

# 4D · arte rupestre

Monitorización del Abrigo del Buen Aire I (Jumilla),  
Cueva del Mediodía (Yecla), Cañaica del Calar II  
(Moratalla), Abrigo Grande de Minateda (Hellín) y  
Solana de las Covachas (Nerpio)



Juan F. Ruiz  
María Sebastián  
Elia Quesada  
José Pereira  
Silvia Fernández  
Àfrica Pitarch  
Maite Maguregui  
Anastasia Giakoumaki  
Irantzu Martínez  
Juan M. Madariaga  
Juan Carlos Lorente  
Antonio Dólera



# 4D · arte rupestre

enero 2016



# 4D · arte rupestre

*Juan F. Ruiz*

*María Sebastián*

*Elia Quesada*

*José Pereira*

*Silvia Fernández*

*Àfrica Pitarch*

*Maite Maguregui*

*Anastasia Giakoumaki*

*Irantzu Martínez*

*Juan M. Madariaga*

*Juan Carlos Lorente*

*Antonio Dólera*



Región de Murcia



CENTRO DE ESTUDIOS  
DE PREHISTORIA Y  
ARTE RUPESTRE



## **Monografías CEPAR 3 CENTRO DE ESTUDIOS DE PREHISTORIA Y ARTE RUPESTRE**

### **4D · arte rupestre**

Coordinación

*Juan F. Ruiz López*

Autores

*Juan F. Ruiz López*

*María Sebastián López*

*Elia Quesada Martínez*

*José Manuel Pereira Uzal*

*Silvia Fernández Ortiz de Vallejuelo*

*Àfrica Pitarch Martí*

*Maite Maguregui Hernando*

*Irantzu Martínez Arkarazo*

*Anastasia Giakoumaki*

*Juan M. Madariaga Mota*

*Juan Carlos Lorente*

*Antonio Dólera*

© Copyright de los textos y las imágenes, sus autores

© Copyright de esta edición:

*Comunidad Autónoma de Murcia*

*Consejería de Cultura y Portavocía*

*Dirección General de Bienes Culturales*

*Centro de Estudios de Prehistoria y Arte Rupestre*

Edita

*Dirección General de Bienes Culturales*

*Servicio de Patrimonio Histórico*

*C/ Santa Teresa, 21*

*30071 Murcia*

*Tfno: 968 279 727*

Maquetación: *Juan F. Ruiz*

Primera edición: enero 2016

ISBN: 978-84-7564-644-2

Depósito legal:

Reservados todos los derechos. Queda prohibido reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información y transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación...) sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

Impreso en España / Printed in Spain

**EL PROYECTO 4D · ARTE RUPESTRE HA SIDO PROMOVIDO POR EL  
EXCMO. AYUNTAMIENTO DE JUMILLA (CONCEJALÍA DE CULTURA),**



**EN COLABORACIÓN CON LOS  
EXCMOS. AYUNTAMIENTOS DE YECLA, HELLÍN, MORATALLA Y NERPIO**



El proyecto 4D · arte rupestre ha sido financiado en el marco de las Ayudas para proyectos de conservación, protección y difusión de bienes declarados Patrimonio Mundial, correspondientes a los años 2012 y 2013, de la Secretaría de Estado de Cultura, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN, CULTURA  
Y DEPORTE

SECRETARÍA  
DE ESTADO  
DE CULTURA

# Índice

<b>Presentación</b> · <i>María Comas Gabarrón</i> . . . . .	10
<b>Prólogo</b> · <i>Miguel San Nicolás del Toro</i> . . . . .	15
<b>1. Introducción, objetivos y localización</b> · <i>Juan F. Ruiz</i> . . . . .	<b>23</b>
1.1. Introducción . . . . .	25
1.2. Objetivos iniciales . . . . .	29
1.3. <b>Ámbito territorial.</b> . . . . .	30
1.3.1. Abrigo del Buen Aire I . . . . .	30
1.3.2. Cañaica del Calar II . . . . .	35
1.3.3. Cueva del Mediodía . . . . .	36
1.3.4. Solana de las Covachas . . . . .	41
1.3.5. Abrigo Grande de Minateda . . . . .	44
<b>2. Desarrollo del proyecto</b> · <i>Juan F. Ruiz</i> . . . . .	<b>51</b>
1ª campaña . . . . .	51
2ª campaña . . . . .	60
3ª campaña . . . . .	64
4ª campaña . . . . .	69
5ª campaña . . . . .	74
6ª campaña . . . . .	82
7ª campaña . . . . .	89
8ª campaña . . . . .	92
<b>3. Metodología</b> . . . . .	<b>97</b>
3.1. <b>Fotogrametría de objeto cercano</b> · <i>Juan F. Ruiz</i> . . . . .	99
3.1.1. Principios teóricos . . . . .	99
3.1.2. Utilización en el proyecto. PhotoScan Pro . . . . .	101
3.1.3. Utilización en el proyecto. VisualSFM · <i>Jose Pereira</i> . . . . .	107
3.1.4. Captura de imágenes para fotogrametría digital . . . . .	108
3.2. <b>Fotografía gigapíxel</b> · <i>Juan F. Ruiz</i> . . . . .	112
3.2.1. Definición de fotografía gigapíxel . . . . .	112
3.2.2. Fotografía gigapíxel en el proyecto 4D · arte rupestre . . . . .	114
3.2.3. Procesado de las imágenes . . . . .	115
3.2.4. Descorrelación de imágenes DStretch · <i>Elia Quesada</i> . . . . .	116
3.2.5. Gigapíxel DStretch · <i>Elia Quesada</i> . . . . .	117
3.3. <b>Comparación diacrónica de modelos 3D</b> · <i>Juan F. Ruiz</i> . . . . .	118
3.3.1. Monitorización de lugares con arte rupestre . . . . .	119
3.3.2. CloudCompare . . . . .	120



3.4. SIG 4D · <i>María Sebastián</i> . . . . .	121
3.4.1. Modelo de Datos . . . . .	121
3.4.1.1. Definición de elementos . . . . .	122
3.4.1.2. Selección de estructura . . . . .	122
3.4.1.3. Determinación de unidad mínima cartografiable . . . . .	123
3.4.2. Unificación de la Información. . . . .	123
3.4.2.1. Metadatos ortoimágenes . . . . .	124
3.4.2.2. Metadatos documentación de alteraciones. . . . .	127
3.4.3. Métodos y Fases de Trabajo . . . . .	129
3.4.3.1. Determinación del estado de conservación de los paneles . . . . .	130
3.4.4. Identificación de las alteraciones según su origen para su tratamiento SIG . . . . .	131
3.5. Estudio geológico de los indicadores visuales de alteración · <i>África Pitarch</i> . . . . .	140
3.5.1. Muestreo . . . . .	142
3.5.2. Instrumentación y métodos . . . . .	143
3.6. Análisis químicos in situ · <i>Silvia Fernández, Maite Maguiregui, Anastasia Giakoumaki, Irantzu Martínez y Juan Manuel Madariaga</i> . . . . .	145
3.6.1. Fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) . . . . .	145
3.6.2. Espectroscopia Raman . . . . .	146
<b>4. Resultados del proyecto.</b> . . . . .	<b>151</b>
4.1. Abrigo del Buen Aire I (Jumilla) . . . . .	153
4.1.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos · <i>J. F. Ruiz y J. Pereira</i> . . . . .	153
4.1.1.1. Sector 1 . . . . .	153
4.1.1.2. Sector 2 . . . . .	161
4.1.1.3. Detección de cambios volumétricos globales en el abrigo del Buen Aire I . . . . .	168
4.1.2. Fotografía gigapixel · <i>J. F. Ruiz y E. Quesada</i> . . . . .	169
4.1.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico · <i>Á. Pitarch</i> . . . . .	196
4.1.3.1. Contexto geológico . . . . .	196
4.1.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo . . . . .	197
4.1.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial . . . . .	198
4.1.4. Análisis químicos · <i>IBeA</i> . . . . .	200
4.1.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) . . . . .	201
4.1.4.2. Resultados espectroscopia Raman . . . . .	210
4.1.5. Conclusiones de la monitorización del Abrigo del Buen Aire I · <i>J.F. Ruiz</i> . . . . .	214
4.2. Cañica del Calar II (Moratalla) . . . . .	216
4.2.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos · <i>J. F. Ruiz y J. Pereira</i> . . . . .	216
4.2.2. Fotografía gigapixel · <i>J. F. Ruiz y E. Quesada</i> . . . . .	221

4.2.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico · <i>À. Pitarch</i> . . . . .	242
4.2.3.1. Contexto geológico . . . . .	243
4.2.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo. . . . .	243
4.2.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial . . . . .	244
4.2.4. Análisis químicos · <i>IBeA</i> . . . . .	247
4.2.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) . . . . .	247
4.2.4.2. Resultados espectroscopia Raman . . . . .	254
4.2.5. Conclusiones de la monitorización de Cañaica del Calar II (© J.F. Ruiz). . . . .	255
<b>4.3. Cueva del Mediodía (Yecla)</b> . . . . .	<b>258</b>
4.3.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos · <i>J. F. Ruiz y J. Pereira.</i> . . . . .	258
4.3.1.1. Panel 1 . . . . .	260
4.3.1.2. Panel 2 . . . . .	268
4.3.1.3. Panel 3 . . . . .	272
4.3.1.4. Detección de cambios volumétricos globales en Cueva del Mediodía, panel 1. . . . .	275
4.3.2. Fotografía gigapixel · <i>J. F. Ruiz y E. Quesada</i> . . . . .	276
4.3.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico · <i>À. Pitarch</i> . . . . .	286
4.3.3.1. Contexto geológico . . . . .	286
4.3.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo. . . . .	288
4.3.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial . . . . .	288
4.3.4. Análisis químicos · <i>IBeA</i> . . . . .	290
4.3.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) . . . . .	292
4.3.4.2. Resultados espectroscopia Raman . . . . .	297
4.3.5. Conclusiones de la monitorización de Cueva del Mediodía · <i>J.F. Ruiz</i> . . . . .	299
<b>4.4. Solana de las Covachas</b> . . . . .	<b>302</b>
4.4.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos · <i>J. F. Ruiz y J. Pereira.</i> . . . . .	302
4.4.1.1. Solana de las Covachas, zona III. Sector central y derecho . . . . .	303
4.4.1.2. Solana de las Covachas, zona III. Sector izquierdo . . . . .	305
4.4.1.3. Solana de las Covachas, zona VI . . . . .	307
4.4.1.4. Detección de cambios volumétricos globales en Solana de las Covachas VI . . . . .	316
4.4.2. Fotografía gigapixel · <i>J. F. Ruiz y E. Quesada</i> . . . . .	317
4.4.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico · <i>À. Pitarch</i> . . . . .	336
4.4.3.1. Contexto geológico . . . . .	336
4.4.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo. . . . .	336
4.4.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial . . . . .	338
4.4.4. Análisis químicos · <i>IBeA</i> . . . . .	344

4.4.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF), en Solana de las Covachas zona III . . . . .	344
4.4.4.2. Resultados espectroscopia Raman en Solana de las Covachas zona III . . . . .	350
4.4.4.3. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF), en Solana de las Covachas zona VI . . . . .	352
4.4.4.4. Resultados espectroscopia Raman en Solana de las Covachas zona VI . . . . .	356
4.4.5. Conclusiones de la monitorización de Solana de las Covachas · <i>J.F. Ruiz</i> . . . . .	358
<b>4.5. Abrigo Grande de Minateda . . . . .</b>	<b>361</b>
4.5.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos · <i>J.F. Ruiz, J.C. Lorente y A. Dólera.</i> . . . . .	361
4.5.2. Fotografía gigapixel · <i>J.C. Lorente, A. Dólera, E. Quesada, y J.F. Ruiz</i> . . . . .	370
4.5.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico · <i>À. Pitarch</i> . . . . .	412
4.5.3.1. Contexto geológico . . . . .	414
4.5.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo . . . . .	415
4.5.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial . . . . .	416
4.5.4. Análisis químicos · <i>IBeA</i> . . . . .	418
4.5.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) . . . . .	420
4.5.4.2. Resultados espectroscopia Raman . . . . .	425
4.5.5. Conclusiones de la monitorización del Abrigo Grande de Minateda · <i>J.F. Ruiz</i> . . . . .	429
<b>5. Conclusiones . . . . .</b>	<b>433</b>
5.1. Conclusiones metodológicas . . . . .	434
5.1.1. Análisis de cambios volumétricos · <i>J. F. Ruiz y J. Pereira</i> . . . . .	434
5.1.2. Fotografía gigapixel y DStretch · <i>J. F. Ruiz y E. Quesada</i> . . . . .	437
5.1.3. Análisis de cambios mediante SIG · <i>M. Sebastián y J. F. Ruiz</i> . . . . .	438
5.1.4. Análisis fisicoquímicos in situ · <i>IBeA y J.F. Ruiz</i> . . . . .	439
5.1.5. Análisis de las muestras geológicas · <i>À. Pitarch y J.F. Ruiz</i> . . . . .	440
5.1.6. Equipo humano · <i>J.F. Ruiz</i> . . . . .	442
5.2. Evaluación de los resultados · <i>J.F. Ruiz</i> . . . . .	442
5.2.1. Objetivos alcanzados y desviaciones respecto a los objetivos previstos . . . . .	442
5.2.2. Valoración de la idoneidad de la metodología del proyecto. . . . .	443
5.3. Perspectivas de futuro · <i>J.F. Ruiz</i> . . . . .	444
<b>6. Bibliografía . . . . .</b>	<b>447</b>
<b>Anexos · À. Pitarch . . . . .</b>	<b>457</b>









