. La red hidráulica minera es una evidencia de cómo el trabajo transforma el paisaje, convirtiéndolo en creación cultural.

4. La red hidráulica es pieza esencial de la autenticidad de Las Médulas. Hasta hace pocas décadas, este sistema había sufrido escasas alteraciones antrópicas, fundamentalmente limitadas al paso de personas, del ganado y al acceso al monte. Así, ha quedado integrada en un paisaje rural, que a su vez ha contribuido a configurar ya que ha dado lugar a cambios duraderos en la topografía, en la circulación del agua y en la cubierta vegetal.

5. No se trata, sin embargo, de un paisaje fosilizado hace dos mil años, ya que todos estos cambios han condicionado históricamente los usos del suelo y son, hoy, elementos activos en la configuración de este paisaje rural vivo, en aspectos que van desde la circulación, a la toponimia, o a la existencia de terrenos más adecuados para el cultivo. Esto implica la necesidad de adoptar una visión diacrónica, que es consustancial al paisaje cultural.

6. Solo recientemente, algunos segmentos se han visto más alterados, sobre todo por canteras e infraestructuras anexas (pistas, naves, escombreras) y por algunos trabajos de supuesta limpieza, rehabilitación o accesibilidad a canales, que por su extensión y metodología están contribuyendo a su deterioro.

7. La delimitación propuesta tiene en cuenta igualmente, un punto esencial en la integridad y percepción del paisaje: los aspectos visuales, que contribuyen a mostrar su coherencia geohistórica. De acuerdo con el Convenio Europeo del Paisaje, precisamente esta vertiente del paisaje, la percepción por la población, es la que otorga integridad

cultural y natural al paisaje. Se convierte así en elemento clave en la protección, ordenación y gestión paisajística. Por otro lado, esta propuesta responde plenamente al concepto de *paisaje cultural* recogido en la Convención de Patrimonio Mundial, como «las obras conjuntas del hombre y la naturaleza. Ilustran la evolución de la sociedad humana y sus asentamientos a lo largo del tiempo, condicionados por las limitaciones y/o oportunidades físicas que presenta su entorno natural y por las sucesivas fuerzas sociales, económicas y culturales, tanto externas como internas».

Delimitación (fig. 397)

La delimitación del BIC «Zona arqueológica de Las Médulas y de su red hidráulica» (BIC – ZAMRedH) que se propone es la definida por un polígono de 49 563 hectáreas del territorio de la provincia de León con los siguientes vértices, desde el extremo suroeste y siguiendo la dirección de las agujas del reloj:

(TM = término municipal. CF = curso fluvial)

A. Desembocadura del río Cabrera en el río Sil, en el punto donde intersecta también el límite del TM de Puente de Domingo Flórez.

Desde aquí seguiría, primero en dirección norte y luego en dirección este, el mismo límite del TM de Puente de Domingo Flórez hasta el vértice B.

B. Intersección de los TM de Puente de Domingo Flórez y Borrenes.

Desde aquí seguiría, primero en dirección este y luego en dirección sur, el mismo límite del TM de Borrenes hasta el vértice C.

C. Intersección del TM de Borrenes con la carretera local Le-191/5 que sale de la nacional N-536 en dirección a Villavieja.

Desde ese punto, seguiría el trazado de la carretera local Le-191/5 hasta el vértice D.

D. Intersección de la carretera local Le-191/1, que va a Villavieja, con una línea situada a 200 m (distancia lineal) por debajo del canal C8.

Desde ahí, seguiría esa línea situada a 200 m por debajo del canal C8 hasta el vértice E.

E. Intersección de una línea situada a 200 m por debajo del canal C8 con el arroyo de Peñalba.

Desde ahí, seguiría el CF del arroyo de Peñalba hasta el vértice F.

F. Desembocadura del arroyo del Silencio en al arroyo de Peñalba.

Desde ese punto seguiría el CF del arroyo del Silencio hasta alcanzar en lo alto de su cabecera la cota 1978, donde se sitúa el vértice G.

G. Pico de los Montes Aquilianos donde se sitúa la cota 1978, entre las cimas de Pico Tuerto y el Alto de las Berdiaínas.

Desde ahí seguiría la cordal de los Montes Aquilianos en dirección este hasta alcanzar el Puerto de los Portillinos, donde se sitúa el vértice H.

H. Puerto de los Portillinos entre los puntos kilométricos 27 y 28 de la carretera comarcal LE-5228.

Desde ahí seguiría el trazado de dicha carretera LE-5228 hasta que esta cruza el río Eria a la altura del Pontón del Arenal, donde se sitúa el vértice I.

I. Cruce de la carretera comarcal LE-5228 sobre el río Eria en el Pontón del Arenal.

Desde ahí seguiría el CF del río Eria hasta el vértice J.

J. Intersección del CF del río Eria con una línea 200 m por debajo del canal C27.

Desde ahí seguiría una línea paralela y a 200 m por debajo del canal C27 hasta alcanzar el vértice K.

K. Intersección de una línea 200 m por debajo del canal C27 con el río del Lago, afluente por la margen derecha del río Truchillas.

Desde ahí seguiría el CF del río del Lago hasta alcanzar la cota 2014 en el Alto de Peña Negra.

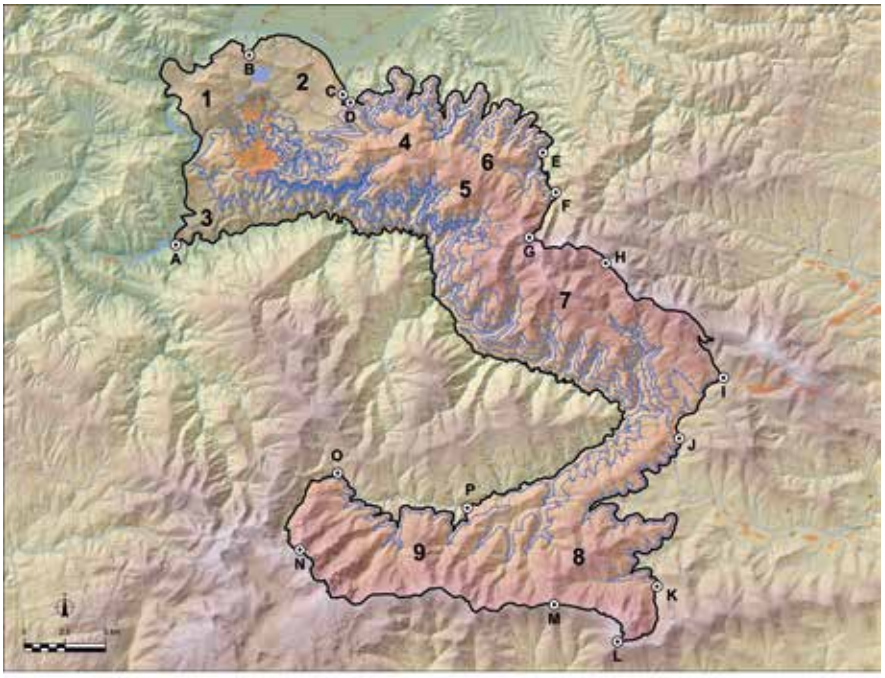
L. Alto de Peña Negra, cota 2014.

Desde este punto seguiría el trazado del TM de Truchas en dirección oeste hasta el vértice M.

M. Intersección de los TM de Truchas y Encinedo.

Desde este punto seguiría en dirección oeste el trazado del término de Encinedo hasta la cota 2064, situada al sur del pico Picón (2079 m).

N. Cota 2064 en el trazado del TM de Encinedo, justo al sur del pico Picón (2079 m).



1, Carucedo. 2, Borrenes. 3, Puente de Domingo Flórez. 4, Priaranza de la Valduerna. 5. Benuza. 6, Ponferrada. 7, Castrillo de Cabrera. 8, Truchas. 9, Encinedo

Fig. 397. Delimitación de la propuesta de ampliación del BIC de la Zona arqueológica de Las Médulas y su red hidráulica (ZAMRedH).

Desde esa cota bajaría por el arroyo del Lago, pasando por el mismo lago de la Baña hasta alcanzar el vértice O.

O. Confluencia del arroyo del Lago con el río Cabrera, aguas arriba de La Baña.

Desde allí seguiría esa línea 200 m por debajo del C24 hasta que esta línea interseca el CF del arroyo de la Vallinafonda, afluente del río Cabrera situado entre Losadilla y Encinedo. Desde allí seguiría hacia abajo el CF del arroyo de la Vallinafonda hasta el vértice P.

P. Confluencia del arroyo de la Vallinafonda con el río Cabrera. Desde allí seguiría el CF del río Cabrera hasta el vértice A que define el inicio del polígono.

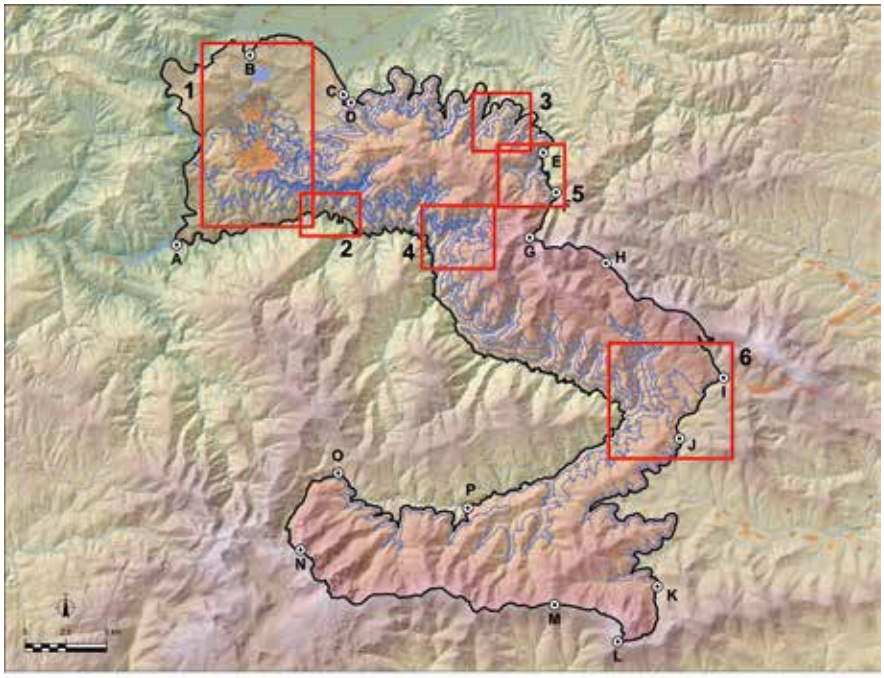
Recomendaciones (fig. 397)

La propuesta de valoración del bien de interés cultural de Las Médulas y su red hidráulica, persigue potenciar su carácter de paisaje cultural como resultado de un proceso histórico, no solo a escala local o nacional, sino como un conjunto representativo de otras zonas del mundo romano. En ella se tienen presentes los diversos aspectos sociales y territoriales propios de aquel momento, así como la herencia tecnológica, patrimonial y simbólica de la minería desarrollada en Las Médulas.

En cumplimiento de dichas condiciones, incluidas en la orden por la que la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León concedió una subvención directa al CSIC para llevar a cabo este proyecto de investigación, se han redactado las siguientes recomendaciones, la primera relativa a las zonas que se consideran de mayor interés para potenciar los valores del BIC, la segunda relativa a las buenas prácticas que deben presidir su gestión.

En primer lugar, el equipo que ha redactado los resultados de este proyecto de investigación, que lleva más de cuatro décadas de estudios sobre la zona y el tema aquí presentados, considera oportunos destacar seis zonas más relevantes para potenciar los valores del BIC (fig. 398):

1. Como núcleo del BIC hay que destacar toda el área que hasta ahora estaba incluido en la declara-



1: Núcleo de la ZAM / 2: Castroquilame - Pombriego, canal C1 / 3: Villanueva de Valdueza -Valdefrancos, canales C8 y C28 / 4: Llamas de Cabrera, canales C18 y C24 / 5: Montes de Valdueza - Santiago de Peñalba, canales C8 y C18 / 6: Corporales - Saceda, canales C25, C26, C27 y C32

Fig. 398. Plano de las zonas consideradas especialmente relevantes dentro de la delimitación del BIC propuesta.

ción, que afecta a los municipios de Carucedo, Borrenes y Puente de Domingo Flórez y que incluye:

- La mina de oro de Las Médulas con todas sus estructuras de explotación y evacuación del material aurífero y las acumulaciones de estériles, así como la casi totalidad de los depósitos de agua y los tramos finales de sus correspondientes canales de abastecimiento o explotación. A este respecto, es necesario realizar una renovación general de las señales de información actualmente existentes, muy en particular en tres puntos: el mirador de Orellán, el de Pedrices y el recorrido por el interior de la mina, ya que las explicaciones que se brindan al visitante no se consideran adecuadas, son incorrectas o están obsoletas.
- Los asentamientos de época prerromana y romana que permiten documentar el proceso histórico por el que pasó la zona entre los siglos III a. C. y III d. C., en especial aquellos que han sido ya excavados y presentan estructuras visibles. Hay que destacar los castros de El Castrelín de San Juan de Paluezas y de Borrenes (Borrenes) para época prerromana y Las Pedreiras de Lago (Carucedo) y el asentamiento metalúrgico de Orellán (Borrenes) para la romana. El castro de la Peña del Hombre debe ser sometido a una revisión para su adecuada interpretación.
- Los elementos post-romanos del paisaje cultural surgidos como consecuencia de la minería antigua, muy en particular el lago de Carucedo.

2. Trazado del canal C1 entre los pueblos de Pombriego (Benuza) y Castroquilame (Puente de Domingo Flórez). Además de las estructuras hidráulicas visibles, hay que destacar la existencia en este tramo de una de las inscripciones conocidas. A ambos extremos del trazado se hallan los castros de A Pedriña (Pombriego) y de Santa Cruz (Castroquilame).

3. Trazado de los canales C8 y C28 entre Valdefrancos y Villanueva de Valdueza (Ponferrada), donde son visibles varios tramos de sendas conducciones en buenas condiciones de conservación. Es este segmento se encuentra el asentamiento castreño de La Corona del Castro (Villanueva de Valdueza).

4. En la vertiente meridional de la red hidráulica destacan los canales en las inmediaciones de Llamas de Cabrera (Benuza), en particular los trazados de los canales C18 y C24, que incluyen varios kilómetros en muy buen estado de conservación y acondicionados ya para la visita. Dentro de esta zona están las labores romanas de El Covallón del Miédalo (29) y el conjunto de La Casarina (31), así como el asentamiento castreño de La Corona de Carracastrillo.

5. Trazado de los canales C8 y C28 entre Montes de Valdueza y Santiago de Peñalba. Es una zona muy conocida desde antiguo y donde los canales ya han sido utilizados como *carriles*. Dentro de ella se encuentra el asentamiento castreño de Castro Rupiano (Montes de Valdueza).

6. Trazado de los canales en las inmediaciones de Corporales (Truchas) y Saceda (Castrillo de Cabrera), en particular los tramos correspondientes a los canales C25, C26, C27 y C32. Dentro de esta zona se halla el collado del Alto de Peña Aguda, donde se ha documentado el depósito de distribución de agua D22. Importancia capital tienen los dos asentamientos castreños de La Corona de Corporales y el Castro de Corporales, ya que constituyen un excelente ejemplo de este tipo de poblados para la época prerromana y romana respectivamente. Aunque fueron excavados entre los años 1978 y 1983, ahora están tapados. Sería muy interesante su puesta en valor poniendo al descubierto, protegiendo y conservando sus construcciones. También posee un gran interés el castro de La Peña de Saceda, por su vinculación directa con la red hidráulica romana.

La segunda recomendación se centra en una adecuada protección de la zona arqueológica de Las Médulas (ZAM) y un eficaz acceso a ella como paisaje cultural, que sea respetuoso con sus valores patrimoniales, con sus habitantes y sus visitantes. Esto requiere una gestión coherente con sus principales valores, su escala, las características socioeconómicas de la zona, los riesgos detectados y la afluencia de visitas.

Paralelamente a la propuesta de ampliación del bien de interés cultural (BIC) se considera oportuno efectuar una serie de recomendaciones.

En primer lugar, es imprescindible y urgente la creación de un sistema de gestión unificado, participativo, efectivo y transparente. En la actualidad se ha identificado una situación de ambigüedad legal respecto a la gestión de la zona arqueológica. Según un comunicado de la Junta del 6 de julio de 2022, la Fundación Las Médulas, de carácter privado, ha asumido la gestión conjunta del Espacio Cultural de Las Médulas. No se ha publicado oficialmente la disolución de la Junta Rectora y Asesora del Espacio Cultural, que es el órgano legalmente reconocido como competente para la gestión del Espacio Cultural (Decreto 15/2013, de 25 de abril, por el que se crea y regula la Junta Rectora y Asesora del Monumento Natural y del Espacio Cultural de Las Médulas, en la provincia de León). En esta Fundación no está representado uno de los municipios de la zona ya declarada BIC, el de Borrenes.

Las entrevistas llevadas a cabo con diversos agentes implicados en la zona ponen de manifiesto que la descoordinación entre las administraciones y entes que operan en la gestión patrimonial del bien se identifica como el principal problema de la zona arqueológica. Se recomienda, por tanto:

- Configurar un órgano de gestión público, cuyas funciones estén claramente definidas.
- Que incluya a todos los agentes implicados en el BIC, teniendo en cuenta la extensión que se determine en el proceso de ampliación y siendo estos, como mínimo, los ayuntamientos, las juntas vecinales y las consejerías de Medio Ambiente y de Cultura de la Junta de Castilla y León.
- Este órgano debería de estar dotado de los recursos humanos y económicos adecuados

para asegurar el cumplimiento de sus funciones.
- Unido a lo anterior, se recomienda la redacción y aplicación de un plan de gestión integral de la ZAM. En la actualidad la ZAM se gestiona a través de diversos documentos parciales y nula o escasamente aplicados: el Plan de Uso y Gestión del Espacio Cultural Las Médulas de 2011 (PAU), el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Las Médulas de 2002 (PORN) y, muy recientemente, el Plan Estratégico 2023-2025 de la Fundación Las Médulas (PEM), de carácter exclusivamente turístico y alejado de los valores patrimoniales de la zona.

El PAU, el más similar a un plan de gestión patrimonial, recoge explícitamente que se desarrollarán (o se sugiere el desarrollo de) una serie de planes para el Espacio Cultural: un plan de visitas en el que se analicen los distintos puntos de interés y centros de interpretación y su capacidad de carga (p. 27); un plan de prevención de incendios forestales (*ibid.*); un plan de investigación (p. 38) y un plan global de señalización (p. 42). Ninguno de ellos se ha llevado a cabo hasta la fecha; tampoco «los planes y programas necesarios para la correcta gestión del mismo [el Espacio Cultural Las Médulas]» (*ibid.*). El PAU identifica la zona del Espacio Cultural y dos zonas de afección. En ninguna de ellas se hace una evaluación sistematizada de las presiones sobre el paisaje ni de las actividades y usos que pueden darse, con la única salvedad de que «en las zonas sensibles [...] los usos tradicionales admitidos serán los que no supongan una remoción de tierra superior a los 20 cm de profundidad, salvo autorización previa» (p. 40). El PAU carece de referencias a formas de implicación de la ciudadanía en la gestión del territorio, algo que recomienda la Unesco en su *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention* de 2021 (par. 111). Constituye por tanto un plan de gestión de este bien Patrimonio Mundial que no da respuesta a las necesidades del bien.

El más reciente PEM tampoco aborda adecuadamente ninguna de estas cuestiones. Se propone, por tanto, adoptar un plan de gestión integral que incluya en un único documento la gestión de este paisaje cultural, identificando claramente los usos posibles y limitaciones de la zona declarada, así como la gestión adecuada del flujo y la actividad turística. El plan de gestión debería desarrollarse siguiendo procesos participativos de consulta y planificación con los agentes del territorio, basado en (tomado del *Manual de Referencia de Gestión del Patrimonio Mundial Cultural* elaborado por la Unesco en 2015):

- Un ciclo de planificación, implementación, monitorización, evaluación y adaptación.
- Una evaluación de las vulnerabilidades del bien, desde el punto de vista social, económico y medioambiental, incluyendo aspectos como el impacto del cambio climático y desastres naturales.
- El desarrollo de mecanismos para la coordinación y la implicación de diferentes agentes.
- La adjudicación de los recursos necesarios y estables (humanos y económicos) y los sistemas de seguimiento de cumplimiento del plan.
- En consonancia con la documentación internacional, en particular la *Carta sobre el Turismo Cultural Patrimonial* (ICOMOS 2022), la gestión del turismo en el área debería generar retornos en las poblaciones locales, a través de una gobernanza participativa y una distribución equitativa de los beneficios, siempre dentro de unos límites que no pongan en peligro la continuidad del bien. La distribución desigual de los beneficios económicos entre los municipios integrantes de la zona declarada, junto a una distribución también desigual de las cargas derivadas de su protección (presión turística, carestía de agua, restricciones en la construcción y en el desarrollo de actividades ganaderas, limitaciones en la capacidad de cuidado del casta-

ño) ha generado fuertes tensiones sociales y la amenaza de la judicialización de los conflictos.

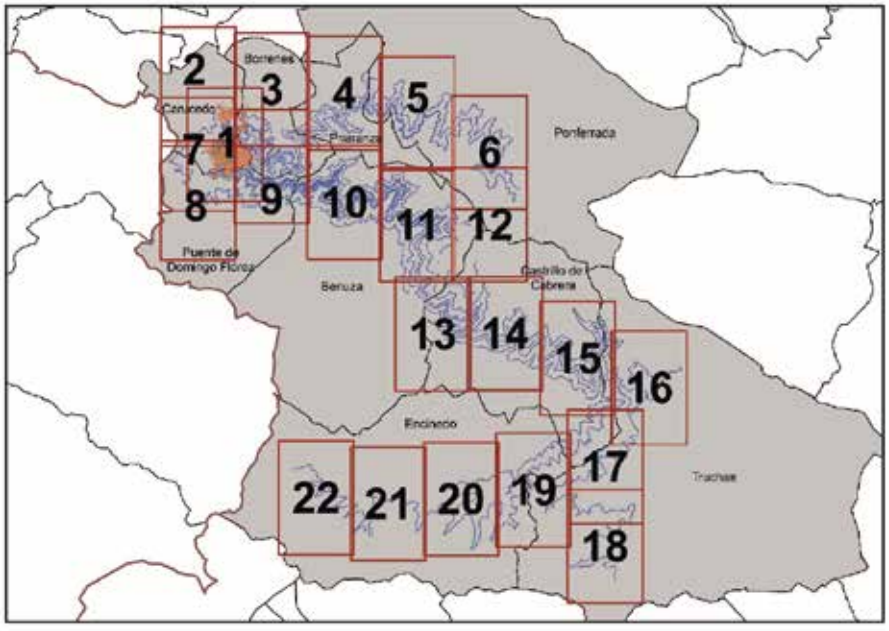
– Vinculado con lo anterior, se recomienda un trabajo continuado de información sobre el marco legal para la protección de la zona arqueológica, tanto entre las poblaciones locales, como entre otros agentes que operan en el espacio. Podría resultar de interés, dada la escasa cultura de trabajo conjunto que ha existido en la gestión del espacio, la capacitación de administraciones y agentes en sistemas colaborativos de solución de disputas.

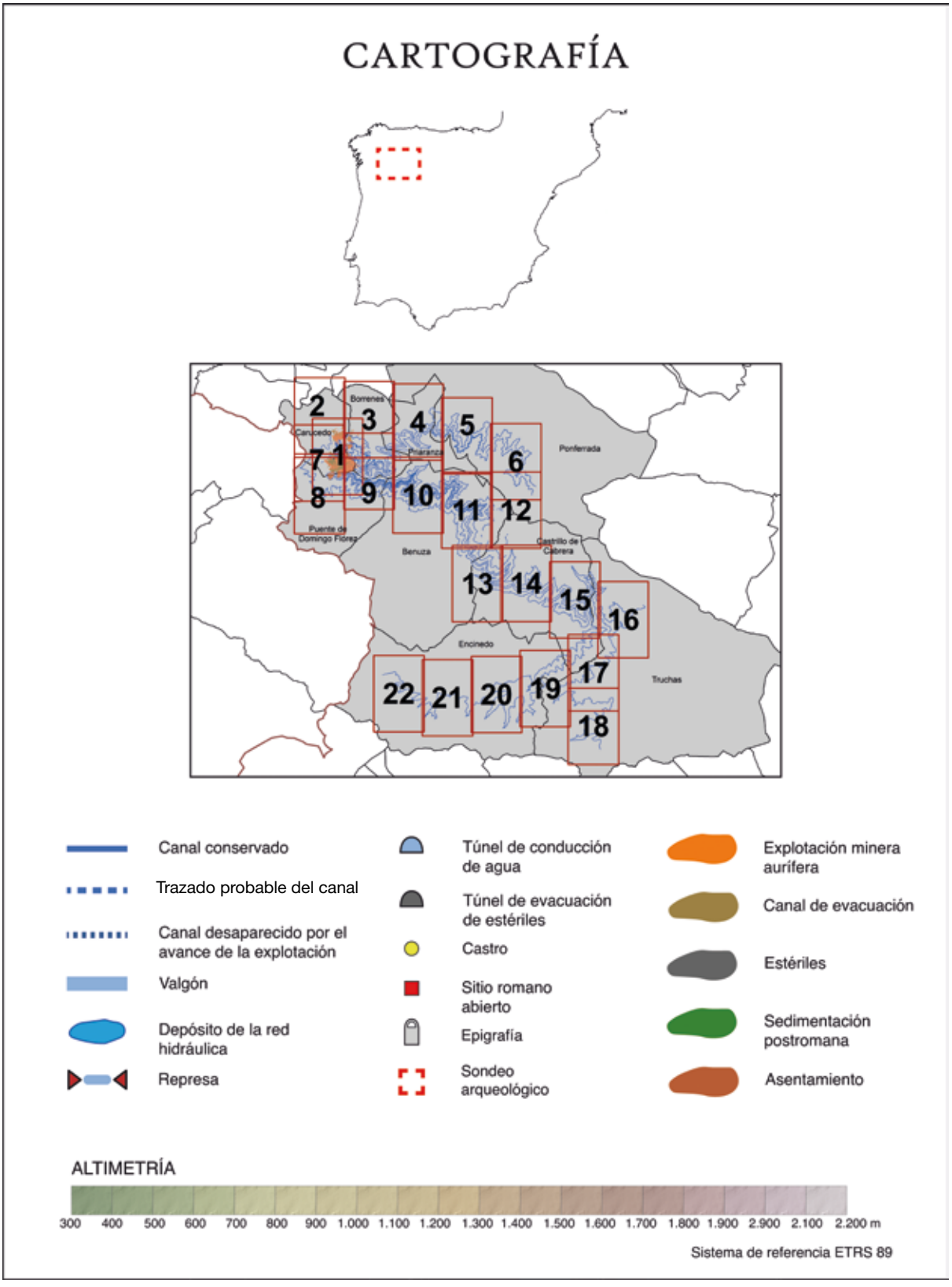
Anexo II. Cartografía de la zona arqueológica de Las Médulas y su red hidráulica

Brais X. Currás
Instituto de Historia del CSIC

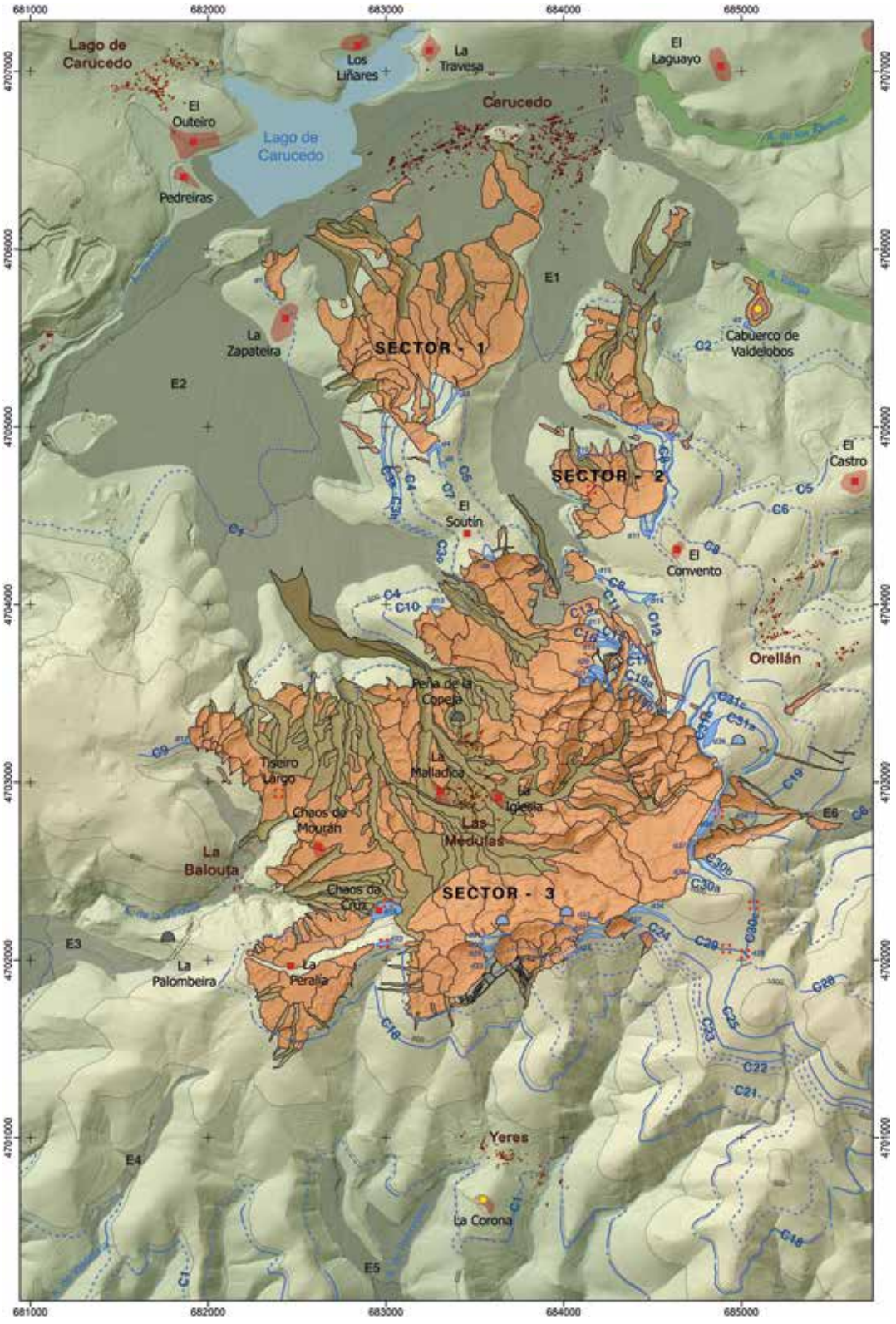
F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