Prólogo

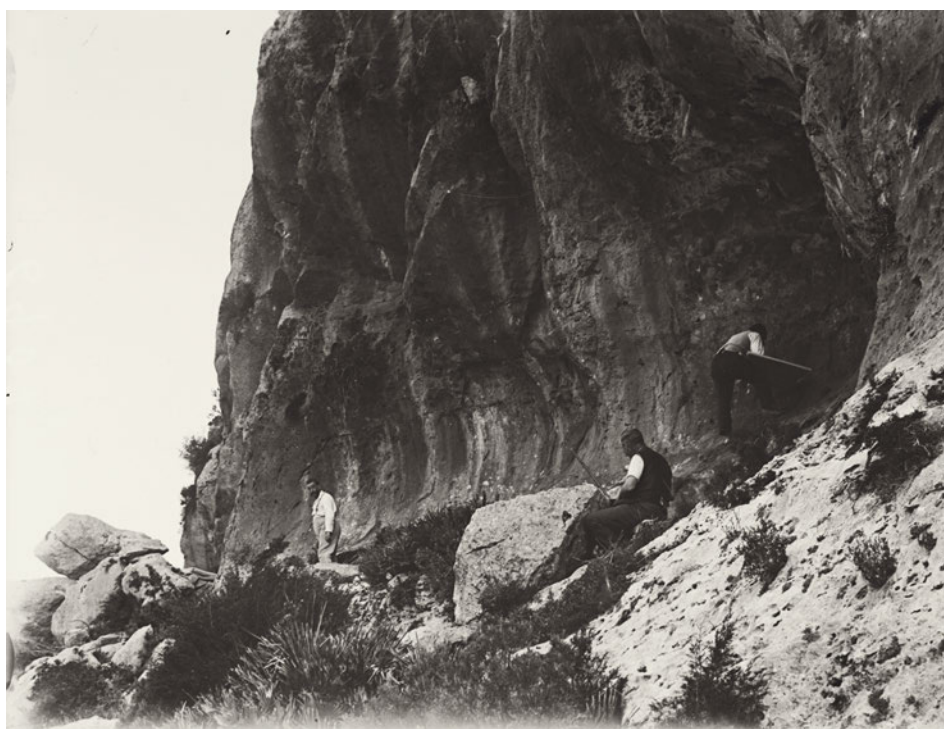




## Prólogo

En pocas ocasiones nos encontramos ante el resultado de un proyecto de intervención en el arte rupestre postpaleolítico que aúna adecuadamente el empleo de las nuevas tecnologías con el discurso humanista del prehistoriador. Después de un largo recorrido en busca de una solución integradora a través del de 3D, ahora ha sido posible una primera apuesta en un proyecto que recogiera fidedignamente la topografía del abrigo, la imagen fotorrealista de alta definición, el resalte visual de los elementos que componen la superficie del abrigo y la posibilidad del monitoreo, lo que los autores definen como 4D, ya que a las tres dimensiones espaciales le suman el vector tiempo.

La documentación del arte rupestre forma parte, junto a las medidas de protección pasiva como los cerramientos, de las primeras acciones que han de emprenderse por parte de los investigadores y de las administraciones competentes tras el descubrimiento de un nuevo sitio. La vulnerabilidad del registro y la consideración de bien de interés cultural obligan a la máxima calidad de la documentación y al cercado del sitio en la mayoría de los casos. En este sentido, es oportuno recordar ahora el caso del Abrigo del Mojao en Lorca (Murcia) que a los dos días de su hallazgo, el panel fue fotografiado con una película positiva color de 6 x 6 cm. con tiras de control color Kodak, y tres días después de haberlo documentado, esta singular escena de



arte levantino eran raspadas, lo cual demuestra la importancia que esta fase de documentación representa para este tipo de bienes.

La topografía de un abrigo de arte rupestre ha sido siempre un tema pendiente, de ardua solución, tal y como se advierte en las publicaciones en las que no suelen prodigarse las topografías de planta y secciones. El problema de establecer un claro nivel horizontal de corte y la no menor dificultad de elaborar curvas de nivel se suplía mediante unas secciones transversales coincidentes con los paneles pintados. Con estos dibujos topográficos y las oportunas fotografías, el lector podía llegar a imaginar el abrigo en tres dimensiones.

Con la llegada de la fotogrametría terrestre mediante pares estereoscópicos analógicos se pudieron documentar los paneles de la Cueva de Altamira y, poco tiempo después, en 1987, las primeras pinturas postpaleolíticas del Abrigo de El Milano de Mula (Murcia). Las asombrosas precisiones de escasos milímetros dejaban ahora la dificultad en establecer el plano de referencia, es decir, el punto de vista del observador. Si bien las precisiones alcanzaron sus fidelidades más altas, el elevado coste económico de los trabajos y la dureza visual de las reproducciones agotaron pronto esta línea de trabajo. Este panorama cambió radicalmente cuando las restituciones comenzaron a elaborarse en soporte digital, ya que permitía crear un modelo en 3D con curvas o malla que podía orientarse a satisfacción del investigador.

De manera independiente al avance en el modelado tridimensional, la fotografía digital avanzó fundamentalmente en la mejora de la definición y del tratamiento de imágenes mediante programas informáticos adecuados. En cuanto a la definición pronto se alcanzaron sensores con altas resoluciones y, posteriormente, la unión de fotogramas en vistas panorámicas, esféricas y de HDR. Los programas comerciales de tratamiento de la imagen permitieron el realce de las figuras hasta llegar al calco digital, al tiempo que se avanzaba en el tratamiento multispectral. Sin embargo, la asignatura pendiente era la ortorectificación, es decir, conseguir la corrección de la proyección cónica obtenida por la cámara y transformarla en otra ortogonal.

Así, la búsqueda de la visibilidad de los paneles y la posterior fidelidad en la reproducción se convirtieron en el anhelo de todos cuantos trabajábamos en el arte rupestre, apoyados en unos medios técnicos que irrumpían más deprisa que la necesaria reflexión que deberían llevar pareja. El escáner láser y la implantación plena de la era digital en los estudios de arte rupestre empujaron a incorporar estos elementos como una forma más de validación del trabajo del prehistoriador.

Este panorama descrito podría ser ubicado temporalmente entre el Seminario de Documentación Gráfica del Arte Rupestre celebrado en Murcia en junio de 2010 y las Jornadas Técnicas para la Gestión del Arte Rupestre Patrimonio Mundial celebradas en Alquézar (Huesca) en 2012. En esta última, la documentación del arte rupestre consiguió ocupar un lugar preeminente junto a las otras tres mesas reservadas a la conservación, la protección y la difusión.

En la Mesa de la Documentación ya quedaba manifiesta la incipiente integración de modelos 3D de los abrigos de arte rupestre con las fotografías correspondientes, tanto de las pinturas como del propio soporte rocoso. Asimismo, en la ponencia marco y en las conclusiones se indicaba la necesidad de monitorizar estos lugares para que tanto los elementos bióticos como los abióticos pudieran conocerse en su evolución temporal de modo que fuera posible evaluar y establecer planes de conservación.

En este encuentro de especialistas y de responsables técnicos de las seis autonomías que comparte el Arte Rupestre del Arco Mediterráneo, se debatió el papel del documento gráfico

rupestre, al entender que se había transformado el antiguo modelo de la imagen analógica y documental, en otro modelo de base digital que convertía a la imagen fotográfica en repositorio de datos susceptibles de generar nueva información a medida que el uso de herramientas gráficas de procesado evoluciona. Además, se consensuaron propuestas de carácter práctico tales como el sistema de coordenadas geográficas y escalas, o la ventaja de obtener imágenes en formato RAW y cumplimentar los metadatos.

Estas aportaciones y la experiencia acumulada se han ido plasmando en equipos de investigación de carácter multidisciplinar de gran dinamismo y probada eficacia en el registro documental, capaces de proporcionar nuevas técnicas de documentación geométrica y análisis del arte rupestre que los sitúan entre los más punteros en el panorama internacional.

En el ámbito de la documentación del arte postpaleolítico cabe mencionar, por su carácter de pioneros, al grupo de investigación valenciano formado por personal del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Literaria, del Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universidad Politécnica, y del Ivacor de la Generalitat Valenciana.

En Aragón se destaca el proyecto de investigación ARAM (Arte Rupestre del Arco Mediterráneo), formado por personal de la Universidad de Zaragoza como Jorge Angás del Scanner Patrimonio e Industria, Spin-Off, y Manuel Bea del Área de Prehistoria del Departamento de Ciencias de la Antigüedad, con José Ignacio Royo de la Dirección General de Patrimonio, entre otros investigadores. El ARAM nace con la vocación de crear una plataforma digital gráfica y accesible, un portal que permite acercar las manifestaciones artísticas prehistóricas de la Península Ibérica a todo el mundo. A través del proyecto ARAM, y en relación con la tutela y gestión del patrimonio, se ha tratado de establecer un protocolo en el proceso de documentación del arte rupestre, apostando por la obtención de resultados que favorezcan la transmisión de conocimientos y la difusión del valor histórico y cultural de los conjuntos decorados.

El ARAM se presenta como un espacio de consulta científico-técnica, pero también como un almacén de documentación gráfica digital (fotografías del abrigo, del entorno, de los motivos rupestres o detalles de estos, imágenes 360°, infografías, imágenes tridimensionales, fichas de contenido teórico...) que aúna un importante componente de difusión gráfica y visual estructurado a partir de una rigurosa base científica.

La idea es progresar en contenidos, aparato gráfico, posibilidades de visualización... junto con la calidad de la documentación, la flexibilidad y todo ello con carácter abierto. No pretenden ofrecer un análisis exhaustivo de cada conjunto sino, más bien, ofertar un amplio abanico de recursos que sirvan no sólo al investigador sino, sobre todo, al público en general.

Un tercer grupo formado al amparo de una subvención de la Secretaría de Estado del Ministerio de Educación Cultura y Deporte, está formado principalmente por los topógrafos de la empresa Esete, Adela López y José Manuel Garriga, con quienes ha colaborado la arqueóloga Esther López Montalvo. El proyecto, "Una buena práctica de desarrollo sostenible del Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica: Proyecto intercomunitario de Castilla la Mancha y Comunidad Valenciana (Alpera - Almansa - Ayora)" ha desarrollado un programa conjunto de intervenciones que enfatiza la documentación, estudio, conservación y difusión, abordando el estudio de los abrigos desde una óptica integrada, contemplando los estudios del paisaje, la geología, la biología y la topografía

en las manifestaciones de arte rupestre de un amplio sector territorial muy destacado al Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica (ARAMPI) que comprende espacios limítrofes de las comunidades autónomas de Castilla-La Mancha y Valencia. El mismo equipo que ha gestado el proyecto anterior y sobre el mismo territorio, ha desarrollado paralelamente el Rupestre Gigapíxel, Nuevas tecnologías en el Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica (ARAMpixel). Este proyecto ha implementado una serie de acciones i+d+i y trata de acercar el arte rupestre a los ciudadanos, además, de obtener una documentación gráfica de gran calidad. Se ha empleado un cabezal robótico que guía a la cámara para la realización de un conjunto de tomas precisas, a partir de las cuáles se forma un mosaico con cientos de fotografías por panel que alcanzan un tamaño gigapíxel, próximo a 10Gb, que permiten visualizar todo el panel con una resolución suficiente para poder observar el trazo en las pinturas.

La mayoría de estos proyectos y acciones han sido financiados gracias a las Ayudas para proyectos de conservación, protección y difusión de bienes declarados Patrimonio Mundial de la Secretaría de Estado del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, ente que en los últimos años ha subvencionado gran parte de las acciones realizadas en este ámbito. Esta línea de subvenciones ha supuesto un gran impulso para la investigación del Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica.

En este contexto hay que situar 4D Arte Rupestre, concebido como una experiencia piloto orientada a la conservación de los abrigos y sus pinturas mediante procesos de análisis a lo largo del tiempo. Para ello, Juan Francisco Ruiz ha liderado un equipo interdisciplinar no solamente de arqueólogos, topógrafos y fotógrafos, sino que además ha incorporado otras especialidades en la analítica química y en informática. Por si fuera poco, ha contado con la generosa ayuda de los prehistoriadores que ya habían trabajado en esa zona tan singular del sur de Albacete y Noroeste de Murcia. Los estudios realizados en este proyecto refuerzan aún más el estrecho vínculo de todas las estaciones de arte rupestre que se encuentran dentro del gran territorio de la Cuenca Hidrográfica del Segura. De esta franja montañosa se han incluido los sitios emblemáticos del Monte Arabí (Yecla), Buen Aire (Jumilla), Minateda (Hellín), Cañaica del Calar (Moratalla) y Solana de las Covachas (Nerpio).

Los que trabajamos en el ámbito de la gestión del patrimonio cultural no podemos por menos que valorar este notable esfuerzo por conseguir la estrecha vinculación entre las necesidades de conservación y la investigación académica. Así, se han creado espacios documentales en cada uno de los abrigos que parten de modelos topográficos virtuales con alto grado de detalle, realizados mediante fotogrametría de objeto cercano basada en SfM, que posibilita una visión inmersiva. Sobre cada uno de estos modelos se han incorporado visiones macroscópicas mediante capturas de tipo gigapíxel, en el ámbito visible y de falso color al aplicarle acertadamente la técnica del DStretch. Se completa la documentación con analíticas in situ efectuadas con fluorescencia de rayos X y espectroscopia Raman.

A esta exhaustiva documentación y análisis se le ha introducido la variable temporal: la monitorización. Este es un anhelo que poco a poco se va abriendo paso en la gestión patrimonial y en la investigación en general, si bien ese deseo se suele ver obstaculizado por cuestiones metodológicas y económicas. Si este principio es muy valorado para los lugares inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial, como es el caso que nos ocupa, no lo es menos la exportabilidad

de la metodología utilizada, especialmente para otros países, ya que no debemos de olvidar que el arte rupestre se extiende por todos los continentes y en todas la épocas.

El monitoreo es posible por la comparación entre los modelos adquiridos en campo en fechas distintas para abarcar una horquilla temporal y proceder a la concordancia. Para advertir las variables producidas en las pinturas y en el soporte hay que partir de una topografía muy precisa que ha permitido distinguir los cambios acaecidos durante el período de tiempo analizado con precisiones milimétricas.

Como remate final a los objetivos alcanzados con este gran proyecto, los autores han expuesto generosamente en esta obra, y con exquisito detalle, tanto los resultados como la metodología empleada. Y para entrar de lleno en estos excepcionales lugares de arte rupestre, se hace necesaria una visita al portal web creado al efecto de este proyecto:

<http://www.4darterupestre.com>.

**Miguel San Nicolás del Toro**

*UNESCO Focal Point*

*Rock Art of the Mediterranean of the Iberian Peninsula*



---

Introducción, objetivos  
y localización

---







## 1.1. Introducción

Desde finales del siglo XIX, los estudios de arte rupestre han experimentado un desarrollo sistemático, generando un acuerdo universal para intentar garantizar la transmisión y salvaguarda de esta parte del patrimonio arqueológico a las generaciones futuras. Pero esta evolución no ha sido equitativa en todos los campos; mientras la interpretación y el estudio del significado de las pictografías ocupan un lugar central en las producciones bibliográficas de los grandes autores del pasado siglo, no siempre ocurrió lo mismo con el establecimiento de unos métodos científicos rigurosos de registro. Esta situación es especialmente sensible en el contexto del Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica (ARAMPI).

Realizando un recorrido por las publicaciones más relevantes al respecto, nos atrevemos a afirmar, que tanto el estudio como la implementación de nuevas técnicas en el ámbito del ARAMPI han evolucionado de una manera poco dinámica, yendo muy por detrás de lo que ocurre en otras zonas con arte rupestre (Bahn et al, 2012; Taçon y Chippindale, 1998). El rigor de algunos pioneros como Juan Cabré (1915) o el dibujante Benítez Mellado (Díaz-Andreu, 2012) sólo se mantuvo en honrosas excepciones (Viñas, 1975; Alonso, 1980) dentro de una tendencia generalizada que prefirió primar otros intereses. Esta situación se ha visto mitigado en la última década por el esfuerzo realizado por los investigadores por obtener una reproducción fiel a la realidad de los elementos iconográficos (David et al., 2001; Domingo et al., 2012; López-Montalvo y Domingo, 2005, 2009; Martínez- Bea, 2009; Rogerio et al., 2011; Ruiz, 2008). Pero más allá de la iconografía, muy poco se ha hablado sobre el registro de estos paneles, entendiendo en este caso registro como la suma del propiamente iconográfico -reproducción o calco- con el del soporte como entidad física y el de su situación geográfica y paisajística, por diversos procedimientos gráficos y textuales. La tendencia actual es la recogida de información de un panel en soportes gráficos y escritos –documentación-, junto con la elaboración de la copia del original –reproducción- (López-Montalvo y Domingo, 2005), mientras que las técnicas de vanguardia pretenden lograr un registro tridimensional del bien, primando el registro integral del soporte y de la cavidad sobre la atención a la iconografía.

Pero, ¿por qué a pesar del su inexorable valor científico-histórico, el arte rupestre pocas veces se ha tratado como objeto arqueológico *strictu sensu*?

A nuestro parecer, la consideración de esta rama de la arqueología como de valor científico limitado es lo que ha llevado, muy probablemente, a la urgencia por elaborar interpretaciones y plantear apresuradas hipótesis que dieran respuesta al significado del arte rupestre, provocando que el estudio de la documentación y reproducción no se consideraran parte fundamental en la investigación. Como consecuencia, el arte rupestre no se inscribe en los discursos y debates arqueológicos sino que se mantiene al margen tratándose como entidades aisladas del discurso histórico.

Además, al problema de inadecuada documentación del arte rupestre, en el caso de las pictografías, se une su fragilidad y consecuente deterioro (Sebastián et al., 2013). La pintura rupestre del ARAMPI, pero también de muchos otros lugares del mundo, se desarrolla mayoritariamente en abrigos rocosos al aire libre de muy variada condición, generalmente expuestos a la acción más o menos directa de los agentes atmosféricos. Esta variedad de situaciones complica un listado preciso de procesos naturales de degradación, en general bastante acusados y todavía más, en las pinturas realizadas sobre soportes calizos -disolución, precipitación de costras, etc. (Cliffor, 2010)-. Unidos a estos, existen otros procesos relacionados con el biodeterioro y los lavados de pintura por la acción disolvente del agua, ya sea directa -lluvia, escorrentía (MacLeod y Haydoc, 2008)-, ya infiltrada a través de los planos de fisuración de las rocas. Sin olvidarnos, de la degradación biológica, los organismos quimiolitotróficos -bacterias, hongos, algas, líquenes (Bastian y Alabouvette, 2009)-, y aquellos que fabrican estructuras de barro -avispa, termitas, etc.-

Esta suma de factores hacen del arte rupestre un objeto patrimonial muy valioso y un fenómeno de extraordinaria importancia desde el punto de vista científico. Pero al mismo tiempo, esta doble relevancia está condicionada por grandes inconvenientes que derivan de su propia naturaleza:

- Dificultad en la documentación exhaustiva, fiable y sistemática del objeto a estudiar, tarea básica en el caso del arte rupestre, ya que éste es el principal argumento empírico (Lorblanchet, 1995).
- Consideración del arte rupestre como un fenómeno “poco arqueológico” que no necesita un análisis ni explicación, sino interpretación.
- Gran fragilidad y deterioro, junto con medidas de restauración-conservación poco contrastadas.

En este contexto, el proyecto 4D · arte rupestre se planteó como una experiencia piloto para poner a punto un sistema de monitorización y gestión de lugares con arte rupestre al aire libre incluidos en el ARAMPI. Las estaciones seleccionadas para su implementación fueron Abrigo del Buen Aire I (Jumilla, Murcia), Cueva del Mediodía (Yecla, Murcia), Abrigo Grande de Minateda (Hellín, Albacete), Cañaica del Calar II (Moratalla, Murcia) y Solana de las Covachas, zonas III y VI, (Nerpio, Albacete).

El sistema diseñado se compone de un control volumétrico de las cavidades, especialmente de los paneles pintados, mediante la comparación de series temporales de modelos 3D realizados mediante fotogrametría de objeto cercano, una monitorización de afecciones físicas superficiales (incluyendo alteraciones litológicas y biológicas) mediante un SIG específico, un análisis geológico y una toma de datos físico-químicos in situ para identificar los posibles cambios de la materia a niveles moleculares y atómicos que puedan presentar los paneles a lo largo del tiempo. Adicionalmente se han utilizado técnicas de fotografía gigapixel y macrofotografía para realizar una documentación exhaustiva de las estaciones rupestres, y se han aplicado a estas imágenes gigapixel técnicas de descorrelación de imágenes, con el objetivo de tener una visión precisa de la situación de las pictografías y comparar su estado actual con los calcos realizados anteriormente por otros investigadores.

En conjunto, constituye una herramienta eficaz para la conservación preventiva del arte rupestre al aire libre incluido en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO y es, además, extensible a cualquier otro lugar con arte rupestre en el mundo.

Por otro lado, es interesante recalcar que los objetivos perseguidos por este proyecto coinciden en gran parte con las recomendaciones emanadas de la Reunión de Alquézar y de los principios de conservación preventiva que se establecieron en ella. En las Jornadas Técnicas para la Gestión del Arte Rupestre Patrimonio Mundial, celebradas en 2012 en dicha localidad aragonesa, se constató que no se cuenta con un sistema de diagnóstico real del estado de conservación de los diferentes enclaves rupestres incluidos en el ARAMPI (Arte Rupestre del Arco Mediterráneo). En el Documento Marco Inicial de dichas jornadas se planteó la necesidad de llevar a cabo actuaciones de conservación preventiva que permitan “*conocer la estructura y dinámica geológica del soporte, la naturaleza y composición de las pinturas y pátinas, y los procesos de deterioro que los afectan*” (Juste et al., 2012: 21), concluyendo que “*necesitamos conseguir la monitorización de la mayor cantidad de enclaves posibles, o al menos, la de un número realmente representativo del total del territorio del ARAMPI*” (Íbid.).

El documento indicado resalta como punto fundamental del plan de gestión la “*propuesta de un modelo para el seguimiento científico del estado de conservación de los enclaves del Bien ARAMPI, en respuesta a la exigencia de la UNESCO en los informes periódicos*” (Íbid.). La propuesta de las Jornadas Técnicas contempla una identificación de patologías, su monitorización, y diversos modelos de intervención. En cuanto a la identificación de patologías plantea la necesidad de monitorizar las afecciones antrópicas (grafitis, golpes, alteraciones por mojado, humos, etc.) y naturales (pérdidas de roca, riesgo de pérdidas, fisuras, coladas, microorganismos, flora, fauna, etc.). Además se considera necesario realizar el seguimiento de los parámetros medioambientales, de la evolución, degradación e inestabilidad estructural de soporte y pátinas y, por último, el control y evolución de la conservación de pigmentos y grabados. Para ello se recomienda la utilización de análisis químicos específicos, estudios geológicos, bioquímicos y petrográficos y la inspección visual de los soportes (Íbid.: 22).

El proyecto 4D arte rupestre cubre la mayor parte de las necesidades de monitorización de enclaves con arte prehistórico, y plantea una metodología fácilmente reproducible a lo largo del tiempo, eficiente en los recursos, y con una buena relación entre coste y resultados.

Quisiéramos agradecer aquí la desinteresada colaboración prestada por el Museo Arqueológico Municipal Jerónimo Molina (Jumilla), al Museo Arqueológico Municipal Cayetano de Mergelina (Yecla) y al Museo Comarcal de Hellín, en representación de sus respectivos municipios, así como a los ayuntamientos de Moratalla y Nerpio por las facilidades prestadas. En especial, deseáramos mostrar nuestra gratitud hacia la concejalía de Cultura del Excmo. Ayuntamiento de Jumilla por su permanente colaboración con los miembros de este proyecto. Este agradecimiento extensivo nos gustaría particularizarlo en las siguientes personas que siempre han atendido nuestras solicitudes con la mejor de las disposiciones:

Emiliano Hernández Carrión (Director del Museo Arqueológico de Jumilla),  
 Liborio Ruiz Molina (Director del Museo Arqueológico de Yecla),  
 Juan Carlos Puche Carpena (Museo Arqueológico de Yecla),  
 Javier López Precioso (Director del Museo Comarcal de Hellín),  
 Esteban Sicilia Martínez (ADL, Ayuntamiento de Moratalla),  
 Elena Sánchez (Oficina de Turismo, Nerpio),  
 María Dolores Fernández Martínez (Concejala Delegada de Cultura, Teatro y Turismo, Excmo. Ayuntamiento de Jumilla),

Enrique Jiménez Sánchez (Alcalde de Jumilla),  
Jesús Verdú García (Concejal Delegado de Cultura y Agricultura, Agua y Medio Ambiente del Ayuntamiento de Yecla)  
Marta Pérez Villanueva (Concejal Delegada de Industria, Comercio y Turismo, Medio Ambiente, Agua y Agricultura del Ayuntamiento de Hellín)  
Amador Casado Villena (Concejal Delegado de Cultura, Patrimonio Histórico y Cultural y Fiestas del Ayuntamiento de Hellín)  
Pilar Peña Beteta (Alcaldesa de Nerpio),  
José Antonio Gómez Moreno (Teniente Alcalde de Nerpio),  
Antonio García Rodríguez (Alcalde de Moratalla)  
Ventura Guerrero Hernández (Concejal Delegado de Urbanismo, Nuevas Tecnologías y Planificación de infraestructuras, Ayuntamiento de Moratalla)  
Eustiquiano Sánchez Martínez (Alcalde pedáneo de Calar de la Santa, Moratalla),  
Antonio Carreño Cuevas (Asociación de Amigos del Parque Cultural de Nerpio),  
José Antonio Gómez Moreno (Teniente Alcalde de Nerpio),  
Juan Manuel Vicent García (CSIC, CCHS, Laboratorio de Teledetección),  
Antonio Uriarte González (CSIC, CCHS, Laboratorio de Teledetección),  
Alfonso Fraguas Bravo (CSIC, CCHS, Laboratorio de Teledetección),  
Albert Rubio Mora (Universidad de Barcelona),  
Josep Girbal (Universidad Autónoma de Barcelona),  
a los colegas Anna Alonso Tejada y Miguel Ángel Mateo Saura por autorizar el uso de sus calcos en nuestro proyecto,  
y, yo por mi parte, a todos los participantes en el proyecto por el generoso esfuerzo, y el gran trabajo desarrollado (María Sebastián, Elia Quesada, José Pereira, Silvia Fernández, Irantzu Martínez, Maite Maguregui, Àfrica Pitarch, Anastasia Giakoumaki, Juan Manuel Madariaga, Juan Carlos Lorente y Antonio Dólera),  
a los jefes de servicio de Murcia y Castilla - La Mancha, Miguel San Nicolás del Toro (Servicio de Patrimonio Histórico. Dirección General de Bienes Culturales. Consejería de Cultura y Turismo. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia), y María Perlina Benito (Servicio de Patrimonio y Arqueología, Dirección General de Cultura. Consejería de Educación, Cultura y Deportes. Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha),  
y muy especialmente a Carolina Allepuz García, sin cuyo soporte este proyecto no habría podido llevarse a cabo en sus fases iniciales.