Juan Luis Pecharromán
Instituto de Historia del CSIC

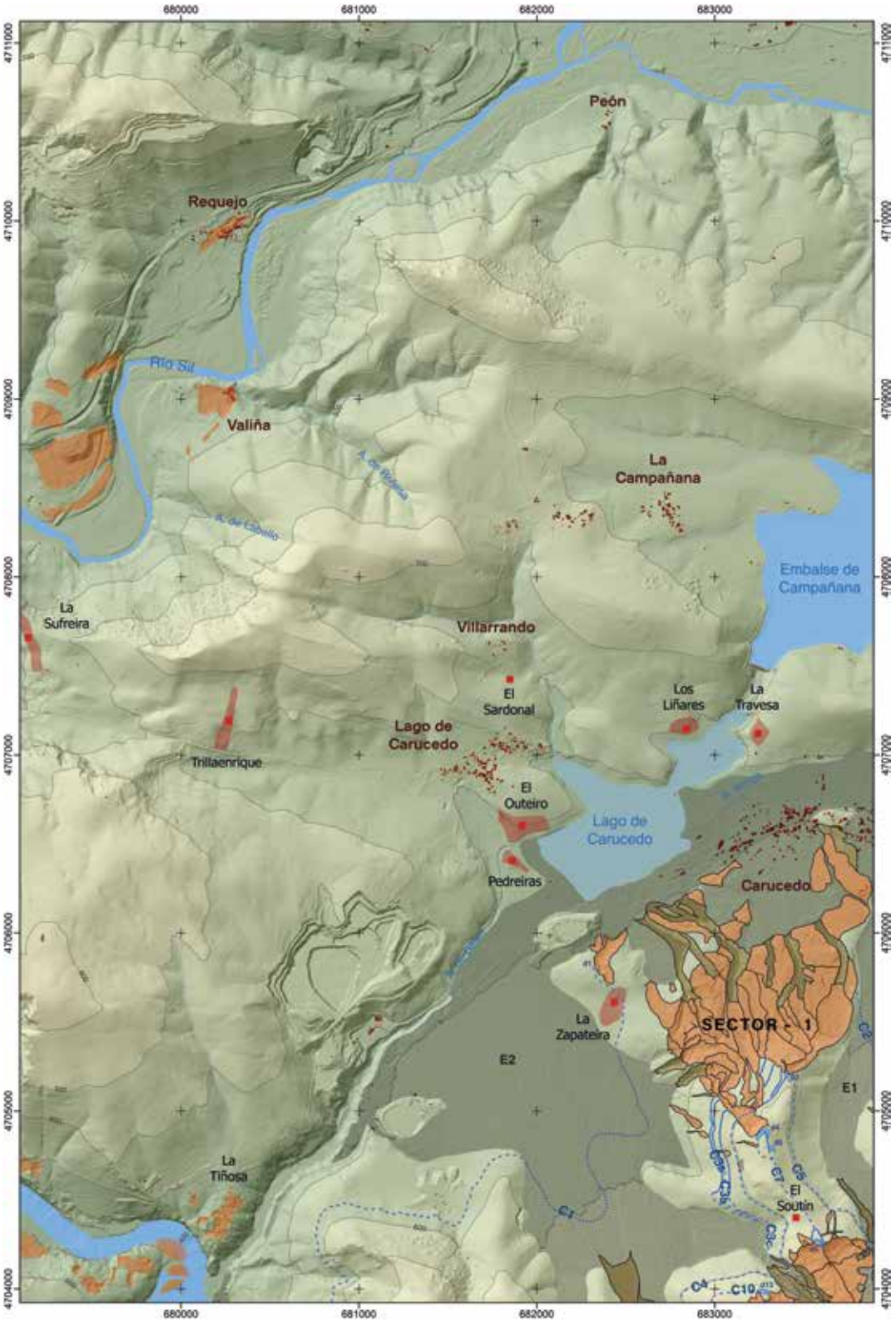



CARTOGRAFÍA
Borrenes
Carucedo
Priaranza
Ponferrada
Puente de Domingo Flórez
Benuza
Castrillo de Cabrera
Encinedo
Truchas
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
Canal conservado
Trazado probable del canal
Canal desaparecido por el avance de la explotación
Valgón
Depósito de la red hidráulica
Represa
Túnel de conducción de agua
Túnel de evacuación de estériles
Castro
Sitio romano abierto
Epigrafía
Sondeo arqueológico
Explotación minera aurífera
Canal de evacuación
Estériles
Sedimentación postromana
Asentamiento
ALTIMETRÍA
300 400 500 600 700 800 900 1.000 1.100 1.200 1.300 1.400 1.500 1.600 1.700 1.800 1.900 2.900 2.100 2.200 m
Sistema de referencia ETRS 89

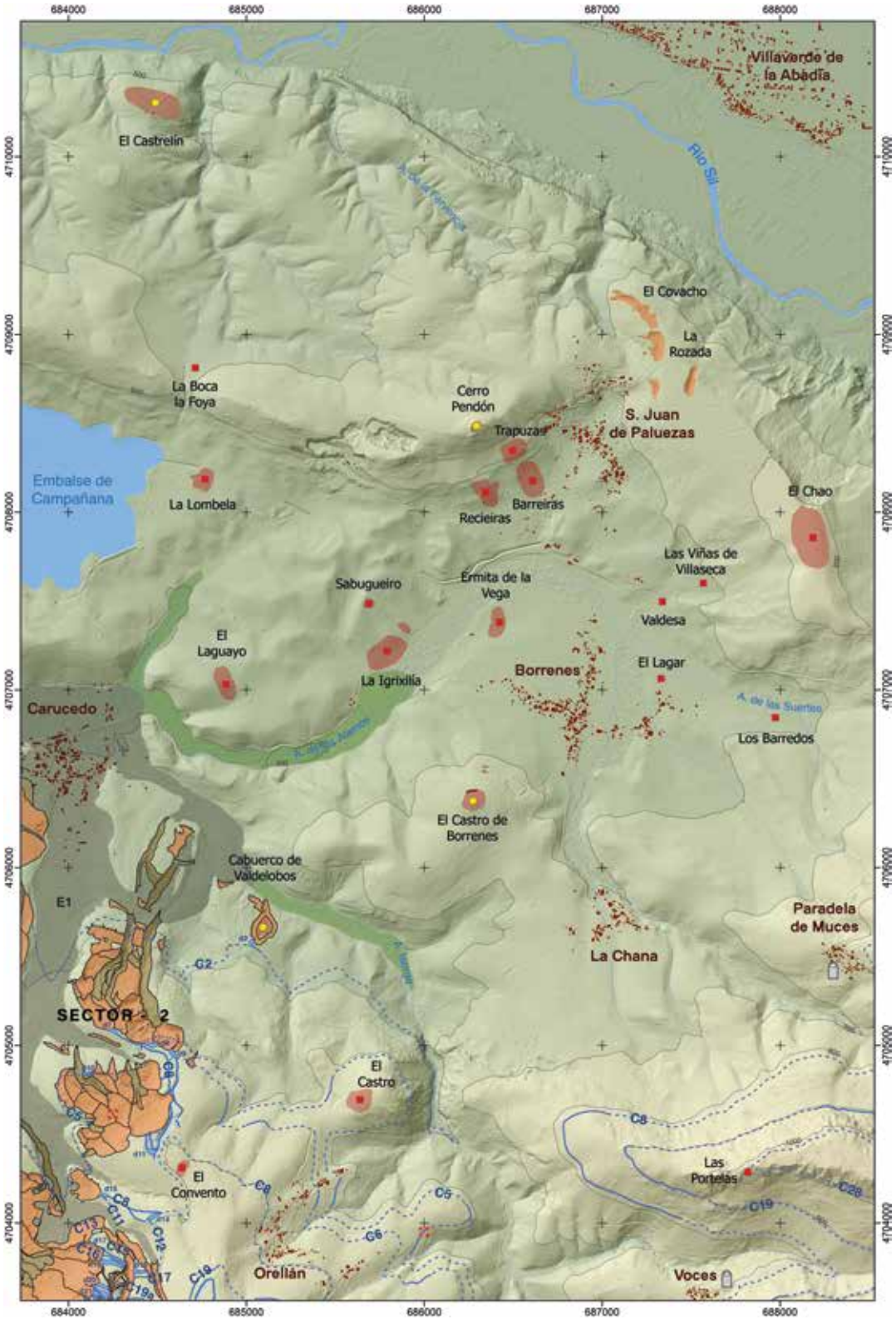
Leyenda


681000
682000
683000
684000
685000
4707000
4706000
4705000
4704000
4703000
4702000
4701000
Lago de Carucedo
Los Liñares
La Travesa
El Laguayo
Carucedo
El Outeiro
Lago de Carucedo
Pedreiras
La Zapateira
SECTOR - 1
E1
E2
Cabuerco de Valdelobos
SECTOR - 2
El Castro
El Soutín
El Convento
Orellán
Peña de la Copela
Teixeiro Largo
La Malladica
La Iglesia
Chaos de Moucán
Las Médulas
La Balouta
Chaos da Cruz
SECTOR - 3
E3
La Palombeira
La Peralla
E4
Yeres
La Corona
E5
E6

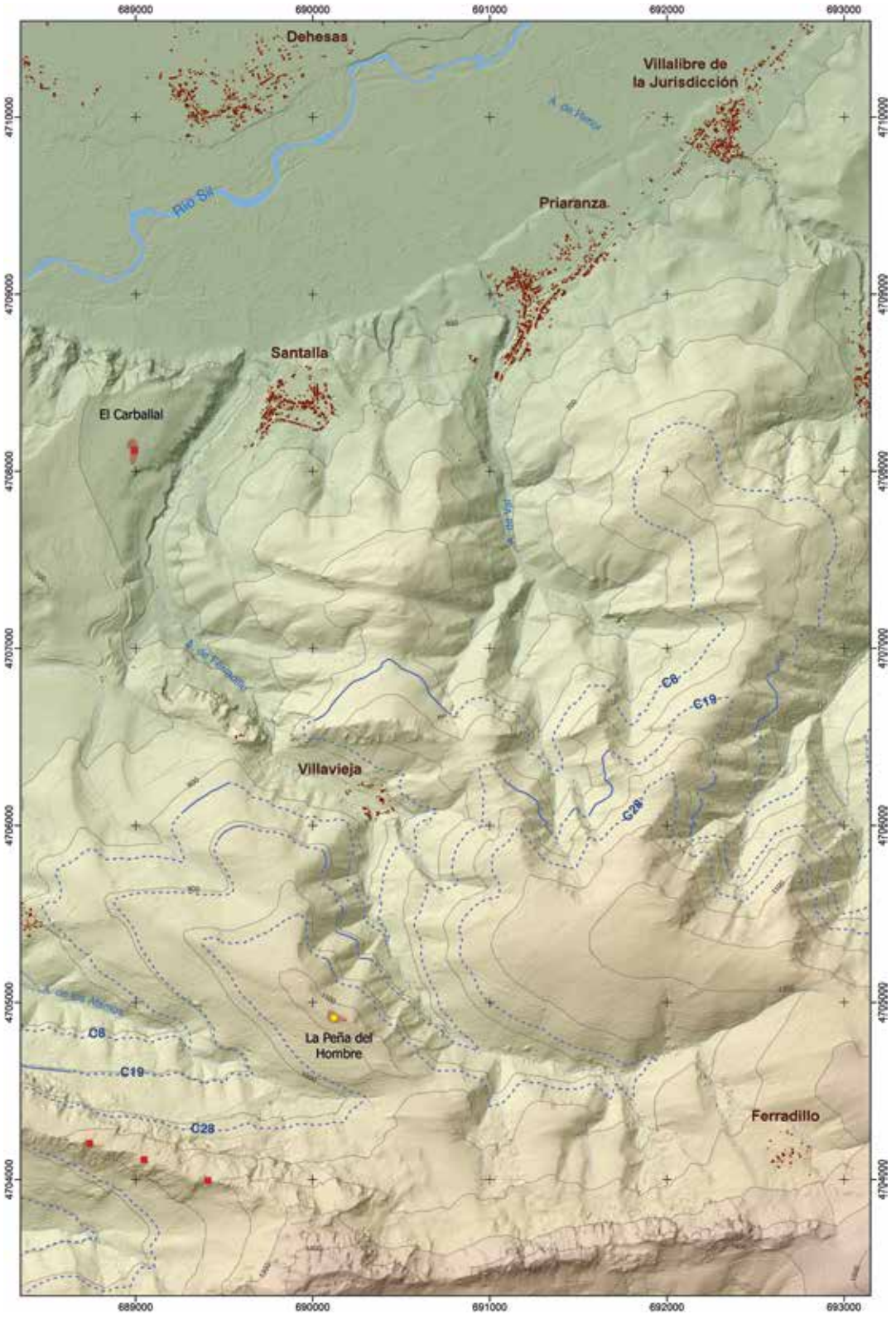
Hoja 1


680000
681000
682000
683000
4711000
4710000
4709000
4708000
4707000
4706000
4705000
4704000
Peón
Requejo
Río Sil
Valiña
A. de Ribeira
A. de Labeito
La Campañana
Embalse de Campañana
La Sufreira
Villarrando
El Sardonal
Los Liñares
La Travesa
Lago de Carucedo
Trillaenrique
El Outeiro
Lago de Carucedo
Pedreiras
Carucedo
SECTOR - 1
La Zapateira
E2
E1
La Tiñosa
El Soutín
C1
C2
C3
C3a
C4
C5
C6
C7
C10

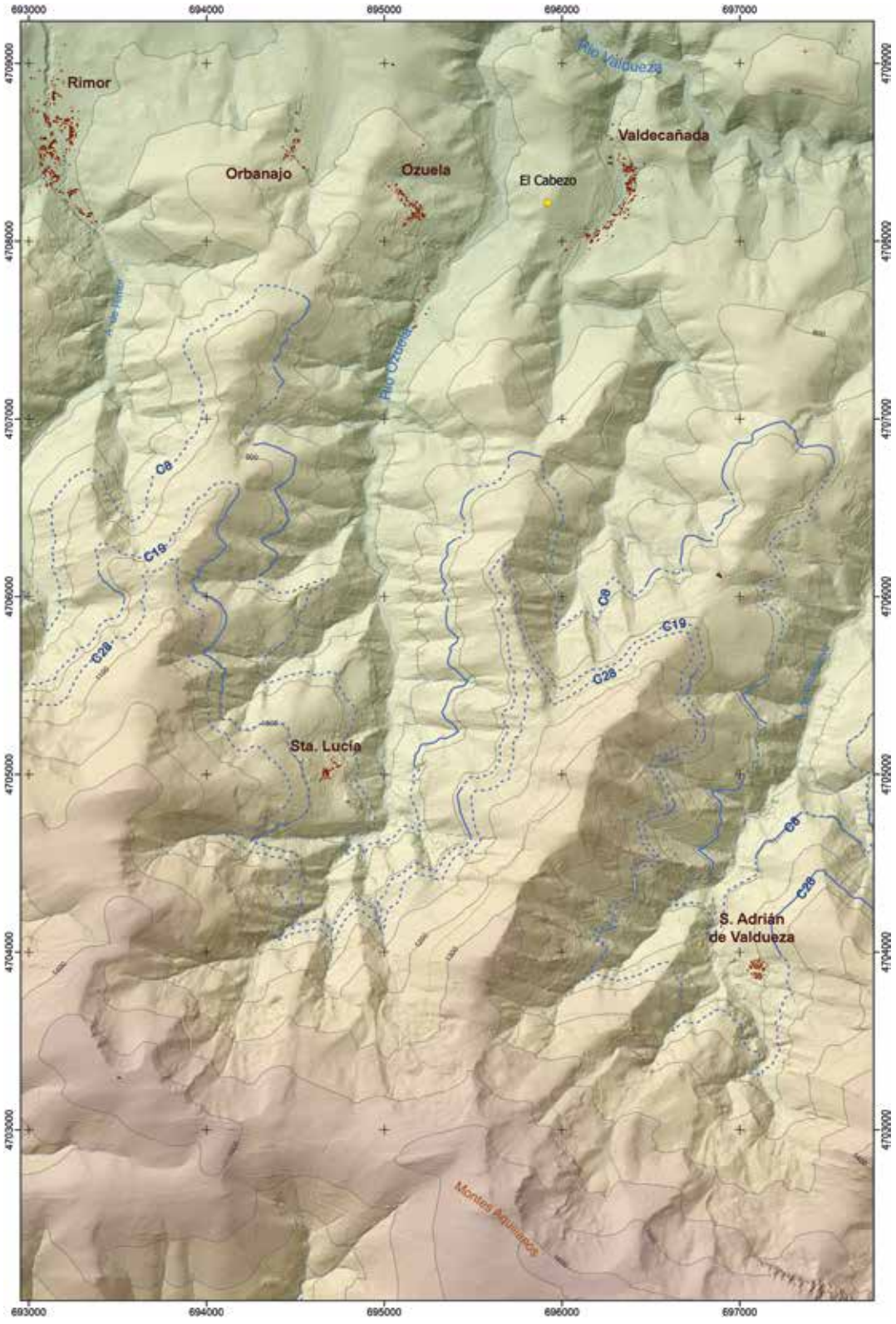
Hoja 2


684000
685000
686000
687000
688000
4710000
4709000
4708000
4707000
4706000
4705000
4704000
Villaverde de la Abadía
El Castrelín
Río Sil
El Covacho
La Rozada
La Boca la Foya
Cerro Pendón
Trapuzas
S. Juan de Paluezas
Embalse de Campañana
La Lombela
Barreiras
Recieiras
El Chao
Las Viñas de Villaseca
Sabugueiro
Ermita de la Vega
Valdesa
El Laguayo
La Igrixilia
Borrenes
El Lagar
Carucedo
Los Barredos
El Castro de Borrenes
Cabuerco de Valdelobos
E1
Paradela de Muces
La Chana
C2
SECTOR - 2
El Castro
C8
Las Portelas
C28
C19
El Convento
C5
C6
Orellán
Voces

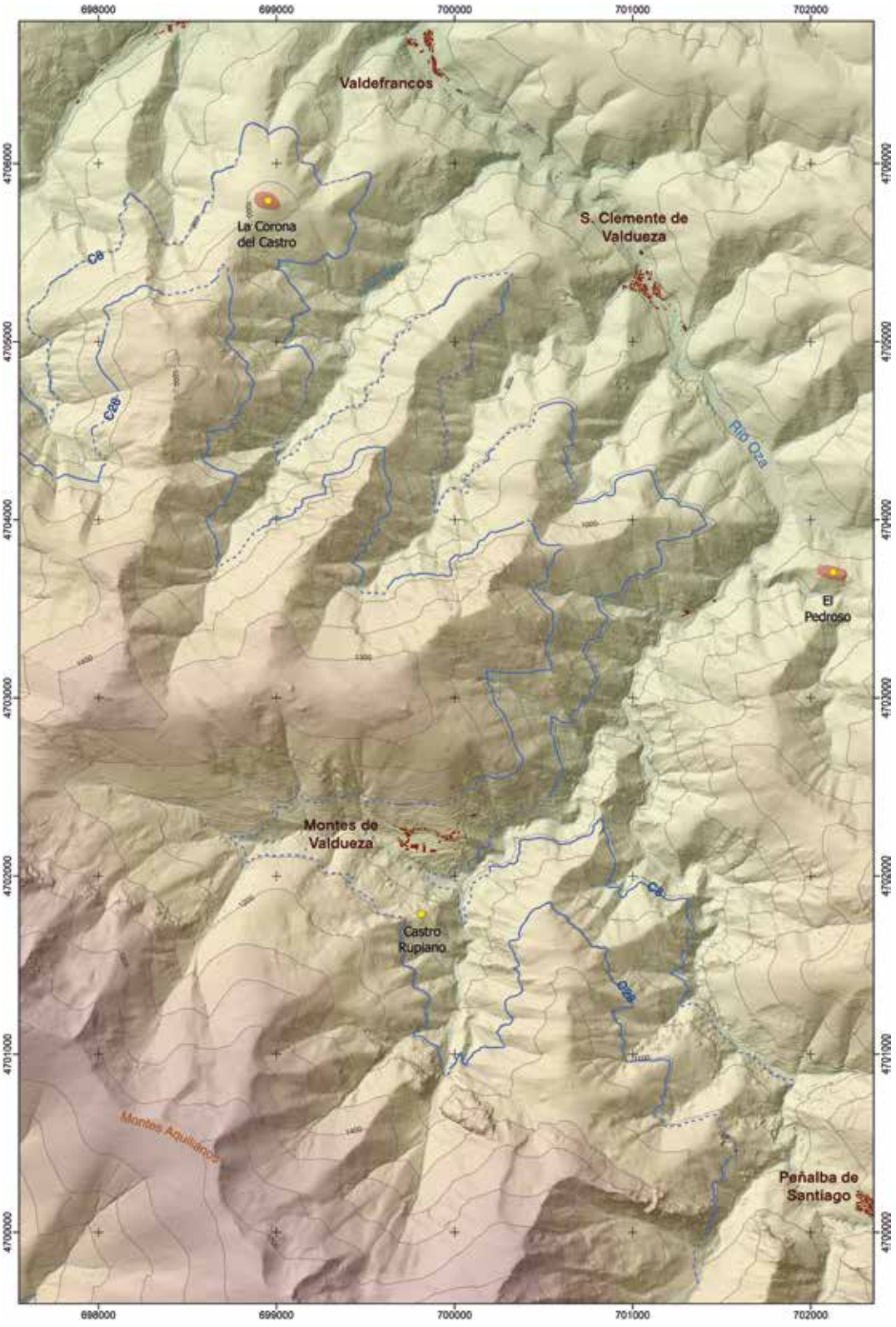
Hoja 3


689000
690000
691000
692000
693000
4710000
4709000
4708000
4707000
4706000
4705000
4704000
Dehesas
Villalibre de
la Jurisdicción
Priaranza
Río Sil
Santalla
El Carballal
Villavieja
C8
C19
C28
La Peña del
Hombre
Ferradillo

Hoja 4


693000
694000
695000
696000
697000
4709000
4708000
4707000
4706000
4705000
4704000
4703000
Rimor
Orbanajo
Ozuela
El Cabezo
Valdecañada
Río Valdueza
Río Ozuela
C8
C19
C28
Sta. Lucía
S. Adrián
de Valdueza
Montes Aquilianos

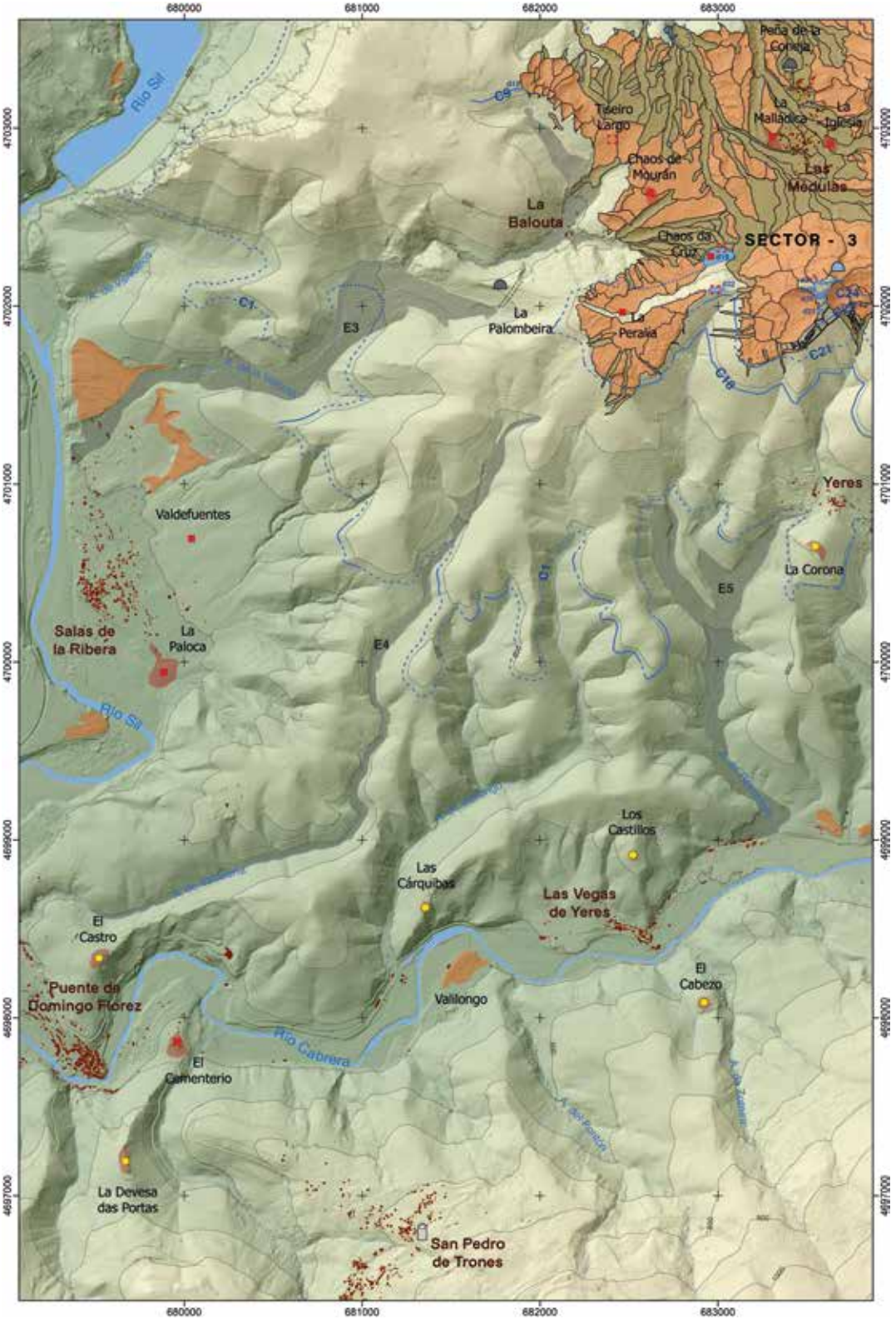
Hoja 5


698000
699000
700000
701000
702000
4706000
4705000
4704000
4703000
4702000
4701000
4700000
Valdefrancos
La Corona del Castro
S. Clemente de Valdueza
C8
C28
Río Oza
El Pedroso
Montes de Valdueza
Castro Rupiano
Montes Aquilianos
Peñalba de Santiago

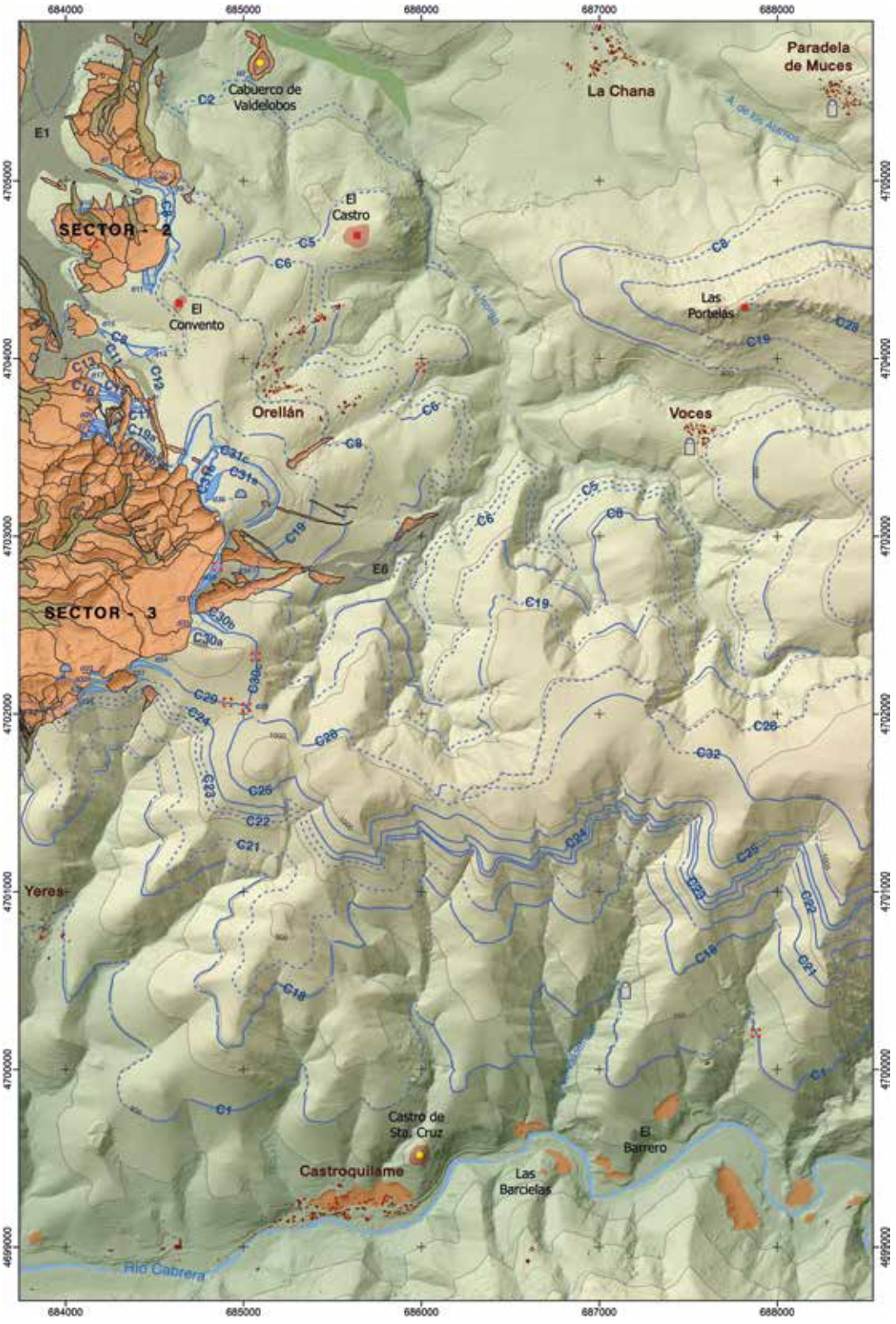
Hoja 6


680000
681000
682000
683000
4706000
4705000
4704000
4703000
4702000
4701000
4700000
El Outeiro
Pedreiras
Lago de Carucedo
Carucedo
La Zapateira
SECTOR - 1
E1
E2
La Tiñosa
Río Sil
El Soutín
Peña de la Conesa
Teiseiro Largo
La Mallàdica
La Iglesia
Chaos de Mourán
Las Médulas
La Balouta
SECTOR - 3
Chaos da Cruz
La Palombeira
La Peralta
E3
E4
E5
Valdefuentes
Yeres
La Corona
Salas de la Ribera
La Paloca
Río Sil