Juan F. Ruiz López  
Cuenca, julio de 2014.





## 1.2. Objetivos iniciales

El objetivo del proyecto 4D · arte rupestre consiste en la *implementación de un sistema de monitorización a lo largo del tiempo de sitios con arte rupestre* que pueda servir como herramienta de gestión y conservación preventiva para las autoridades competentes en este tipo de bienes patrimoniales.

El proyecto se inició con una primera fase de implementación que tuvo lugar entre enero de 2013 y julio de 2013. En función de los resultados obtenidos en la etapa inicial se definió una segunda fase que pretendía extender el período de monitorización, para obtener resultados más concluyentes, verificar la metodología y para mejorar o precisar las tareas efectuadas hasta entonces. En esta segunda fase se complementó el trabajo precedente con un análisis específico de las problemáticas geológicas, con el objetivo de una mejor categorización de las alteraciones identificadas.

Para alcanzar el objetivo señalado se reseñaron los siguientes objetivos parciales:

### **A. Monitorización de lugares con arte rupestre al aire libre mediante modelos 3D y fotografía gigapíxel.**

1. Obtención de modelos 3D basados en fotogrametría de objeto cercano.
2. Comparación volumétrica para la detección de alteraciones.
3. Obtención de fotografías gigapíxel a nivel macro.
4. Descorrelación de las fotografías gigapíxel para la mejora de visualización de los motivos y comparación con el estado "0" constituido por los calcos pre-existentes.
5. Generación de modelos 3D visualizables en la web, tablets o en entornos que no requieran una gran capacidad de proceso.

### **B. Desarrollo de un sistema SIG para analizar cambios temporales.**

1. Obtención de ortofotografías para el desarrollo de mapas de alteraciones de referencia para cada una de las cavidades.
2. Muestreos para análisis petrológicos y geológicos en laboratorio.
3. Categorización de alteraciones.

### **C. Análisis químicos in situ mediante espectroscopía Raman y fluorescencia de rayos X.**

1. Identificación y registro de puntos de análisis de pictografías, soportes y alteraciones.
2. Obtención de series de datos temporales.
3. Comparación de las diferentes series de datos.

## 1.3. Ámbito territorial

Los yacimientos con arte rupestre en los que se ha llevado a cabo el proyecto 4D · arte rupestre son: Abrigo del Buen Aire I (Jumilla, Murcia), Cueva del Mediodía (Yecla, Murcia), Abrigo Grande de Minateda (Hellín, Albacete), Cañica del Calar II (Moratalla, Murcia) y Solana de las Covachas -zonas III y VI- (Nerpio, Albacete).

Estas cavidades se sitúan a lo largo de la franja fronteriza entre las provincias de Albacete y Murcia, es decir entre las comunidades autónomas de Castilla La Mancha y de la Región de Murcia. Se trata de un área geográfica continua que se extiende desde el altiplano murciano en Yecla hasta la sierra de Segura en Nerpio y Moratalla. El número total de estaciones con pinturas rupestres conocidas en el conjunto de estos municipios se aproxima a las doscientas, de las que la mayor parte se localizan en Nerpio y Moratalla, alrededor de ciento cincuenta, una de las zonas con mayor concentración de arte rupestre del ARAMPI. Predominan los conjuntos con arte levantino, pero también son frecuentes los de arte esquemático.

### 1.3.1. ABRIGO DEL BUEN AIRE I

El abrigo del Buen Aire I se localiza en el término municipal de Jumilla (Murcia). Fue descubierto en 1983 (Hernández y Montes, 1983) y estudiado en profundidad casi dos décadas después (Mateo, 2005). Se ubica en un potente farallón rocoso en las estribaciones meridionales de la sierra de la Cingla, que junto a la sierra de Grajas delimitan el Barranco del Buen Aire. En este barranco se han documentado dos cavidades independientes, conocidas como Abrigo del Buen Aire I y II.

El primero de ellos, se localiza en el extremo oriental del farallón y presenta registros gráficos de estilos levantino y esquemático distribuidos en dos paneles. Se han documentado en él 85 figuras y restos de estilo levantino y 5 de estilo esquemático, en diversos estados de conservación, y distribuidos en dos paneles (ibid.).

Todas las pictografías se conservan en la parte alta de la cavidad; en el resto del amplio abrigo sólo se aprecian restos de color rojo muy deteriorados que incluso podrían ser de origen natural. Debido al elevado nivel de meteorización que presenta gran parte del friso utilizable como soporte no se puede descartar que originalmente existiesen más pictografías

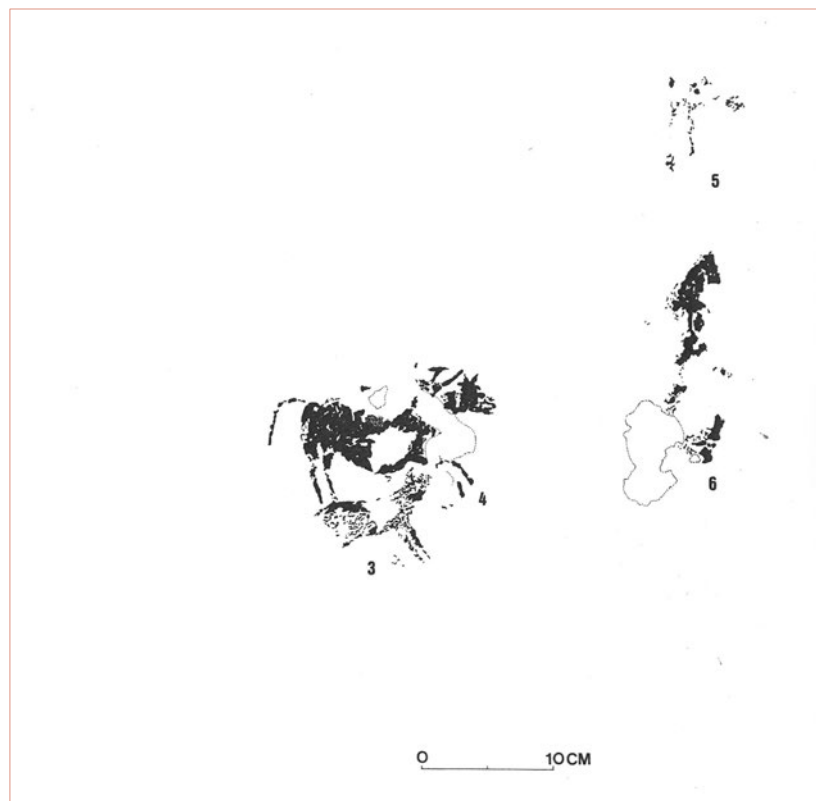




Figura 1. Mapa de localización de los lugares incluidos en el proyecto 4D - arte rupestre a lo largo del área fronteriza entre Albacete y Murcia.

## Ficha básica Abrigo del Buen Aire I

<b>Municipio</b>	Jumilla
<b>Paraje</b>	Barranco del Buen Aire, sierra de la Cingla
<b>Coordenadas UTM (ETRS89)</b>	30S x646631 y4267373
<b>Orientación</b>	S-SE
<b>Altitud</b>	750 msnm
<b>Geología</b>	Calcarenitas y calizas de algas. Mioceno (Langhiense-Tortonense)



2



Figura 2. Calco de Mateo (2005) de figuras del panel 1 del abrigo del Buen Aire I.

Figura 3. Vista panorámica de la ubicación en el paisaje del Buen Aire I y II.

© Juan F. Ruiz

en la parte baja del enclave. El panel 1, tal y como lo definió Mateo (2005) se localiza en la parte media del alzado del abrigo, en la parte correspondiente a las concavidades más profundas, y quizás más resguardadas. Se pueden diferenciar dos lóbulos, uno situado en la zona izquierda de la cavidad y otro bajo el panel 2. En él se han documentado la mayor parte de las pictografías, si bien en su mayor parte su visualización es muy complicada, ya que están veladas por diversos tipos de costras, o presentan un estado muy alterado y fragmentario del pigmento y del soporte. No obstante, podemos indicar que en este panel destacan varios ejemplos de caballos y cabras algún pequeño bóvido y diversas agrupaciones de antropomorfos que tienden al esquematismo.

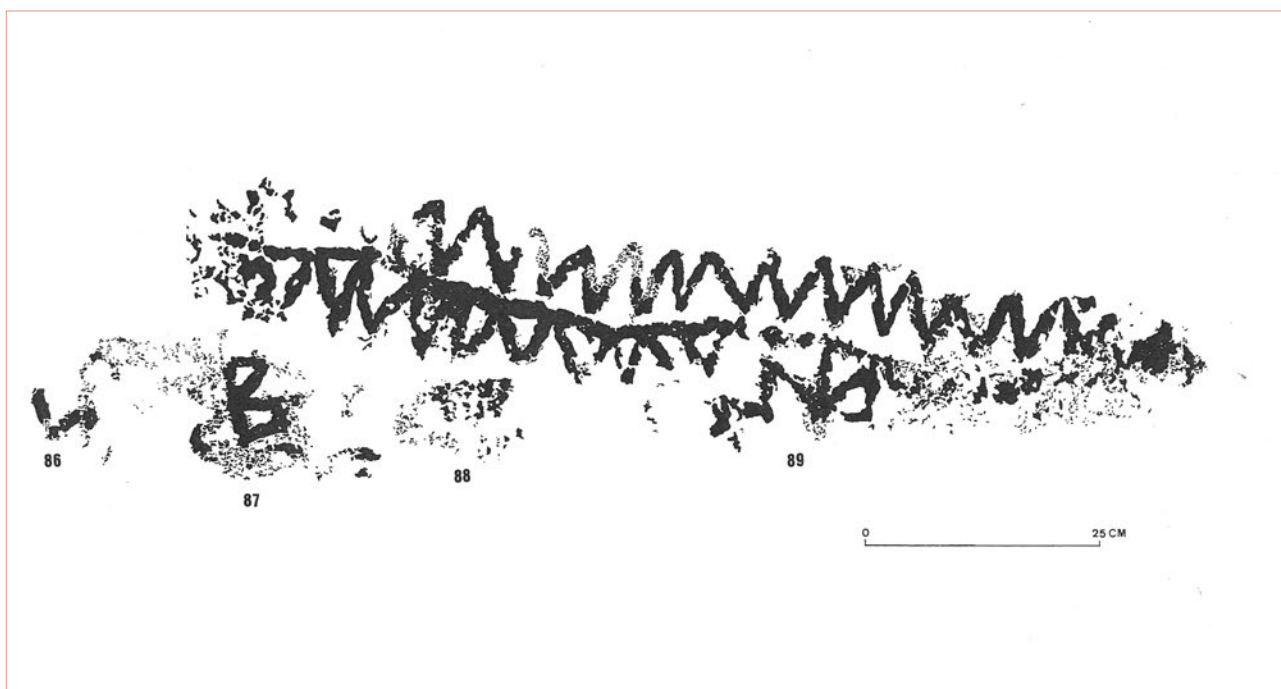
El segundo panel se localiza en un friso sobreelevado por encima del panel 1, a una altura que en algunos puntos supera los 2,5 m. Su conservación es bastante buena, presentando colores rojos y negros vivos, pese a que en algunos puntos se aprecia una costra oscura sobre ellos. Junto a una figura humana levantina de color negro y grandes dimensiones, este panel conserva un interesante ejemplo de figura en dientes de sierra de grandes dimensiones –abarcan la práctica totalidad del panel– junto a un par de bilobulados esquemáticos.

El conjunto se encuentra protegido en la actualidad por un cerramiento adaptado a la boca de la cavidad y contiene algunos de los mejores ejemplos de arte rupestre levantino existentes en este municipio.