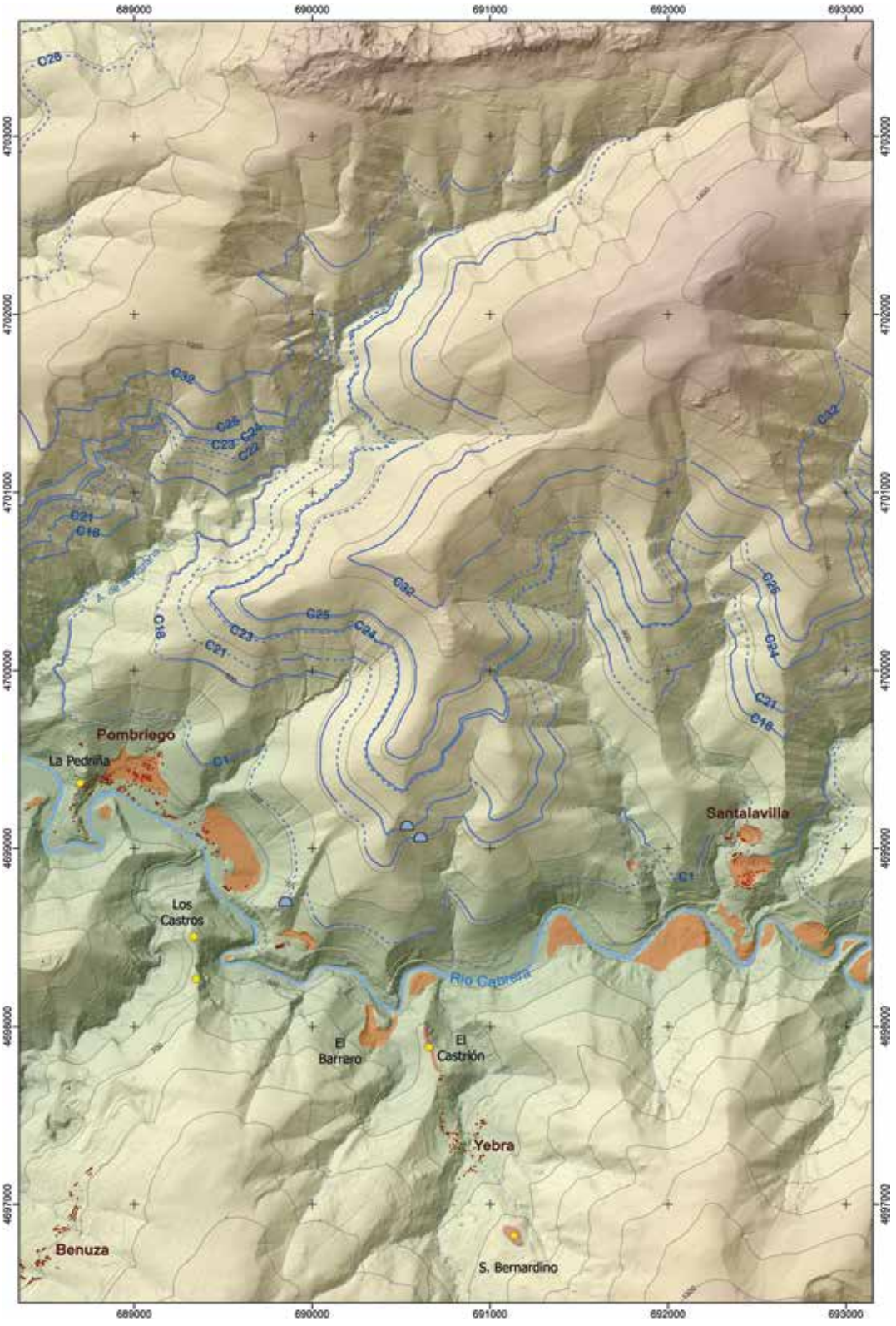
Hoja 7


680000
681000
682000
683000
4703000
4702000
4701000
4700000
4699000
4698000
4697000
Río Sil
Peña de la Corona
Teleiro Largo
La Mallática
La Iglesia
Chaos de Mourán
Las Médulas
La Balouta
Chaos da Cruz
SECTOR - 3
C34
C21
C19
C1
E3
La Palombeira
La Peralta
Yeres
La Corona
E5
Valdefuentes
Salas de la Ribera
La Paloca
E4
Río Sil
Los Castillos
Las Cárquibas
Las Vegas de Yeres
El Castro
Puente de Domingo Flórez
Valilongo
El Cabezo
Río Cabrera
El Cementerio
La Devesa das Portas
San Pedro de Trones

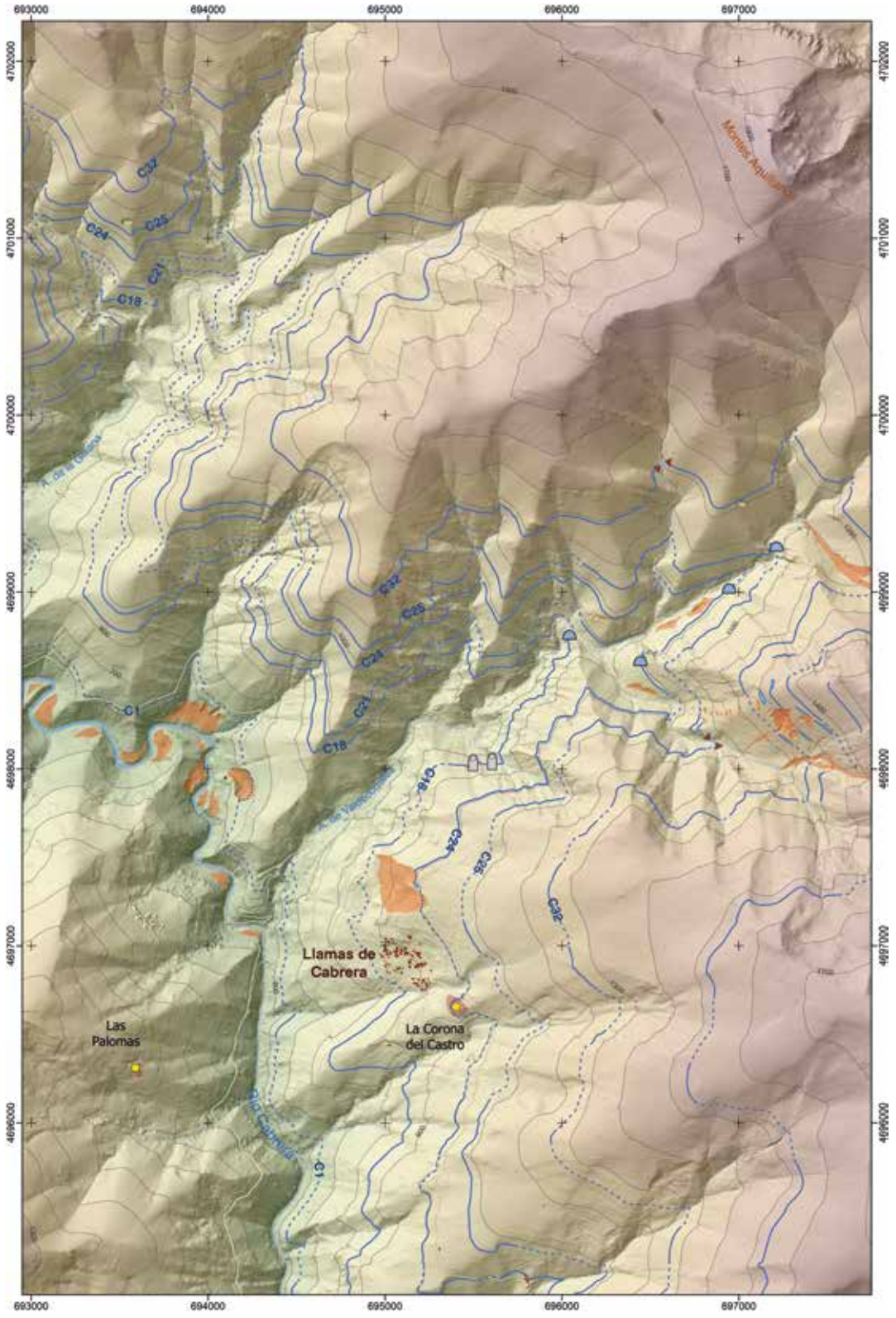
Hoja 8


684000
685000
686000
687000
688000
4705000
4704000
4703000
4702000
4701000
4700000
4699000
Cabuerco de Valdelobos
La Chana
Paradela de Muces
El Castro
SECTOR - 2
El Convento
Las Portelas
Orellán
Voces
SECTOR - 3
Yeres
Castro de Sta. Cruz
El Barrero
Castroquilame
Las Barcielas
Río Cabrera
C1
C2
C5
C6
C8
C18
C19
C21
C22
C23
C24
C25
C26
C28
C29
C30a
C30b
C30c
C31a
C31c
C32
E1
E6

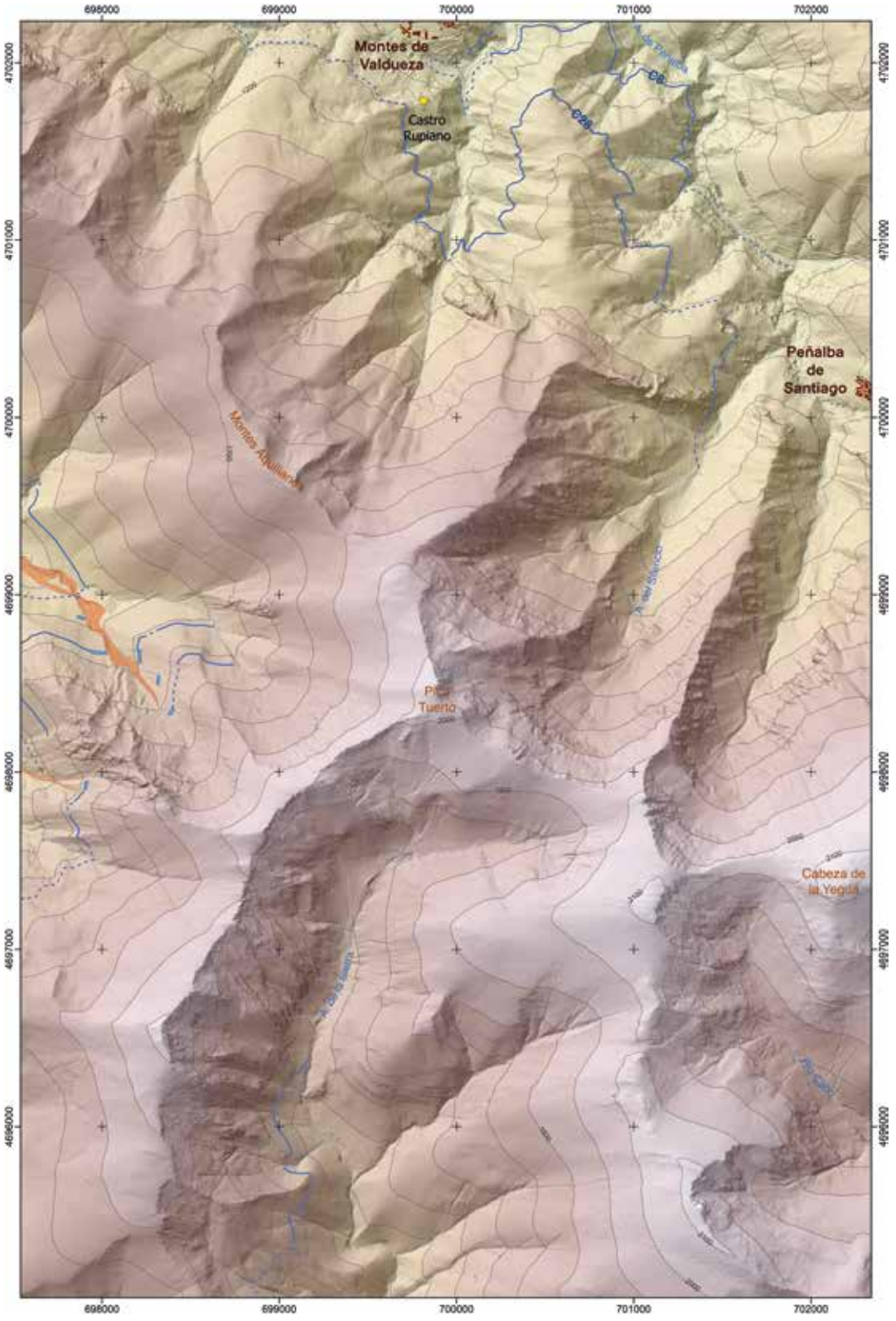
Hoja 9


689000
690000
691000
692000
693000
4703000
4702000
4701000
4700000
4699000
4698000
4697000
C26
C39
C26
C23
C24
C22
C21
C18
C32
C25
C23
C24
C21
C18
C1
Pombriego
La Pedriña
Los Castros
Río Cabrera
El Barraro
El Castrón
Yebra
Benuza
S. Bernardino
Santalavilla

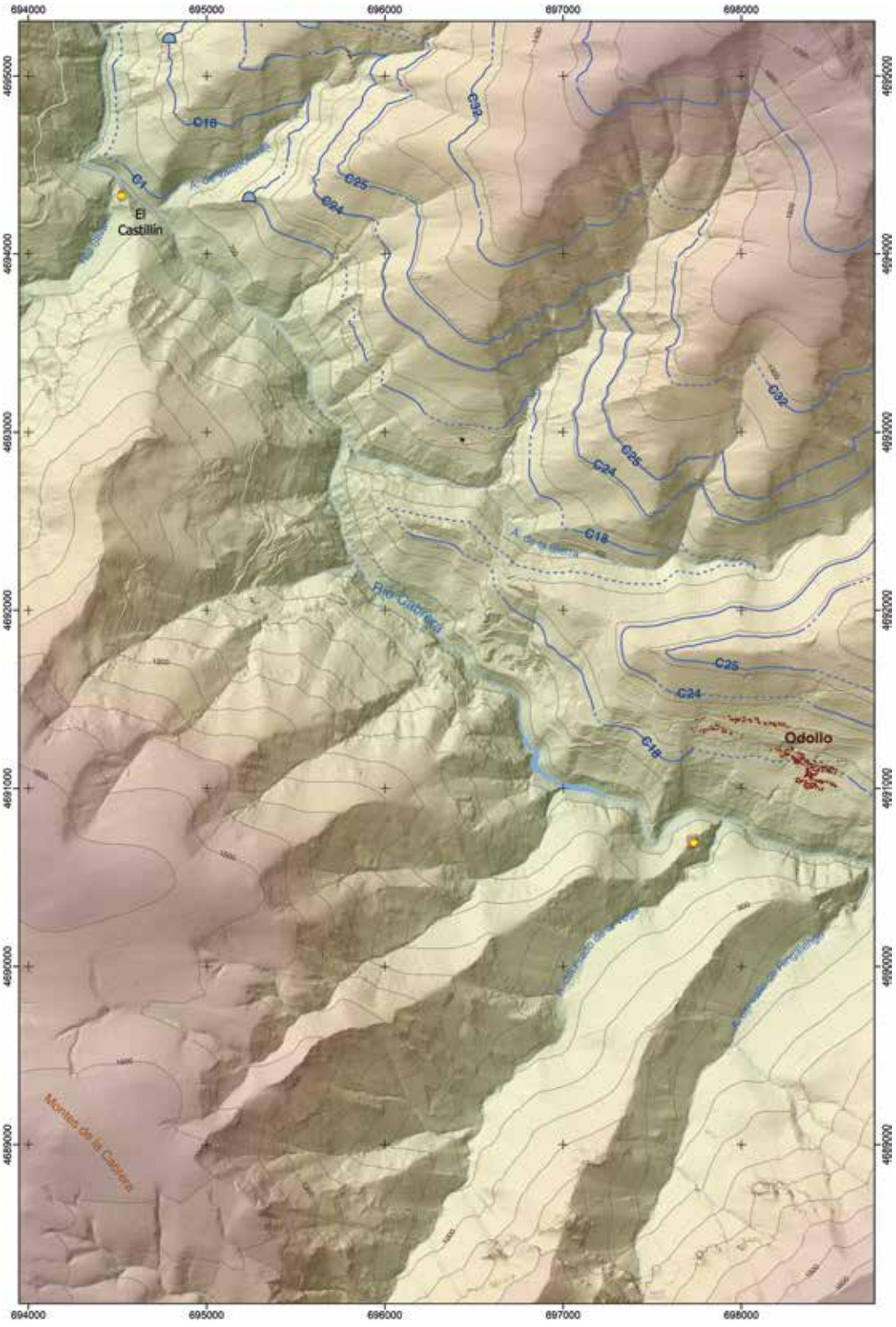
Hoja 10


693000
694000
695000
696000
697000
4702000
4701000
4700000
4699000
4698000
4697000
4696000
Montes Aquilianos
C32
C25
C24
C21
C18
C1
Llamas de Cabrera
La Corona del Castro
Las Palomas
Río Cabrera