Figura 4. Calco de un grupo de motivos del panel 1 del abrigo del Buen Aire I, según Mateo (2005)





6

### 1.3.2. CAÑAICA DEL CALAR II

El conjunto de Cañaica del Calar (Moratalla, Murcia) fue descubierto en 1966 y publicado poco después (Carbonell, 1969), incluyendo fotografías y dibujos poco precisos de las cavidades II y III. No obstante, su indudable interés atrajo rápidamente la atención de Antonio Beltrán, quien publicó sus propios calcos poco después (Beltrán, 1972). Apuntes a mano alzada realizados por Meric fueron publicados también por entonces (Walker, 1971). La última revisión del abrigo (Mateo, 2007) ha producido un calco de altísima calidad, que hace justicia a la calidad gráfica de estas muestras de arte prehistórico y a su buen estado de conservación.

El grupo consta de cuatro abrigos, entre los que destaca Cañaica del Calar II por sus extraordinarias pictografías de estilo levantino. En sus proximidades se localizan los abrigos I, III y IV, todos ellos con arte esquemático. Su descubrimiento dio lugar a que prospecciones posteriores aumentaran el número de abrigos con pinturas rupestres en Moratalla hasta superar los más de 60 que se conocen en la actualidad.

Las estaciones de Cañaica del Calar se ubican en el paraje de la Cañaica de Andrés, en el Calar de la Santa, zona en la que se han documentado varios sitios con arte rupestre a lo largo de un pequeño barranco que desemboca en el arroyo del Sabuco, entre ellos Fuente del Sabuco I y II, además de los indicados más arriba.

Cañaica del Calar II contiene 53 registros gráficos de estilo levantino (Mateo, 2007) dispuestos en un único panel de dimensiones modestas. La mayoría de las representaciones conservadas corresponden a zoomorfos de este estilo, entre los que se cuentan, al menos, cinco cérvidos machos, once cabras monteses y cuatro figuras humanas, una de ellas un arquero y otra una mujer. Un motivo inusual es la posible representación de un oso, propuesta por Beltrán (1972) y corroborada por Mateo (2007), en la que se diferencian las extremidades anteriores con grandes garras. La estación

Figura 5. Detalle de líneas esquemáticas, zigzags, polilobulado y restos de color negro en el panel 2 del Buen Aire I. © J. F. Ruiz  
Figura 6. Calco del panel 2 del abrigo del Buen Aire I, según Mateo (2005)



fue limpiada recientemente, lo que produjo el descubrimiento de varias pictografías inéditas hasta entonces. Esta intervención ha permitido que en la actualidad se puedan visualizar con facilidad las pinturas rupestres que se conservan.

Cañaica del Calar II cuenta con un cerramiento perimetral de reciente instalación, y otro inmediato similar para Cañaica del Calar III, que presenta un panel con motivos esquemáticos en buen estado de conservación.

Figura 7. Detalle del sector central de Cañaica del Calar II, en el que destaca el magnífico ciervo conservado en él. © J. F. Ruiz

Figura 8. Calco del sector derecho de Cañaica del Calar II, según el calco de Mateo (2007).

Figura 9. Cañaica del Calar II en su contexto paisajístico. © J. F. Ruiz

### 1.3.3. CUEVA DEL MEDIODÍA

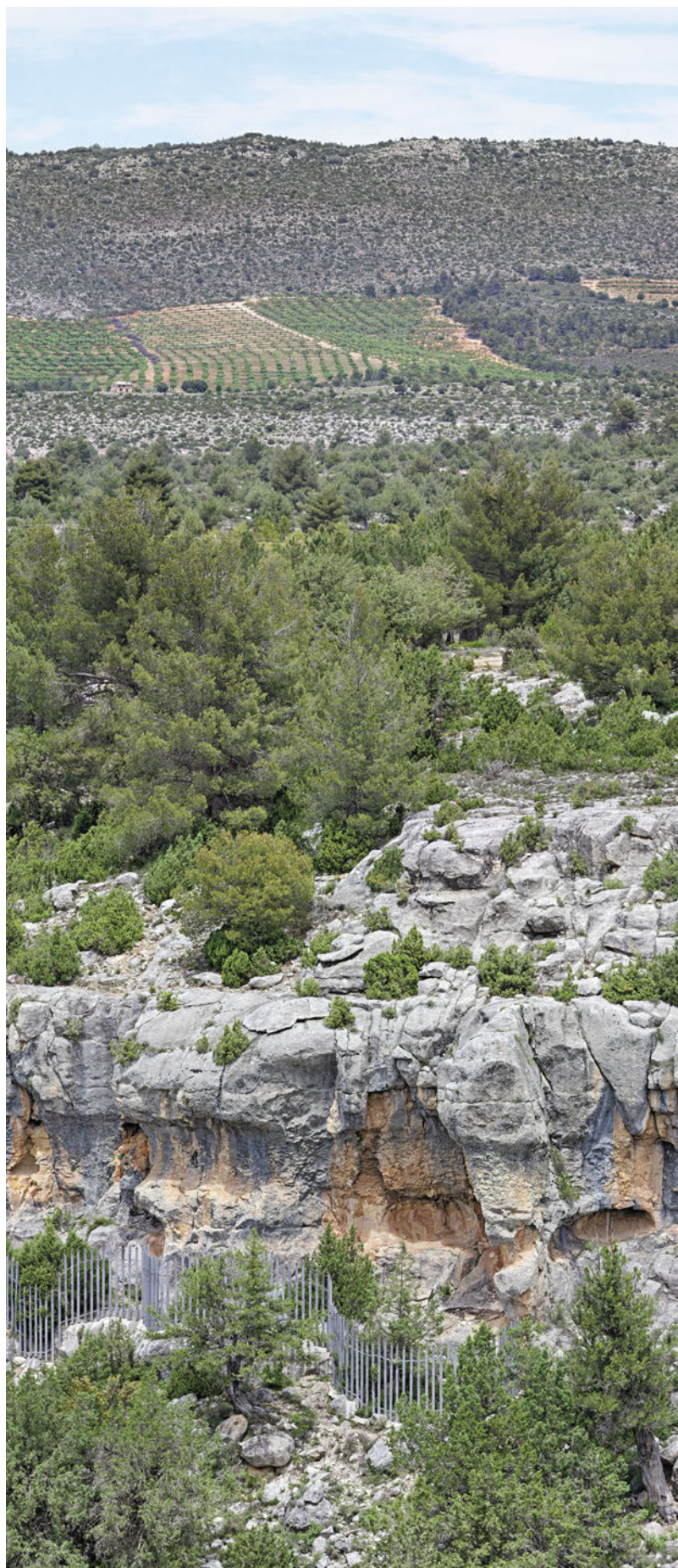
La Cueva del Mediodía (Yecla, Murcia) se sitúa en la ladera oriental del Monte Arabí, un lugar ampliamente conocido en la historiografía del arte rupestre por contener, además de esta cavidad



7



8



9

Ficha básica Cañica del Calar II

<b>Municipio</b>	Moratalla. Pedanía de Calar de la Santa
<b>Paraje</b>	Cañicas del Calar
<b>Coordenadas UTM (ETRS89)</b>	30S x571359 y4226589
<b>Orientación</b>	S
<b>Altitud</b>	1160 msnm
<b>Geología</b>	Calizas de algas y brechas calcáreas. Mioceno (Aquitaniense-Burdigaliense)

a Cantos de la Visera I y II y diversos conjuntos de petroglifos. Todos ellos fueron descubiertos en 1912 por D. Julián Zuazo Palacios y publicados poco después por Breuil y Burkitt (1915) y Cabré (1915). El abrigo ha sido ampliamente citado en la bibliografía, pero no se realizó ninguna revisión ni calco actualizado del mismo hasta 2005, en que Alonso y Grimal lo reprodujeron con gran detalle durante sus trabajos en el Monte Arabí.

Mientras en Cantos de la Visera I y II se conservan composiciones de estilo levantino, entre las que se intercalan elementos geométricos y otros del arte esquemático típico, en Cueva del Mediodía, o Abrigo del Mediodía I nombre con el que fue inscrito en la lista del ARAMPI, sólo se realizaron figuras de estilo esquemático.

El abrigo principal, de forma semiesférica, conserva la mayoría de las pictografías de Cueva del Mediodía. A un par de metros existe otro panel muy visible desprotegido frente a agresiones antrópicas. El tercer panel, en el que sólo se puede apreciar un antropomorfo de tipo golondrina, se sitúa en una ligera concavidad, a la altura del panel 1. Finalmente, otro par de figuras, quizás serpentiformes se conservan en el techo de la gran cueva en la parte norte del conjunto. De todos ellos sólo la cavidad principal está protegida mediante una reja metálica instalada poco después de su descubrimiento.



Figura 10. Panorámica del Monte Arabí, en el que se abre la Cueva del Mediodía en los escarpes localizados a media ladera. © J. Pereira



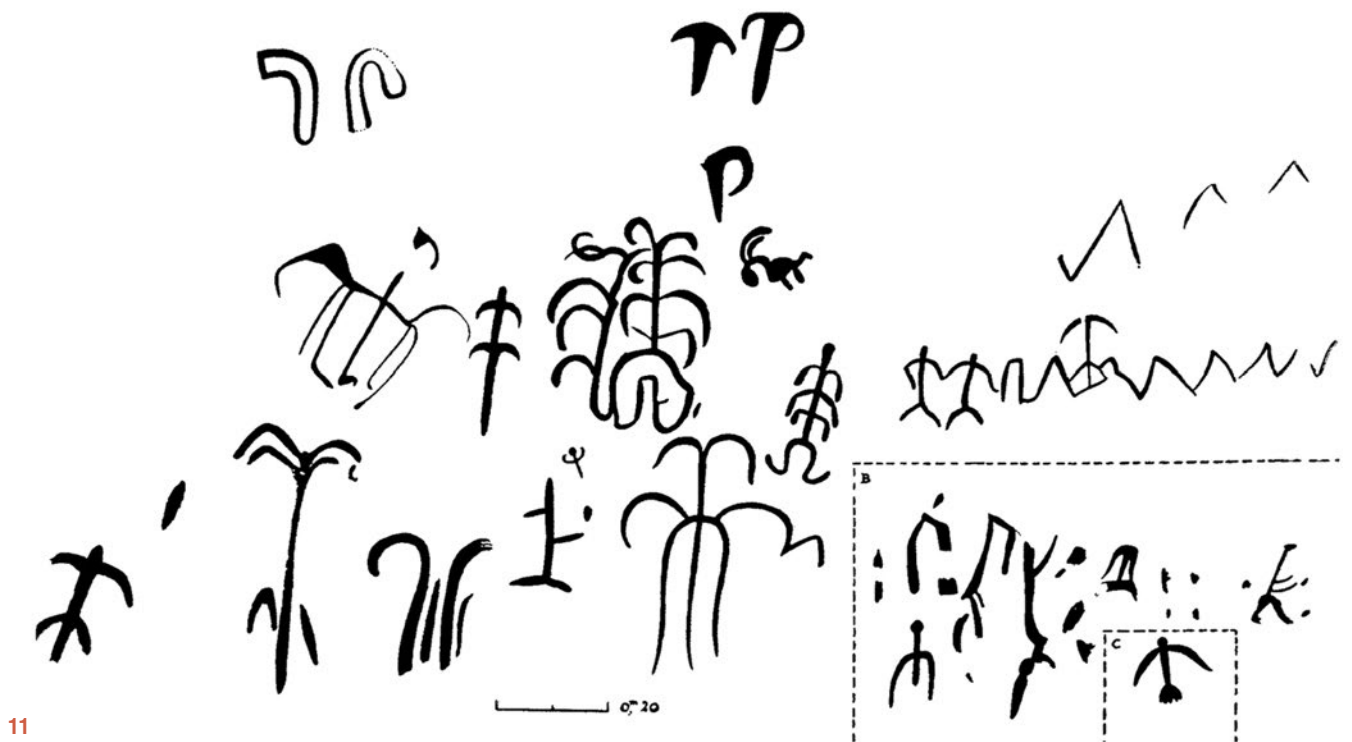


Figura 11. calco del panel principal de Cueva del Mediodía, según Cabré (1915).

## Ficha básica Cueva del Mediodía

<b>Municipio</b>	Yecla
<b>Paraje</b>	Monte Arabí
<b>Coordenadas UTM (ETRS89)</b>	30S x649659 y4284289
<b>Orientación</b>	E
<b>Altitud</b>	840 msnm
<b>Geología</b>	Calcarenitas. Mioceno (Langhiense-Tortonense)

Las pinturas están en general bien conservadas, excepto en el panel 2 que presenta agresiones antrópicas recientes y nidos de himenópteros. No obstante, la visibilidad del panel 1 está muy comprometida por la cantidad de suciedad acumulada en la parte baja del panel.

Los elementos de arte esquemático de Cueva del Mediodía fueron usados por Breuil para plantear la cronología neolítica del arte esquemático. En el panel 1 se pueden distinguir gran número de antropomorfos de tipo golondrina y ancoriformes (Acosta, 1968) que Breuil comparó con ancoriformes muebles procedentes de dólmenes franceses. Según Cabré (1915: 216) estas figuras estarían participando en “una danza ceremoniosa quizás en honor de un jefe,” lo que constituiría la escena culminante del abrigo. Junto a ellos aparecen figuras que recuerdan arboriformes y otra que ha sido descrita como un jinete montando un caballo (Cabré, 1915; Acosta, 1968).