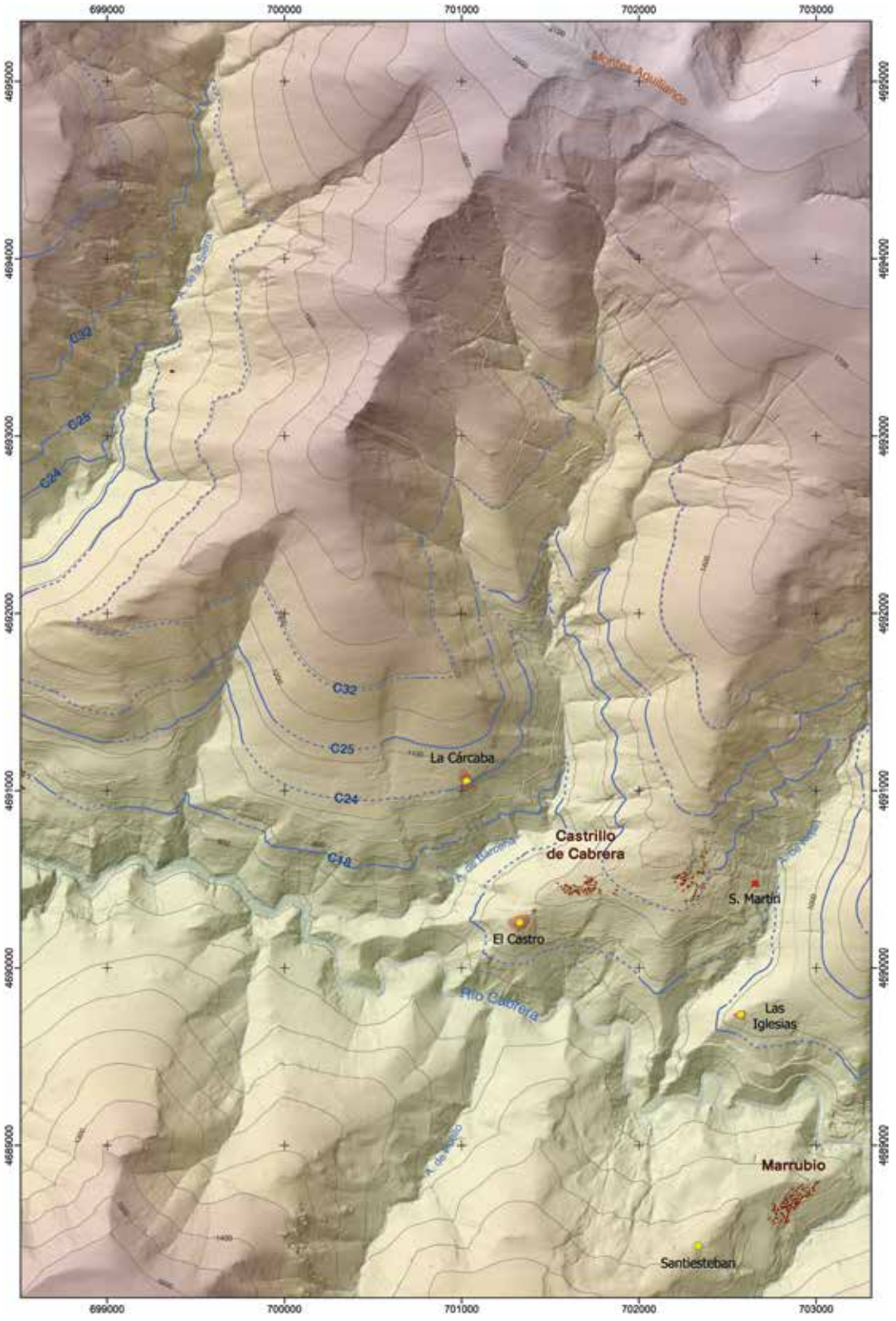
Hoja 11


698000
699000
700000
701000
702000
4702000
4701000
4700000
4699000
4698000
4697000
4696000
Montes de Valdueza
Castro Rupiano
Peñalba de Santiago
Montes Aquilianos
Pico Tuerto
Cabeza de la Yegua

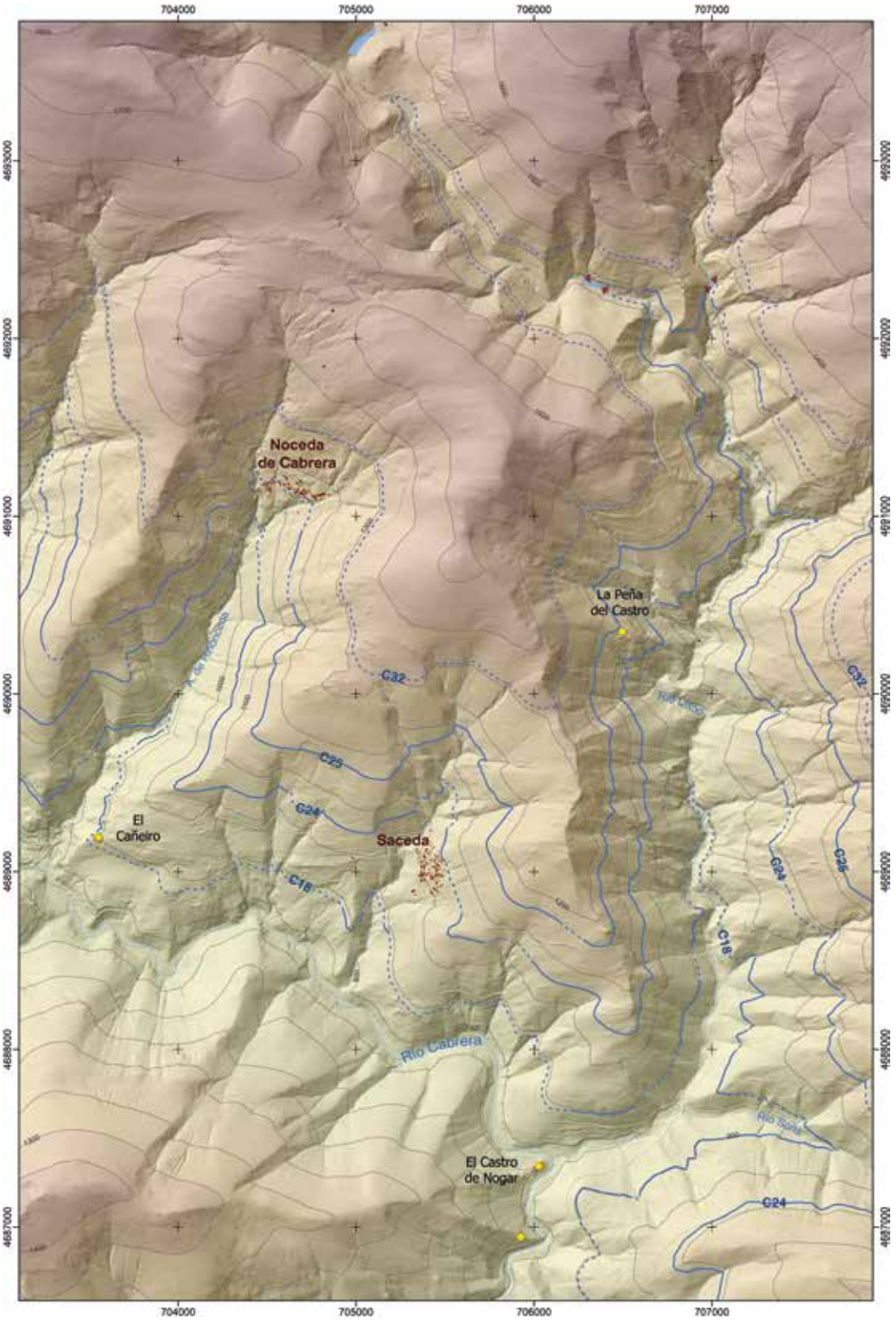
Hoja 12


694000
695000
696000
697000
698000
4695000
4694000
4693000
4692000
4691000
4690000
4689000
C18
C1
C25
C24
C32
El Castillín
Río Cabrera
Odollo
Montes de la Cabrera

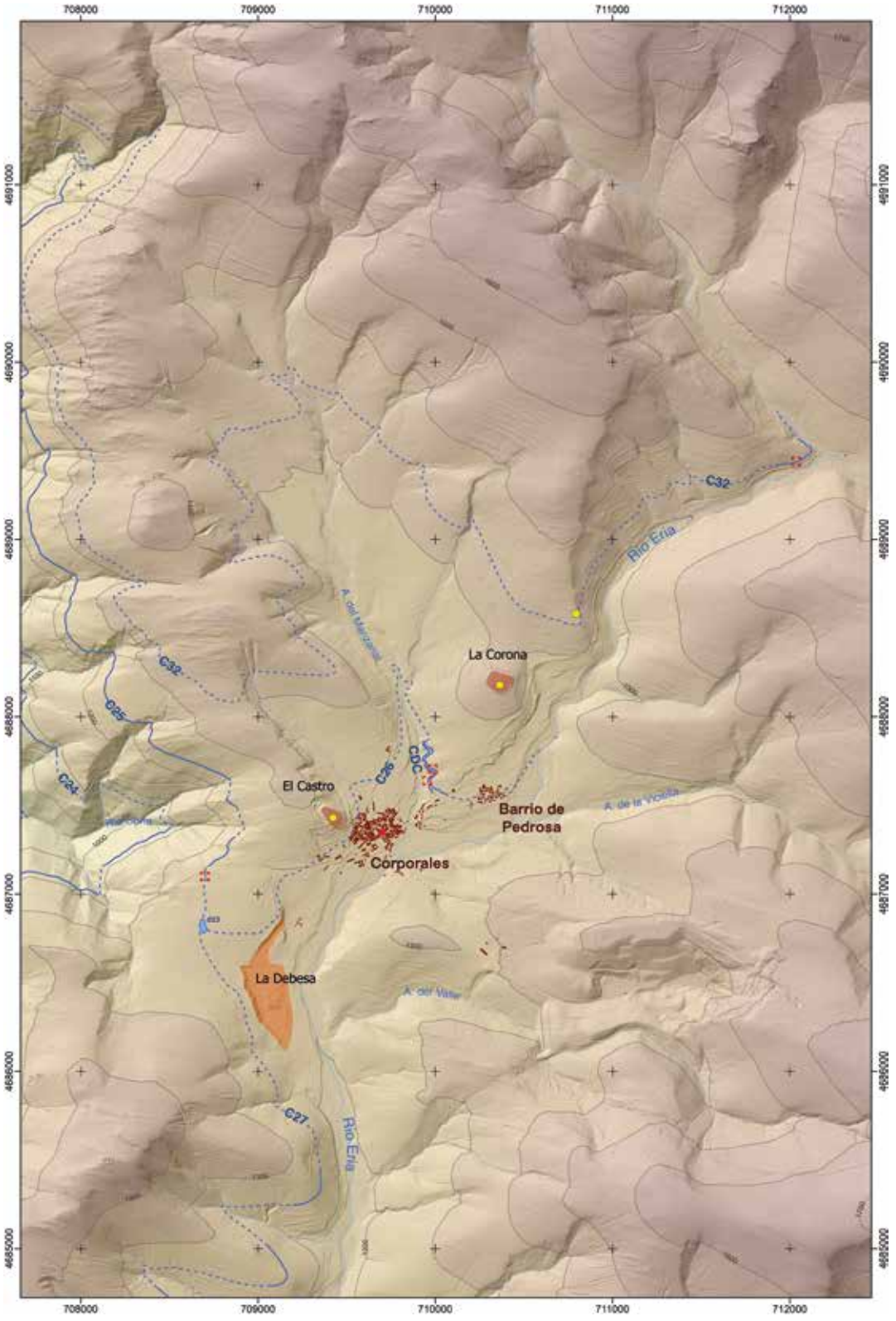
Hoja 13


699000
700000
701000
702000
703000
4695000
4694000
4693000
4692000
4691000
4690000
4689000
Montes Aquilianos
C32
C25
C24
C18
La Cárcaba
Castrillo
de Cabrera
S. Martín
El Castro
Río Cabrera
Las
Iglesias
Marrubio
Santiesteban

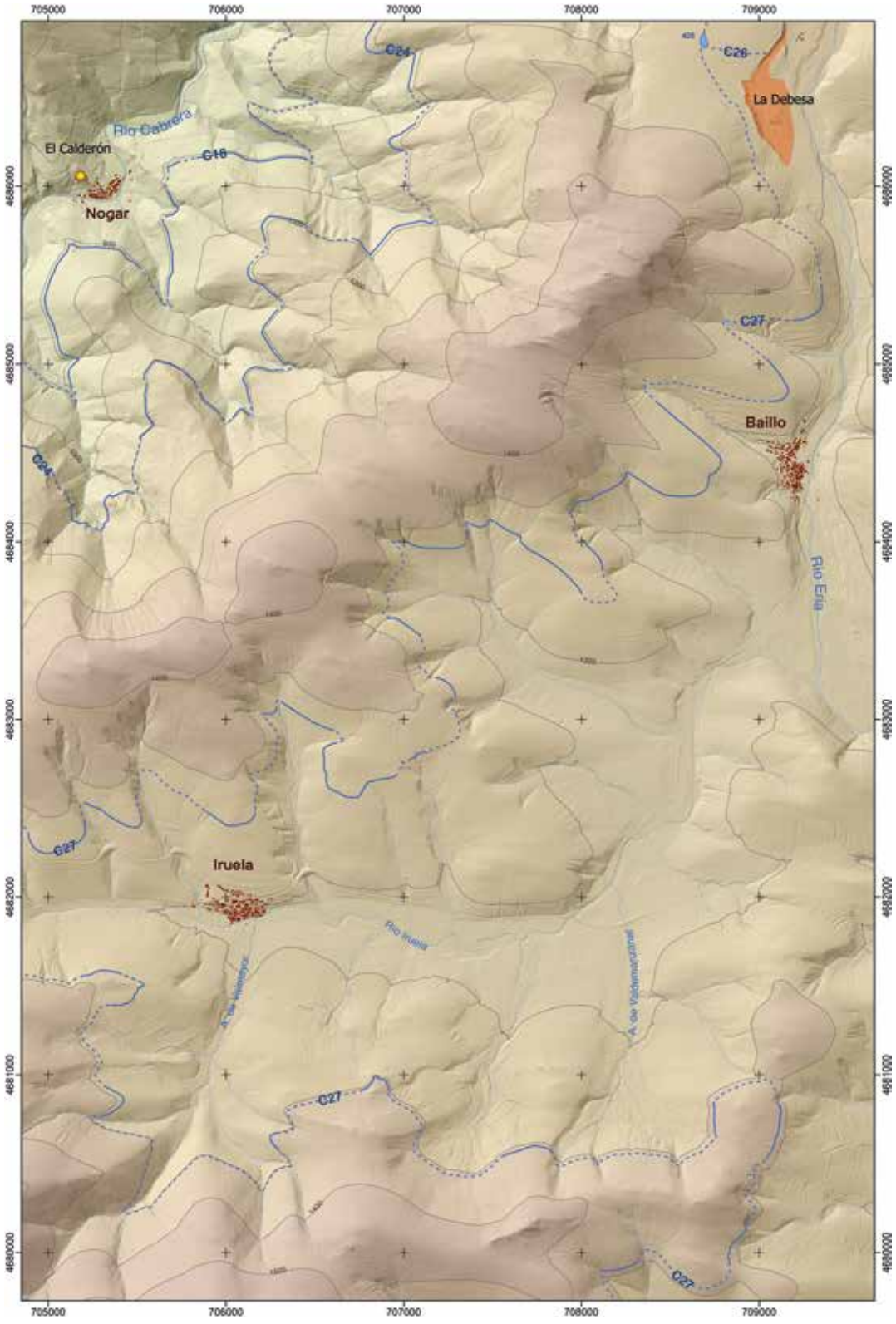
Hoja 14


704000
705000
706000
707000
4693000
4692000
4691000
4690000
4689000
4688000
4687000
Noceda
de Cabrera
La Peña
del Castro
El
Cañeiro
Saceda
El Castro
de Nogar
C32
C25
C24
C18
C35
Río Cabrera

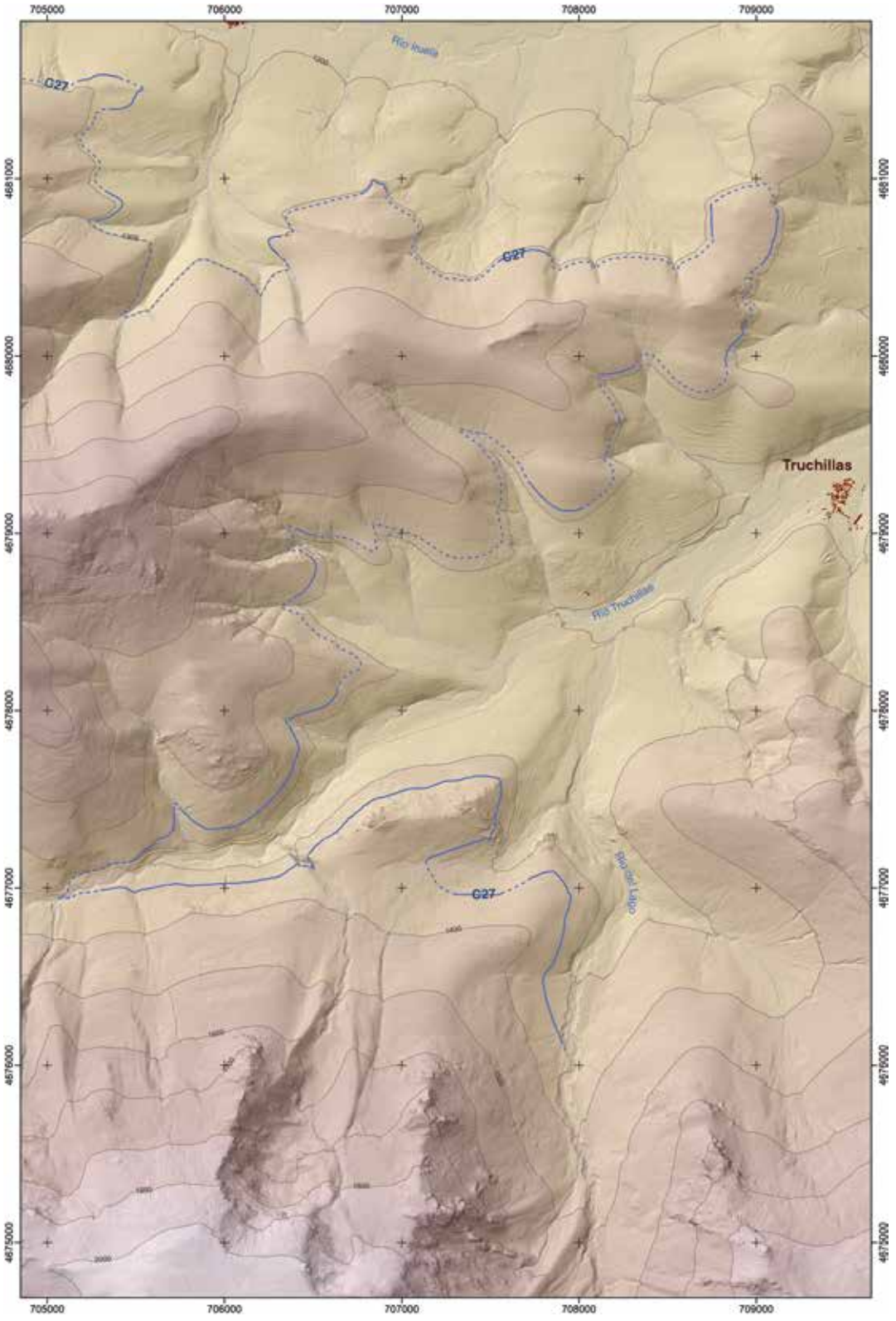
Hoja 15


708000
709000
710000
711000
712000
4691000
4690000
4689000
4688000
4687000
4686000
4685000
C32
Río Eria
A. del Manzanal
La Corona
C25
C24
C26
CDC
El Castro
Barrio de Pedrosa
A. de la Vicella
Corporales
La Debesa
A. del Valle
C27

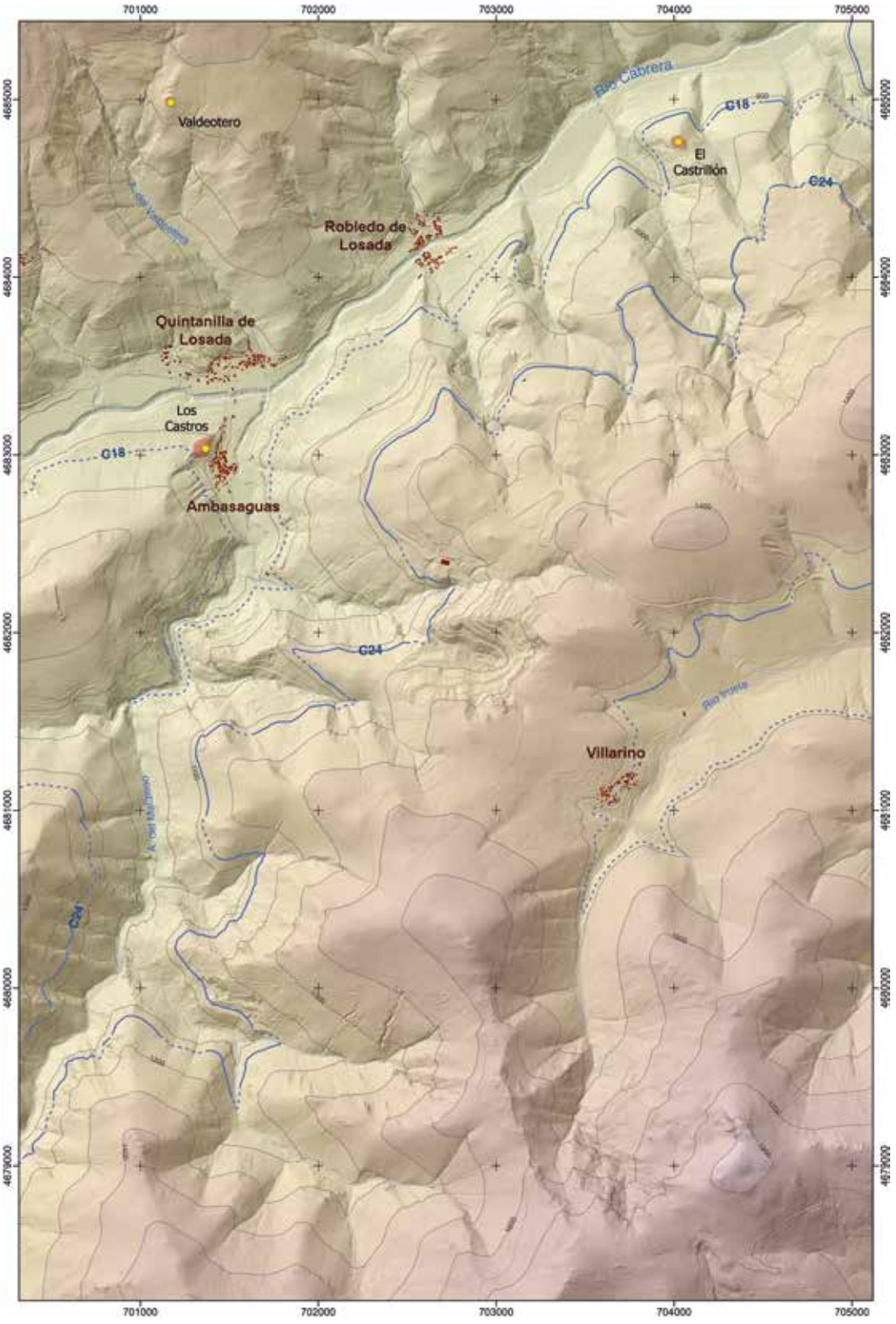
Hoja 16


705000
706000
707000
708000
709000
4686000
4685000
4684000
4683000
4682000
4681000
4680000
C24
C26
La Debesa
Río Cabrera
El Calderón
C18
Nogar
C27
Baillo
C24
Río Eria
C27
Iruela
Río Iruela
C27
C27

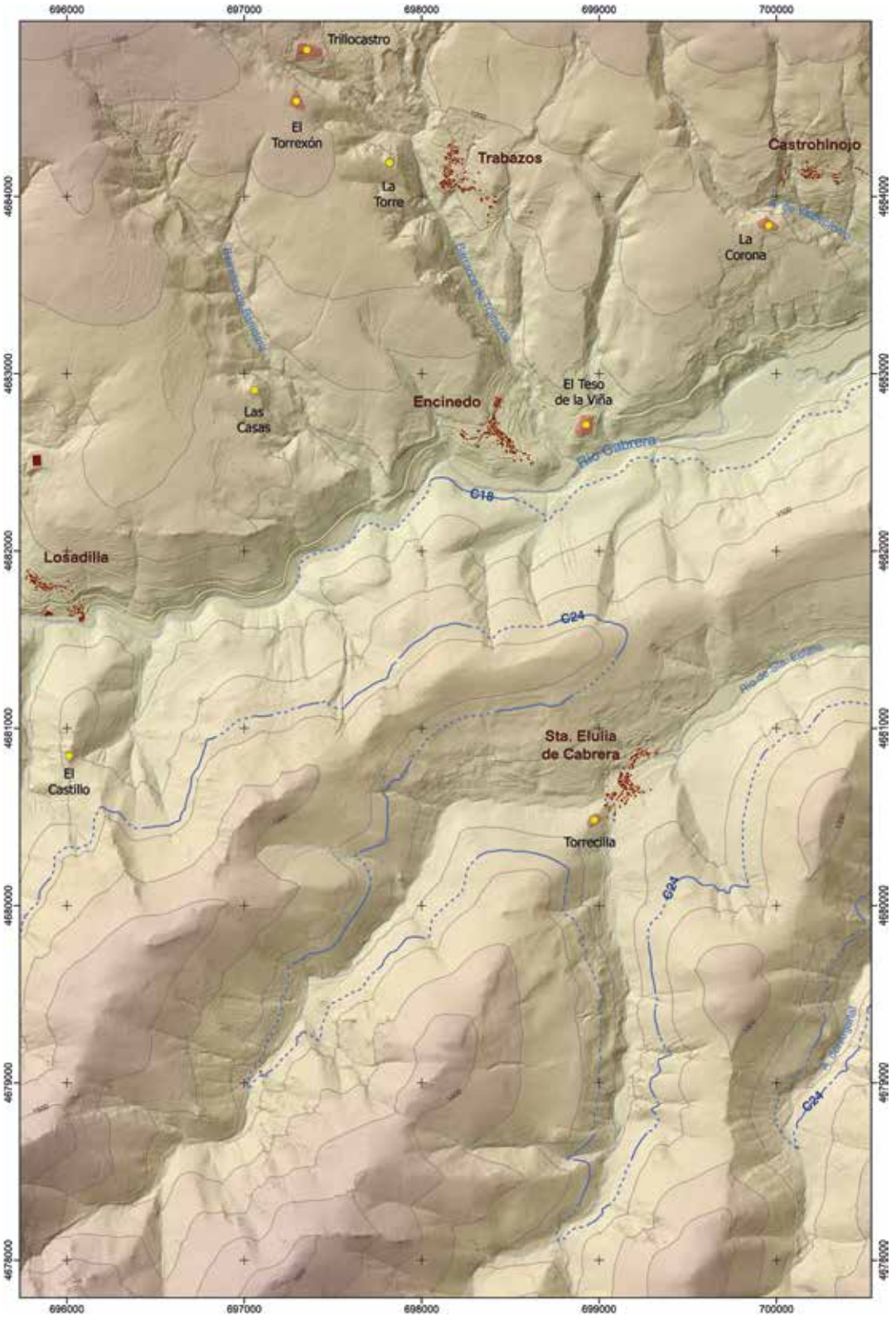
Hoja 17


705000
706000
707000
708000
709000
4681000
4680000
4679000
4678000
4677000
4676000
4675000
C27
Río Ruelo
Truchillas
Río Truchillas
Río del Lago