### 1.3.4. SOLANA DE LAS COVACHAS

Solana de las Covachas (Nerpio, Albacete) se compone de nueve abrigos contiguos que fueron descubiertos en 1954 por José Soto Pérez (Sánchez, 1961). Poco después fue enviado Miguel Ángel García Guinea para su documentación (García, 1963). La espectacularidad del descubrimiento se reflejó en su inclusión en publicaciones internacionales pero en los que la documentación se limitaba a dibujos a mano alzada realizados por Walker (Walker, 1969) y Meric (Walker, 1971). No obstante, habría que esperar una década para que este abrigo fuese documentado en profundidad (Alonso, 1980) en un trabajo de gran calidad que resulta una referencia ineludible aún en la actualidad.

Solana de las Covachas es uno de los conjuntos más notables con arte levantino de todo el ARAMPI. En él se conservan alrededor de 190 registros gráficos (Alonso, 1980), incluyendo algunos de tipo esquemático. Se localiza en un promontorio calizo situado junto a una vaguada de



13

Figura 12. Detalle del panel principal de Cueva del Mediodía. © J. F. Ruiz

Figura 13. Calco de Solana de las Covachas, zona VI, según Alonso (1980)



Figura 14. Detalle de un arquero y parte anterior de un cérvido del Solana de las Covachas, zona III. © J. F. Ruiz

Figura 15. Panorámica del promontorio en el que se ubica el conjunto de Solana de las Covachas. © J. F. Ruiz

16 17



Figura 16. Carámbanos de hielo colgando de una de las cavidades que no cuentan con restos pictóricos. © E. Quesada.

Figura 17. Ciervo ubicado en el sector izquierdo de Solana de las Covachas, zona VI. © J. F. Ruiz

### Ficha básica Solana de las Covachas

<b>Municipio</b>	Nerpio. Pedanía de Pedro Andrés
<b>Paraje</b>	Solana de las Covachas
<b>Coordenadas UTM (ETRS89)</b>	30S x554493 y4219704
<b>Orientación</b>	SW
<b>Altitud</b>	1380 msnm
<b>Geología</b>	Calizas de algas y brechas calcáreas. Mioceno (Aquitaniense-Burdigaliense)

escasa entidad en el camino hacia el Cortijo de la Noguera, en las proximidades de la pedanía de Pedro Andrés. El mayor número de pictografías se conserva en las cavidades III y VI.

La zona III de Solana de las Covachas conserva pictografías de un acusado naturalismo y muy visibles. Destacan por su tamaño y su posición central en el panel un caballo y dos grandes ciervos, así como un grupo de arqueros desplegados en semicírculo alrededor de un arquero de gran tamaño y un grupo de cabras. Otras escenas de caza acompañan a estas figuras. También hay algunos elementos abstractos en forma de líneas anchas ondulantes, quizás serpentinales.

Por su parte, en la zona VI el centro del panel está ocupado por cuatro figuras de mujeres de grandes proporciones acompañadas por al menos cinco grandes cérvidos macho que se cuentan entre las mejores representaciones de esta especie en el arte levantino. Otras figuras de menor tamaño, así como la extraordinaria representación de un cérvido bramando durante la berrea, definido magistralmente por medio de su contorno, hacen de esta cavidad un lugar imprescindible para aproximarse al fenómeno del arte levantino.

La totalidad del conjunto se encuentra protegido por un cerramiento perimetral de obra y por rejas adaptadas a la boca de las cavidades, que en la actualidad presentan muy malas condiciones de conservación.

### 1.3.5. ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Uno de los conjuntos más ampliamente citado en la historiografía del arte levantino es el Abrigo Grande de Minateda, inmediato a la pedanía de Minateda (Hellín, Albacete). Desde su descubrimiento en 1914 por Juan Jiménez Llamas y su posterior publicación en 1920 por el abate Breuil ha sido un referente por el volumen de figuras conservado, por la calidad plástica de muchas de ellas y por la posibilidad de identificar distintas fases a partir de las frecuentes superposiciones entre ellas. De hecho, la publicación citada (Breuil, 1920) constituyó uno de los primeros intentos de dotar al arte levantino de una secuencia diacrónica. Breuil planteaba una serie de paralelismos de las pictografías de Minateda con lugares con arte paleolítico lo que le llevó a plantear una larga secuencia evolutiva en trece etapas, desde el ciclo solutreo-gravetiense hasta el Neolítico, pasando de formas esquemáticas a naturalistas levantinas que van “degenerando” (Breuil, 1920), finalmente, en el arte esquemático.

Desde entonces muchos de los mayores especialistas en arte rupestre levantino han tratado de seguir los pasos de Breuil. Es el caso de Hernández-Pacheco (1959), Ripoll (1968), Jordá (1985),









### Ficha básica Abrigo Grande de Minateda

<b>Municipio</b>	Hellín. Pedanía de Minateda
<b>Paraje</b>	Sierra de Cabeza Llana
<b>Coordenadas UTM (ETRS89)</b>	30S x620746 y4258318
<b>Orientación</b>	S
<b>Altitud</b>	480 msnm
<b>Geología</b>	Biocalcarenitas. Mioceno (Serravallense-Tortonense)

aunque sólo el primero de ellos publicó parcialmente el trabajo realizado alrededor de 1920 en compañía del dibujante Francisco Benítez Mellado. Estos calcos se están digitalizando en la actualidad en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. En la última década dos equipos distintos han emprendido la labor de documentar de nuevo esta cavidad, por un lado el equipo dirigido por Mauro Hernández (Universidad de Alicante) y por otro el comandado por Martí Mas (Universidad Nacional de Educación a Distancia), de los que sólo se han publicado algunos sectores (Mas, 2012).

Los recuentos clásicos hablaban de más de cuatrocientos motivos que con las revisiones recientes pueden aproximarse a los seiscientos. Es, por tanto, uno de los conjuntos con mayor número de pictografías y superposiciones de todo el ARAMPI.

Aunque predominan las pictografías de estilo levantino, realizadas con diversas técnicas y colores, son frecuentes los esquematismos de distintos tipos. En su friso se conservan escenas de caza, de enfrentamiento o batalla, de tipo doméstico (como una mujer que lleva a un niño de la mano), así como grandes zoomorfos como caballos, ciervos y bóvidos, y las omnipresentes cabras monteses. Todo ello debió conformar un universo simbólico extremadamente complejo.

Asimismo, el abrigo, ubicado en la zona norte de la sierra de Cabeza Llana, destaca por las dimensiones de su friso. Abierto en un frente rocoso de biocalcarenita tiene unas dimensiones aproximadas de 20 m de largo, por 8 m de altura y 4,5 m de profundidad. La reciente conclusión de las labores de limpieza efectuadas por Eudald Guillaumet y Laura Ballester han mejorado de modo ostensible la visibilidad de sus pictografías. El abrigo está cerrado por una reja de visera que fue instalada en los años 70 del siglo XX.



Figura 19. Panorámica del Abrigo Grande de Minateda en el contexto paisajístico del Campo de Hellín © J. F. Ruiz.

Figura 20. Arqueros de estilo levantino con relleno listado. © J. F. Ruiz.

Figura 21. El gran ciervo y diversos antropomorfos levantinos que se conservan en la parte superior del sector central de Minateda. © J. F. Ruiz





Desarrollo del  
proyecto



## 2. Desarrollo del proyecto

El proyecto se ha desarrollado entre enero de 2013 y febrero de 2014. Se han llevado a cabo un total de ocho campañas de trabajo de campo; cinco de ellas se destinaron a la adquisición de datos para la realización de los modelos 3D, ortofotografías y fotografías gigapíxel, una se empleó en la toma de puntos de control mediante estación total, y dos para la adquisición de datos mediante espectroscopía portátil.

Las personas que han participado activamente en alguna de estas campañas o en el desarrollo del proyecto son las siguientes:

**Dra. María Sebastián López** (CSIC, CCHS, Laboratorio de Teledetección; Universidad de Zaragoza).

**Elia Quesada Martínez** (Doctoranda Universidad de Granada).

**José Pereira** (Restaurador y fotógrafo especializado en patrimonio).

**Juan Carlos Lorente** (Fotógrafo y programador web, *Cineproad*).

**Antonio Dólera** (Fotógrafo, *Cineproad*).

**Dra. Silvia Fernández Ortiz de Vallejuelo** (IBeA, Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad del País Vasco).

**Dr. Juan Manuel Madariaga Mota** (IBeA, Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad del País Vasco).

**Dra. Irantzu Martínez Arkarazo** (IBeA, Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad del País Vasco).

**Dra. Maite Maguregui Hernando** (IBeA, Departamento de Química Analítica, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco).

**Dra. Anastasia Giakoumaki** (IBeA, Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad del País Vasco).

**Dra. Àfrica Pitarch Martí** (UMR 5199 PACEA (CNRS/Université de Bordeaux) - Équipe PPP; Préhistoire, Paléoenvironnement et Patrimoine, y GRAPAC/CETEC-p).

**Dr. Juan F. Ruiz López** (Coordinador del proyecto; Universidad de Castilla La Mancha. Departamento de Historia, Facultad de CC. de la Educación y Humanidades. Cuenca).

### 1ª CAMPAÑA

Objetivo: primera toma de datos para fotogrametría y fotografía gigapíxel

Esta primera campaña sirvió como toma de contacto con las cavidades y sirvió para establecer las pautas y estrategias documentales que se han repetido en el resto de campañas, con el fin de obtener un conjunto de datos coherente y comparable.

El trabajo se dividió en dos etapas, la primera dedicada al Abrigo Grande de Minateda y la segunda al resto de estaciones incluidas en el proyecto.

## ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 10 y 11/01/2013.

Participantes: Juan Carlos Lorente, Antonio Dólera y Juan F. Ruiz

El trabajo se desarrolló durante dos días debido a las limitaciones que la iluminación natural impone durante el mes de enero en este abrigo. Debido a su orientación la luz solar incide directamente sobre el panel hasta mediodía, lo que obliga a iniciar los trabajos en esas fechas a partir de las 13:00-14:00 horas. La duración de las sesiones fotográficas en un abrigo de las dimensiones de Minateda obligó a que el trabajo se llevase a cabo en dos sesiones.

El primer día se dedicó íntegramente a las tomas de la fotogrametría de objeto cercano. Para ello se empleó una cámara *Canon* EOS 5D Mark II con ópticas *Canon* EF 50 mm f/1.4 USM y *Canon* 24-70mm f/2.8 EF L USM, destinadas a la obtención de tomas de detalle y de capturas generales para la realización de modelos 3D de diferente resolución. La colorimetría se controló mediante una carta de color *SpyderChecker*. Se realizaron un total de 200 disparos fotográficos con el objetivo de 50 mm y 132 con el 24-70 mm.

Se instalaron un total de 21 dianas adhesivas removibles en áreas del abrigo para su utilización por los programas de fotogrametría. En este caso se utilizaron las que genera el software *PhotoModeler Scanner* 10.



Adicionalmente se realizaron una serie de tomas generales del cerro en el que se ubica el abrigo para la construcción de un modelo 3D a partir de ellas.

La fotografía gigapíxel se llevó a cabo mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 5D Mark II* equipada con un objetivo *Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM*. Dada la extensión del conjunto se optó por realizar un mosaico formado por un total de diez tomas gigapíxel distribuidas a lo largo de la cavidad. Con ello se evitaban problemas de distorsión provocados por el aumento de la distancia lateral desde el punto en que se coloca la cámara fotográfica. La distancia al panel fue de aproximadamente 4 m. Se realizaron una media de 68 fotografías para la composición de cada uno de los gigapíxel.

## CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 02/02/2013

Participantes: Juan Carlos, Carolina Allepuz y Juan F. Ruiz

La orientación de esta estación obliga a que su documentación se deba hacer por la tarde. Durante los meses de invierno el sol deja de incidir sobre la cavidad alrededor de mediodía, manteniéndose una iluminación aceptable hasta alrededor de las 16:30.

El abrigo cuenta con tres paneles decorados en la parte baja y otro más en una cavidad lateral superior. Se han documentado los tres paneles inferiores exclusivamente, por ser los que presentan más interés. El más importante es el situado a la izquierda del grupo, que conserva una reja instalada a principios del siglo XX. Es a este grupo de motivos al que se le ha dedicado más



Figura 22. Capturas fotográficas en Minateda para su empleo en fotogrametría, durante la campaña de enero de 2013 (izq: Juan C. Lorente; dcha: Antonio Dólera). © J. F. Ruiz

Figura 23. Realización de la fotografía gigapíxel en el Abrigo Grande de Minateda. © J. F. Ruiz

atención; sobre él se han realizado las capturas pertinentes para realizar modelos 3D mediante fotogrametría y se han hecho capturas para fotografía gigapíxel. En los paneles 2 y 3 sólo se han realizado tomas fotográficas para la construcción de los modelos 3D.

Las fotografías destinadas a su utilización en modelado 3D mediante fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM. En el panel 1 se tomaron un total de 56 capturas con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 32 con el objetivo *Canon* 17-85 mm. El panel 2 se documentó con 12 imágenes tomadas con el objetivo de 35 mm. El panel 3 se registró mediante otras 26 fotografías con el objetivo de 35 mm.

La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *QpCard 201* y un *Lastolite XpoBalance*.