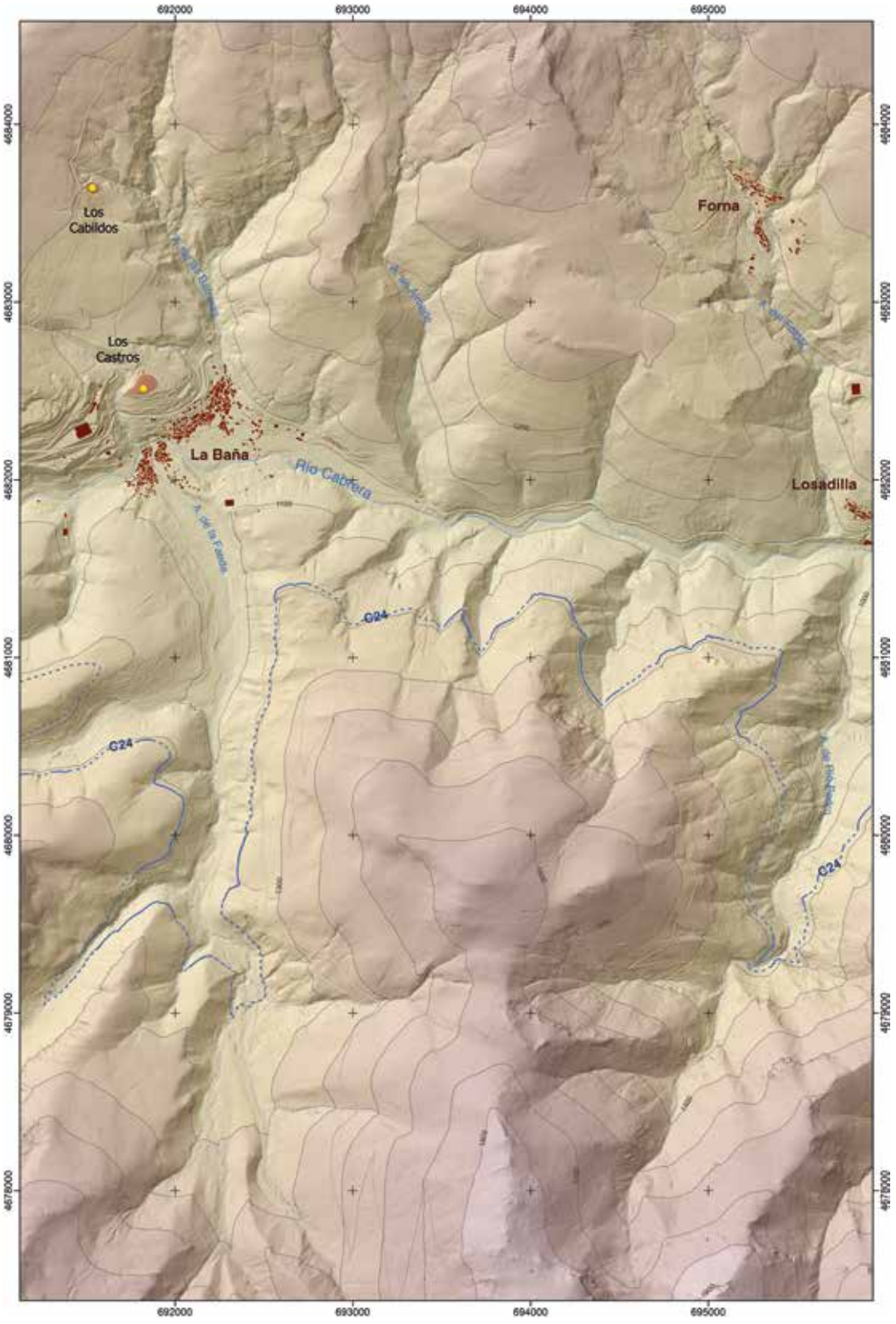
Hoja 18


701000
702000
703000
704000
705000
4685000
4684000
4683000
4682000
4681000
4680000
4679000
Valdeotero
Río Cabrera
C18
El Castrillón
C24
Robledo de Losada
Quintanilla de Losada
Los Castros
C18
Ambasaguas
C24
Río Invierno
Villarino
C24

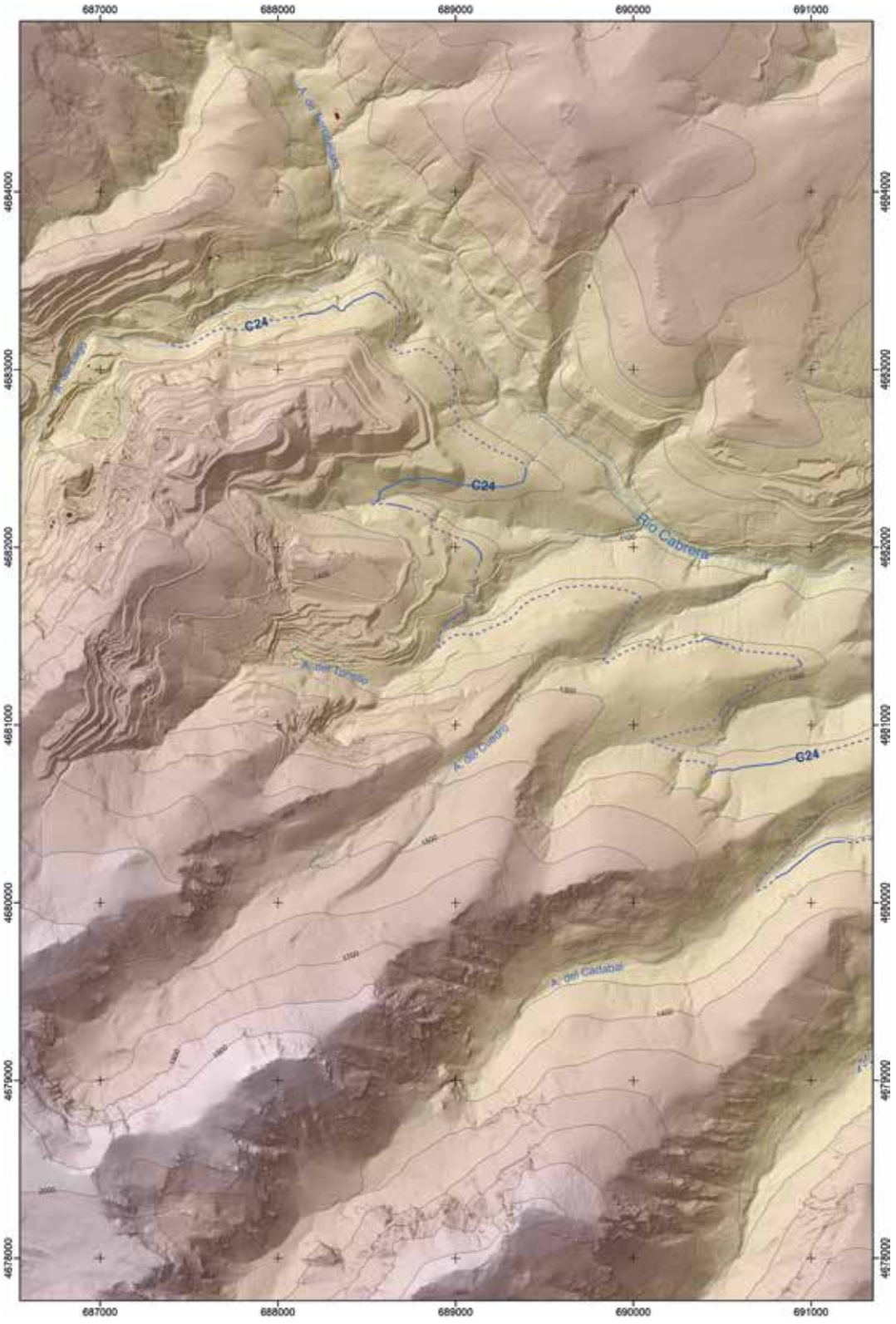
Hoja 19


696000
697000
698000
699000
700000
4684000
4683000
4682000
4681000
4680000
4679000
4678000
Trillocastro
El Torrexón
La Torre
Trabazos
Castrohinojo
La Corona
Las Casas
Encinedo
El Teso de la Viña
Río Cabrera
C18
Losadilla
C24
Sta. Eulalia de Cabrera
El Castillo
Torrecilla

Hoja 20


692000
693000
694000
695000
4684000
4683000
4682000
4681000
4680000
4679000
4678000
Los Cabildos
Los Castros
La Baña
Río Cabrera
Forna
Losadilla
G24
G24
G24

Hoja 21


687000
688000
689000
690000
691000
4684000
4683000
4682000
4681000
4680000
4679000
4678000
C24
C24
G24
Río Cabrera
A. del Cubillo
A. del Cadabal

Hoja 22

Anexo III. Epigrafía de la zona arqueológica de Las Médulas (en el área delimitada de red hidráulica y en orden alfabético por municipios)

Inés Sastre
Instituto de Historia del CSIC

Almudena Orejas
Instituto de Historia del CSIC

F. Javier Sánchez-Palencia
Instituto de Historia del CSIC

BENUZA

En el término de Benuza se encuentran dos inscripciones en el mismo canal, el C18. Este es uno de los canales más antiguos, el segundo de los que transcurren por la red meridional de La Cabrera. Es el primero que es realmente largo, llegando hasta la cuenca alta del río Cabrera, ya en el municipio de Encinedo. Destaca también por la relevancia que tuvo en las fases 2.ª y 3.ª de explotación del yacimiento de oro, ya que fue el que abasteció al depósito D19, el más grande de toda la mina. Las inscripciones se ubican, además, en una zona de su trazado muy bien conservada y que discurre por unas laderas muy escarpadas, por lo que los cortes en la roca son realmente espectaculares.

1. HEp 19301= IRPL 315 = ERPLe 319 (fig. 394). En un tramo del canal C18 situado al norte de Llamas de Cabrera, muy cerca de donde se realizó un sondeo (apartado 6.2.3).

Según Gómez Moreno (1925-1926: 95) está en el valle de Airoso, también denominado Cheiroso, al norte y cerca de Llamas, sobre el prado del Fuello y precisamente junto al sitio que llaman «El molino e la vento».

Lectura tradicional de Gómez Moreno recogida por Diego Santos (IRPL 315):

FLACI
INTERCISO
SEURORV
[...]ITC
SUSICVS

Lectura de Rodríguez y Ferrer (2010)

Placi(dio)
Interciso
Seur(r)roru(m)
i(nstruendam) t(itulum) c(uravit)
Susicus

La lectura de la cuarta línea («se ocupó de que se hiciera la inscripción») es completamente hipotética y no tiene paralelos.

2. HEp 19302 = IRPL 316= ERPLe 320 (fig. 395). Unos centenares de metros más adelante, aguas abajo, que la anterior inscripción, en el mismo canal C18, al norte de Llamas de Cabrera.

Según Gómez Moreno (1925-1926, 95), recogido por Diego Santos (IRPL 316) «poco trecho más allá [de IRPL 315], en el mismo canal, hay un tercero, donde se forma un saliente, que llaman "La palla de la valliza de la fervienza", junto a unas losetas».

Según Rodríguez y Ferrer (2010) está en el canal de valle Airoso, a «quinientos metros de distancia hacia el este para quien se aventura a recorrer al canal desde Llamas de Cabrera, en la margen derecha del *specus*».

Lectura de Gómez Moreno, recogida por Diego Santos (IRPL 316):

[...] ON
SEVTR
AM·E
COPC
IVXI V

Lectura de Rodríguez y Ferrer (2010):

Con(so)
M(arcus)? Eutr(opius)
[ar]am e[x]
[vo]to po[s](uit)
iuxta

BORRENES

3. ERPLe 284 = HEp 17196 = Sastre Prats 1999 = *Hispania Epigraphica* 9 (1999) 404 = AE 1999, 916 (fig. 390). Fue identificada en el verano de 1998 por los miembros del grupo de investigación EST-AP del IH del CSIC durante las obras de renovación del pavimento, en el interior de la iglesia de pueblo de Voces, donde la losa de calcoesquisto ocre grisáceo con vetas había sido reutilizada antiguamente.

] / vet(eranus) le[g(ionis)] / VII G(eminae) F(elicis) p[a]/rentibu[s] / suis om[ni]/bus et [si]/bi et Te[- - -] di[- - -]e E[

Por los epítetos de la legión se data entre el 70 y el 195 d. C. Rabanal y García (ERPLe 284) la sitúan en la primera mitad del siglo II por el tipo de letra.

PRIARANZA DEL BIERZO

4. *CIL* II 2598; Sánchez-Lafuente 2021 (fig. 389). Inscripción citada ya en la primera edición del *CIL,* pero desaparecida desde antiguo. Ha sido redescubierta en el entorno de la iglesia de Paradela de Muces, pueblo en el cual se encuentra.

I(ovi) O(ptimo) M(aximo) / Anderon(i) / sac(rum) / M(arcus) Vlpius / Aug(usti) lib(ertus) / Eutyches proc(urator) / metall(i) Albocr(arensis) /d(edit) d(edicavit)

Se ha relacionado cronológicamente con Trajano por el *nomen*. El epíteto *Anderon* lo relacionó Blázquez con el ganando o las mujeres. Recientemente se ha interpretado, por argumentos filológicos, con *IOM Inferus* o *Dis Pater,*[1] y esto, a su vez, se ha relacionado con el inframundo y las riquezas mineras. Una conexión similar se ha hecho a partir de su interpretación como divinidad de las montañas.[2]

PUENTE DE DOMINGO FLÓREZ

5. HEp 8423 = IRPL 314 = ERPLe 318 (fig. 392). Se encuentra en un tramo del canal C1, muy cerca, y en la margen izquierda, de la quebrada por donde transcurre el cauce más alto del arroyo de Valdefrola, en una roca situada en el lado derecho del canal, que presenta una superficie casi vertical y que forma par-

1 San Vicente González de Aspuru, José Ignacio. 2015. «Reflexiones en torno a Estrabón y las celebraciones ante las puertas de los pueblos del norte de la Península Ibérica». *Hispania Antiqua* 39: 23-46.

2 García Martínez, Sonia María y Manuel Abinilio Rabanal Alonso. 2001. «El culto a Júpiter en el Conventus Bracaraugustanus. Los dedicantes y su condición social». *Estudios humanísticos, Geografía, historia y arte* 22: 11-28.

cialmente una visera sobre su cauce. Está dentro del territorio de Castroquilame, pero cerca ya de la linde con el de Pombriego (Benuza).

Siguiendo la descripción de Gómez Moreno, recogida por Diego Santos (IRPL 314) se ubica en Valdefrola, «más allá de Castroquilame, en una peña que hace saliente sobre el canal», «en una de las conducciones de agua que cortan por los montes de Pombriego y Castoquilame».

Según Rodríguez y Ferrer 2010: Canal de Castroquilame, a una cota inferior que el de Llamas. Letras de más de diez centímetros.

Según Matías 2008: Canal C-0, Valle de Valdefrola-Castroquilame. Grabada con letras de 10 cm de altura que ocupan en dos líneas una superficie aproximada de 1,30 × 0,40 m, picadas a casi 1 cm de profundidad en la pared derecha del canal, a 0,50-0,75 m por encima de las aguas.[3]

Lectura de Gómez Moreno recogida por Diego Santos (IRPL 314):

ENDIVS
CARANCINVS

Lectura de Rodríguez y Ferrer (2010):

Emˆaˆdius Carancin[i]us

El canal podría estar en uso ya en el primer cuarto del siglo I d. C. Si la inscripción es contemporánea del trazado, sería una de las inscripciones más antiguas de la región, incluso anterior a la generalización del hábito epigráfico, fenómeno que suele datarse a partir de mediados del siglo I d. C.

3 Según información oral del arqueólogo Santiago Ferrer, entre los años cincuenta y sesenta del siglo XX una asociación cultural del Barco de Valdeorras (Orense) hizo un molde en escayola de esta inscripción, actualmente en paradero desconocido. Los autores del molde realizaron varios pequeños grabados con iniciales y numerales romanos unos metros aguas abajo, sobre la pared derecha del canal. Diego Santos respecto de su inscripción 317 (Mata Forcada, 14408 = IRPL 317 = ERPLe 321), en principio desaparecida, menciona que Domergue tiene referencias de que esta había sido hallada y fotografiada recientemente por una peña de montañeros de A Rua de Valdeorras. Podría ser la misma inscripción, o bien existir alguna confusión con esos grabados realizados por los montañeros.

Archivo
Español
de Arqueología



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
EDITORIAL CSIC

ISBN: 978-84-00-11606-4