Se colocaron 14 dianas repartidas por el panel 1 de tipo *PhotoScan Pro*.

Adicionalmente se realizó una toma general con el 17-85 mm para cubrir la zona de la gran cavidad en la que se localizan los tres paneles documentados, consistente en 42 tomas fotográficas destinadas a la construcción de un modelo 3D.

Se realizó una fotografía panorámica gigapíxel del panel principal del conjunto, mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon* EOS 7D con objetivo *Canon* EF 100 mm f/2.8 macro USM. La cámara se posicionó a una distancia media de 2 m del panel decorado.

## ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 04/02/2013

Participantes: José Pereira, Elia Quesada y Juan F. Ruiz

El abrigo del Buen Aire I tiene unas condiciones de iluminación muy complicadas en el mes de febrero. Durante casi todas las horas de luz de la jornada hay partes del abrigo iluminadas directamente por el sol, lo que hace muy difícil obtener tomas con la necesaria regularidad de luminancia y cromatismo, algo estrictamente necesario para conseguir un buen resultado mediante fotogrametría de objeto cercano basado en tomas fotográficas.

Las capturas fotográficas se realizaron a lo largo de un único día, centrándose en las primeras horas del día y las últimas de la tarde, que eran las que contaban con unas condiciones de luz más homogéneas.

Las fotografías destinadas a su utilización en modelado 3D mediante fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM, y con una cámara *Nikon* D200 con óptica *Sigma* 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon* AF-S 35mm f/1.8 G DX.

Se tomaron un total de 76 capturas con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 115 con el objetivo *Canon* 17-85 mm.

Las imágenes de tipo gigapan se realizaron con un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon* EOS 7D con objetivo *Canon* EF 100 mm f/2.8 macro USM. El área con pinturas se dividió en 4 sectores, y la cámara se posicionó a una distancia de entre 2,5 y 3,5 m, atendiendo a la especial configuración física de este abrigo. El panel 1, que ocupa una longitud

Figura 24. Carolina Allepuz posicionando el *Lastolite XpoBalance* y *QpCard 201* en Cueva del Mediodía, en febrero 2013. © J. F. Ruiz.

Figura 25. Figuras del sector IV de Cueva del Mediodía. © J. F. Ruiz

Figura 26. Elia Quesada probando una estación total en Abrigo del Buen Aire durante la campaña de febrero de 2013. © J. F. Ruiz





25



26



de alrededor de 10 m en la parte baja del abrigo, se dividió en tres sectores; el sector izquierdo se cubrió con 41 imágenes, el sector central se realizó con 35 imágenes, y en el sector derecho se efectuaron un total de 56 fotografías. El panel 2, situado por encima del sector derecho del panel 1, se cubrió con 36 instantáneas.

La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.

Se colocaron 53 dianas de tipo *PhotoScan Pro* repartidas por toda la cavidad, no sólo en el panel de pinturas, que se usaron como puntos de referencia por los programas de fotogrametría.

En este abrigo se trataron de obtener las coordenadas absolutas de los puntos de control mediante una estación total con prisma. Se hizo evidente que mediante esa metodología no sería posible obtener mediciones apropiadas para que pudiesen ser usadas como corrección de posibles distorsiones geométricas de los modelos 3d, y por tanto, se aplazó a otro momento la toma de coordenadas.

## CAÑAICA DEL CALAR II

Fecha: 05 y 06/02/2013

Participantes: José Pereira, Elia Quesada, María Sebastián y Juan F. Ruiz

Al igual que en el resto de estaciones, las condiciones de iluminación del mes de febrero condicionaron las jornadas de trabajo en Cañaica del Calar. Las condiciones óptimas se producen a primera hora de la mañana, aproximadamente entre las 8:00 y las 11:00. A partir de esa hora, el sol comienza a incidir sobre la parte occidental del abrigo e impide realizar tomas con iluminación uniforme. Por la tarde, poco antes de la puesta de sol, a partir de las 16:30 vuelve a ser posible realizar un trabajo fotográfico de las características indicadas.

Las fotografías que se utilizarían para fotogrametría de objeto cercano se tomaron con una cámara *Canon EOS 7D*, equipada con objetivos *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM* y *Canon EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM*, y con una cámara *Nikon D200* con óptica *Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM*, *Nikkor 50 mm AF 1.8D* y *Nikon AF-S 35mm f/1.8 G DX*.

Se tomaron un total de 76 capturas con el objetivo *Canon EF 35 mm*, y 115 con el objetivo *Canon 17-85 mm*. Se colocaron 21 dianas de tipo *PhotoScan Pro* sobre la periferia del panel.

La fotografía gigapixel se llevó a cabo mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 7D Mark II* montando un objetivo *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*. El panel se dividió en dos zonas para minimizar en la medida de lo posible las distorsiones geométricas asociadas a la perspectiva de las tomas. Para el área de la izquierda se emplearon 92 fotografías, mientras que para la zona derecha se usaron 40 imágenes. La cámara se posicionó a una distancia del panel que oscilaba entre 1 y 1,5 m.

La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.



## **SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI**

Fecha: 06 y 07/02/2013

Participantes: José Pereira, Elia Quesada, María Sebastián y Juan F. Ruiz

La orientación de Solana de las Covachas hacia el SW obliga a trabajar en estas cavidades por la mañana. Durante la campaña de febrero se comenzó a trabajar a las 8:00; alrededor de las 13:00 horas el sol comienza a iluminar el interior de Solana de las Covachas VI, impidiendo



29

trabajar allí, y alrededor de las 14:30 sucede lo mismo en Solana de las Covachas III. El sol sigue incidiendo en las cavidades hasta la puesta.

Las fotografías destinadas a fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM, y con una cámara *Nikon* D200 con óptica *Sigma* 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon* AF-S 35mm f/1.8 G DX.

En Solana de las Covachas III se tomaron un total de 86 capturas con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 74 con el objetivo *Canon* 17-85 mm.

Por su parte, en Solana de las Covachas VI se hicieron 97 fotografías con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 58 con el objetivo *Canon* 17-85 mm.

Se posicionaron 20 dianas adhesivas de tipo *PhotoScan Pro* en Solana de las Covachas III y otras 35 en Solana de las Covachas VI.

También se realizó una toma general destinada a la realización de un modelo 3D con la ubicación relativa de las dos cavidades. Para ello se tomaron 55 fotografías con la cámara *Canon* EOS 7D y el objetivo *Canon* 17-85 mm.

La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.

Las imágenes de tipo gigapan se realizaron con un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon* EOS 7D con objetivo *Canon* EF *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM. En el caso de Solana de las Covachas III, debido a las pequeñas dimensiones del abrigo y para evitar distorsiones excesivas, se optó por encuadrar el gigapan para realizar una toma del sector central de la cavidad, área en la que se conservan la mayoría de las pictografías, y otra del sector derecho.

Figura 28. Trabajo de campo en Cañica del Calar II durante la primera campaña del proyecto (de izda a dcha: José Pereira, Juan F. Ruiz y María Sebastián) © E. Quesada

Figura 29. Ubicación de dianas removibles en el sector central de Solana de las Covachas, zona III. © J. F. Ruiz

En la zona central se tomaron 60 imágenes, al igual que en el sector derecho. La cámara se situó a una distancia alrededor de 1-1,5 m del panel.

Las fotografías gigapíxel en Solana de las Covachas VI presentan un elevado grado de dificultad como consecuencia de la morfología de la cavidad, casi semicónica. Las pinturas cubren prácticamente toda la superficie, por lo que las distorsiones perspectivas son importantes si se pretende cubrir todo el abrigo en una única toma. Ante estas circunstancias se decidió realizar tres tomas gigapan. La primera se enfoca a la zona izquierda del friso, y se llevó a cabo con 127 fotografías. La segunda se centró en las figuras de la parte derecha del abrigo; se realizó mediante 60 fotografías. La tercera se orientó a la franja superior del panel y se completó con 42 instantáneas.

## 2ª CAMPAÑA

Objetivo: obtener coordenadas de puntos de control y mejora de la primera toma de datos para fotogrametría en Abrigo del Buen Aire y Cueva del Mediodía

Esta segunda campaña se puede considerar una extensión de la realizada a primeros de febrero, y estuvo motivada por la necesidad de mejorar los planteamientos metodológicos y prácticos desarrollados durante la primera campaña. En concreto, se capturaron las coordenadas absolutas de los puntos de control de cada una de las cavidades y se repitieron las tomas fotográficas necesarias para la fotogrametría en un par de enclaves.

Toda la campaña fue realizada entre los días 21 y 27 de febrero de 2013.

### ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 21 y 25/02/2013

Participantes: Elia Quesada y Juan F. Ruiz

La presencia de áreas con mala cobertura en las fotografías tomadas para fotogrametría de objeto cercano en la primera campaña motivo su repetición variando la estrategia de captura de imágenes. Se realizaron fotografías con la cámara *Canon* EOS 7D y objetivo *Canon* EF 16-35mm f/2.8L II USM. Con la focal de 35 mm se realizaron 136 instantáneas, y con la focal de 16 mm otras 71 imágenes.

Las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *QpCard 201* y un *Lastolite XpoBalance*.

Para el registro de las coordenadas absolutas de puntos de control se utilizó una estación total *Leica TS15*, con la que se capturan las coordenadas XYZ en metros de un total de 121 puntos de control, de los cuales 53 corresponden a las dianas instaladas anteriormente, 31 a elementos de relieve, y 26 a puntos de las pictografías. Esta estación láser cuenta con una mira láser con una precisión de  $\pm 2$  mm y es una de las más precisas del mercado. Además cuenta con una cámara fotográfica que registra las posiciones medidas con la estación total.

## CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 21 y 25/02/2013

Participantes: Elia Quesada y Juan F. Ruiz

Al igual que en el abrigo del Buen Aire defectos observados en las capturas efectuadas en la primera campaña aconsejaron realizar una toma de fotografías adicional que garantizase la perseguida calidad de los modelos 3D.

Con este propósito se efectuaron fotografías en el panel 1 con una cámara *Canon* EOS 7D y objetivo *Canon* EF 16-35mm f/2.8L II USM. Con la focal de 35 mm se tomaron 32 instantáneas, y con la focal de 16 mm otras 161 imágenes. La coherencia del color fue verificada mediante una carta de color QpCard 201 y un Lastolite XpoBalance.

Para la captura de las coordenadas de los puntos de control se utilizó una estación total *Leica* TS15, con la que se registraron las coordenadas XYZ en metros de un total de 67 puntos de control repartidos entre los 3 paneles de la cavidad. De ellos

54 corresponden al panel 1, dividiéndose entre 11 para las dianas adhesivas, 28 para elementos fisiográficos del panel y 14 a puntos concretos de las pinturas rupestres. En el panel 2 se midieron 6 puntos de control, 4 del relieve y 2 de las pictografías. Por su parte, en el panel 3 se tomaron 7 puntos de control, de los que 3 corresponden a la pictografía del panel y cuatro al relieve.

Debemos hacer constar que en la cavidad principal de Cueva del Mediodía la reja protectora constituyó un serio inconveniente para la captura de las coordenadas de las dianas instaladas previamente, así como para la selección de algunos de los puntos más propicios de las pictografías o del relieve.

## CAÑAICA DEL CALAR II

Fecha: 26/02/2013

Participantes: Elia Quesada y Juan F. Ruiz

La captura de las coordenadas de los puntos de control de Cañaica del Calar se realizó a primera hora de la mañana, con la estación total láser *Leica* TS15. Se

registraron las coordenadas XYZ de un total de 84 puntos de control. De ellos 21 corresponden a dianas adhesivas, 39 a puntos destacados de la microtopografía del panel, y 24 a elementos identificables de las pictografías.

## SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI

Fecha: 26/02/2013

Participantes: Elia Quesada y Juan F. Ruiz

En el caso de Solana de las Covachas el trabajo se realizó por la tarde. Tanto en el sector III como en el VI tuvimos el mismo problema con las rejas instaladas en la boca de las cavidades que hemos indicado en Cueva del Mediodía. Las pequeñas dimensiones de ambos impide ubicar la estación en el interior de la valla protectora.

Se empleó la estación total *Leica TS15* para registrar 60 puntos de control en Solana de las Covachas III y 69 en Solana de las Covachas VI. En el primer caso se midieron las coordenadas de 13 dianas adhesivas, de 27 puntos del relieve y 29 de las pictografías. En Solana de las Covachas VI se tomaron las coordenadas de 31 puntos correspondientes a dianas adhesivas, de 13 puntos del relieve y de 25 de las pictografías.

## ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 27/02/2013

Participantes: Elia Quesada y Juan F. Ruiz

El trabajo de captura de coordenadas de puntos de control se efectuó por la tarde en el Abrigo Grande de Minateda. En este caso la estación total *Leica TS15* se posicionó en el interior del abrigo debido a que las dimensiones del mismo permite un cierto margen de maniobrabilidad en su interior. Se midieron 29 puntos de control con dianas adhesivas, 56 correspondientes a la fisiografía del panel y 55 de las pictografías. La toma de datos se efectuó exclusivamente en





los dos tercios superiores del abrigo, debido a que estaba instalado el andamio utilizado para la restauración del tercio restante del panel y a que la caída del sol a última hora de la tarde impedía realizar adecuadamente las mediciones.



30



31

Figura 30. Manejando la estación total *Leica TS15* en el Abrigo Grande de Minateda. © E. Quesada

Figura 31. Instalación de la estación total en el abrigo del Buen Aire I en febrero de 2013 (izda: Juan F. Ruiz, dcha: Elia Quesada). © J. F. Ruiz

## 3ª CAMPAÑA

Objetivo: segunda toma de datos para fotogrametría y fotografía gigapíxel

Durante la segunda campaña se afianzaron los procedimientos documentales utilizados durante el proyecto a partir de la experiencia alcanzada durante la primera campaña.

### ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 06/05/2013.

Participantes: Juan Carlos Lorente, Antonio Dólera, Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

El incremento de horas de luz solar durante la primavera permite afrontar la documentación de un enclave rupestre del tamaño de Minateda en una sola tarde. El trabajo se realizó íntegramente entre las 13:30 y las 20:00.

Para las capturas fotográficas destinadas a la realización de la fotogrametría de objeto cercano se empleó una cámara *Canon EOS 5D Mark II* con ópticas *Canon EF 50 mm f/1.4 USM* y *Canon 24-70mm f/2.8 EF L USM*, destinadas a tomas de detalle y a capturas generales para la realización de modelos 3D a diferentes resoluciones. La colorimetría se controló mediante una carta de color *SpyderChecker*. Se realizaron un total de 167 disparos fotográficos con el objetivo de 50 mm y 60 con el 24-70 mm.

La fotografía gigapíxel se llevó a cabo mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 5D Mark II* equipada con un objetivo *Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM*. Se mantuvieron las diez tomas gigapíxel definidas en la primera campaña utilizando como referencia las dianas adhesivas. La distancia al panel fue de aproximadamente 4 m. Se realizaron una media de 68 fotografías para la composición de cada uno de los gigapíxel.

Durante esta campaña se detectaron una serie de manchas de entre 0,5 y 1 cm de diámetro dispersas por gran parte del sector central del abrigo. Estas manchas presentaban olor a aceite, y por la forma y disposición, sin abundantes marcas en el suelo, parecían producto de una agresión antrópica. Dicha circunstancia fue comunicada inmediatamente a D. Javier López Precioso, director del Museo Comarcal de Hellín.

### CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 07/05/2013

Participantes: Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

La orientación de esta estación obliga a que su documentación se deba hacer por la tarde. En el mes de mayo la cavidad empieza a estar en sombra alrededor de las 12:00, por lo que el trabajo se desarrolló a partir de las 13:30.

Se siguió el mismo protocolo que en la primera campaña, incidiendo especialmente en la consecución de un buen modelado tridimensional de la cavidad principal. La forma casi totalmente semiesférica que presenta este abrigo supone un reto para conseguir una

Figura 32. Instalación del equipo fotográfico en Cueva de Mediodía en mayo de 2013. © J. F. Ruiz.

Figura 33. Elia Quesada fotografiando alteraciones del sector 3 de Cueva del Mediodía. © J. F. Ruiz

Figura 34. Registro del techo de Cueva del Mediodía. © E. Quesada.

Figura 35. Control colorimétrico con *XRite ColorChecker*. © J. Pereira

32 33



34 35

adecuada representación 3D de la misma mediante técnicas de fotogrametría de objeto cercano como las que hemos empleado. En este abrigo principal se realizaron las tomas para fotografía gigapixel y en los dos paneles restantes se efectuaron instantáneas para la construcción de los modelos 3D.

Las fotografías destinadas a su utilización en modelado 3D mediante fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM. En el panel 1 se tomaron un total de 55 capturas con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 103 con el objetivo *Canon* 17-85 mm. El panel 2 se documentó con 38 imágenes tomadas con el objetivo de 35 mm. El panel 3 se registró mediante otras 179 fotografías con el objetivo de 35 mm. La totalidad de las fotografías se controlaron colorimétricamente mediante una carta *XRite ColorChecker Passport*.

Debido a un problema con la batería del cabezal *Gigapan Epic Pro* no pudieron efectuarse las fotografías de tipo gigapixel previstas. Se efectuaron dos panorámicas mediante un rótula panorámica y la cámara *Canon* EOS 7D con el objetivo *Canon* EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM, la primera mediante 14 fotografías y la segunda con 28 imágenes.

## ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 08/05/2013

Participantes: Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

En esta campaña las condiciones de iluminación de la cavidad fueron óptimas durante toda la jornada, tanto por la posición del sol, que casi no incide en el interior de la cavidad a lo largo del día, como por tratarse de un día ligeramente nublado que hacía la luz mucho más matizada y homogénea, óptima para nuestros propósitos. La jornada de trabajo se inició a las 7:00 y se prolongó hasta las 14:30.

Las fotografías para el modelado 3D fotogramétrico se realizaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM, y con una cámara *Nikon* D200 con óptica *Sigma* 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon* AF-S 35mm f/1.8 G DX.

Se tomaron un total de 86 capturas con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 55 con el objetivo *Canon* 17-85 mm, destinadas estas últimas a obtener un modelado tridimensional global de la estación.

Las imágenes panorámicas gigapan se realizaron con un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon* EOS 7D con objetivo *Canon* EF 100 mm f/2.8 macro USM. El área con pinturas se dividió en 4 sectores, y la cámara se posicionó a una distancia de entre 3,5 m y 5 m, atendiendo a la especial configuración física de este abrigo. El panel 1 se dividió en tres sectores, al igual que en la primera campaña; para el sector izquierdo se necesitaron 64 imágenes, para el sector central 55 imágenes, y el sector derecho requirió un total de 144 fotografías. En el panel 2, se efectuaron 72 disparos, con el objetivo *Canon* EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM. Todas las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.

Se efectuó otro gigapan para mostrar la ubicación en el paisaje del Abrigo del Buen Aire I. Se realizó con el objetivo *Canon* EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM, y requirió un total de 32 imágenes.

## CAÑAICA DEL CALAR II

Fecha: 09/05/2013

Participantes: Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

En el caso de Cañaica del Calar también mejoraron ostensiblemente las condiciones de iluminación durante la campaña del mes de mayo. El trabajo se realizó desde las 8:00 hasta las 13:30.

Las fotografías destinadas a la fotogrametría de objeto cercano se tomaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM, y con una cámara *Nikon* D200 con óptica *Sigma* 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon* AF-S 35mm f/1.8 G DX.

Se tomaron un total de 70 capturas con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 80 con el objetivo *Canon* 17-85 mm.

La fotografía gigapíxel se llevó a cabo mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon* EOS 7D Mark II montando un objetivo *Canon* EF 100 mm f/2.8 macro USM. Se realizaron dos tomas gigapíxel. Para la zona de la izquierda se emplearon 78 fotografías, en tanto que para el sector derecho se usaron 81 imágenes. La cámara se posicionó a una distancia del panel que oscilaba entre 1 y 1,5 m.

La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.

Se realizó una panorámica gigapíxel mediante cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y cámara *Canon* EOS 7D Mark II con un objetivo *Canon* EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM. Para esta composición, en la que se recogen los cuatro enclaves rupestres de Cañaica del Calar, se necesitaron 191 fotografías. De este modo la vinculación entre las estaciones y entre éstas y el paisaje en que se enclavan se hace patente.

## SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI

Fecha: 10/05/2013

Participantes: Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

Al contrario que en el resto de estaciones incluidas en el proyecto, las circunstancias de iluminación en Solana de las Covachas varían relativamente poco a lo largo del año. Las mejores horas de luz en el mes de mayo siguen siendo las de primera hora de la mañana. El trabajo se inició alrededor de las 8:00, prolongándose hasta las 14:30.

Las fotografías destinadas a fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM, y con una cámara *Nikon* D200 con óptica *Sigma* 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon* AF-S 35mm f/1.8 G DX.

En Solana de las Covachas III se tomaron un total de 102 fotografías con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 93 con el objetivo *Canon* 17-85 mm. Por su parte, en Solana de las Covachas VI se hicieron 92 fotografías con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 64 con el objetivo *Canon* 17-85 mm. La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.



Para la realización de las imágenes de tipo gigapan se usó un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. Se varió la estrategia respecto a la primera campaña: en Solana de las Covachas III decidimos por encuadrar el gigapan para realizar una única toma que cubre la totalidad del encuadre de los dos gigapanes de la primera campaña; para esta imagen panorámica se tomaron 155 imágenes. La cámara se situó a una distancia alrededor de 1-1,5 m del panel.

También en Solana de las Covachas VI se optó por modificar el planteamiento de la primera campaña. En este caso se decidió realizar un único gigapan que cubriese la mayor parte de la cavidad, dejando fuera el techo únicamente; la imagen obtenida en la primera campaña de esta última zona no había resultado suficientemente satisfactoria. La imagen gigapixel resultante se forma con las 245 fotografías efectuadas.

Por la tarde se realizó una fotografía panorámica gigapixel de la posición en el paisaje del conjunto de cavidades de Solana de las Covachas. Se realizó con el objetivo *Canon EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM*, a una distancia focal de 200 mm, y requirió un total de 112 imágenes.

**Figura 36.** Proceso de configuración del *Gigapan Epic Pro* en Solana de las Covachas, zona III. © J. Pereira.

**Figura 37.** La siempre complicada documentación de los techos en cavidades pequeñas. Solana de las Covachas III. © J. Pereira



36



37

## 4<sup>a</sup> CAMPAÑA

Objetivo: análisis químicos mediante técnicas espectroscópicas in situ y análisis geológico de los enclaves rupestres.

En la cuarta campaña se realizó la primera captura de datos de puntos seleccionados en el soporte, las alteraciones y las pictografías mediante microespectroscopía Raman ( $\mu$ -Raman), fluorescencia de rayos X portátil (EDXRF). Se utilizó también un microscopio portátil acoplado a una cámara fotográfica para la observación de elementos geológicos. El sistema completo *Lumos XLoupe G20* incluye una cámara *Canon IXUS 120 IS* de 12,1 Mp, equipado con un sistema de iluminación de 12 leds coaxiales y lentes intercambiables de 60x y 150x aumentos digitales o 10x y 30x aumentos ópticos. Toda la campaña se planificó atendiendo a que los abrigos estuvieran en sombra durante el período de trabajo, ya que la luz solar directa puede impedir obtener resultados con el espectrometro Raman.

## ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 09/06/2013

Participantes: Silvia Fernández, Irantzu Martínez, Maite Maguregui, Àfrica Pitarch y Juan F. Ruiz

En este abrigo se realizaron 48 mediciones con EDXRF distribuidos en 16 puntos distintos y se midieron 29 puntos con  $\mu$ -Raman. Se instaló un pequeño andamio para acceder a las zonas de mayor pendiente del panel, pero su utilización no fue necesaria. Se tomaron 8 microfotografías de eflorescencias salinas y del tipo de pátinas que presenta el soporte.

## ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 09/06/2013

Participantes: Silvia Fernández, Irantzu Martínez, Maite Maguregui, Àfrica Pitarch y Juan F. Ruiz

Se tomaron 60 lecturas con EDXRF distribuidos en 20 localizaciones distintas, representativas del soporte, alteraciones y pictografías. Con  $\mu$ -Raman se realizaron 33 mediciones, por lo general, en los mismos puntos leídos previamente con EDXRF.

Se identificó una mancha verde de naturaleza biológica en el interior de una oquedad situada en la parte inferior de la falda de la mujer que lleva de la mano a un niño o niña. Esta formación orgánica fue microfotografiada. También se intentó identificar la composición química de las manchas detectadas durante la tercera campaña de trabajo de campo. La limpieza efectuada unos días antes por el restaurador Eudald Guillamet no ha eliminado por completo estas manchas, por lo que se trató de realizar una lectura en uno de los puntos que todavía son ligeramente perceptibles.

## CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 10/06/2013

Participantes: Silvia Fernández, Irantzu Martínez, Maite Maguregui, Àfrica Pitarch y Juan F. Ruiz

Para el trabajo en Cueva del Mediodía fue necesario instalar un andamio en el interior de modo que se pudiesen acercar los aparatos de medida a la zona con pinturas rupestres. Todas las lecturas se tomaron en la cavidad principal del abrigo.

Se realizaron 36 mediciones con EDXRF en zonas representativas del soporte y de las pictografías, distribuidas en 12 puntos diferentes, así como otras 25 lecturas con  $\mu$ -Raman.

## SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI

Fecha: 11/06/2013

Participantes: Silvia Fernández, Irantzu Martínez, Maite Maguregui, Àfrica Pitarch y Juan F. Ruiz

Al igual que en los enclaves anteriores, en Solana de las Covachas se comenzó efectuando mediciones con EDXRF. Se tomaron 45 mediciones en 15 puntos de Solana de las Covachas III y otras 58 en 18 puntos de Solana de las Covachas VI.

Figura 38. À. Pitarch usando el EDXRF para el análisis elemental de una costra oscura de Solana de las Covachas III. © J. F. Ruiz.

Figura 39. Análisis por espectroscopia Raman en el panel 1 de abrigo del Buen Aire I (de izda. a dcha.: Irantzu Martínez, Maite Maguregui, Silvia Fernández y Àfrica Pitarch. © J. F. Ruiz.

Figura 40. Medida mediante EDXRF efectuada por M. Maguregui en una de las pictografías del Abrigo Grande de Minateda. © J. F. Ruiz

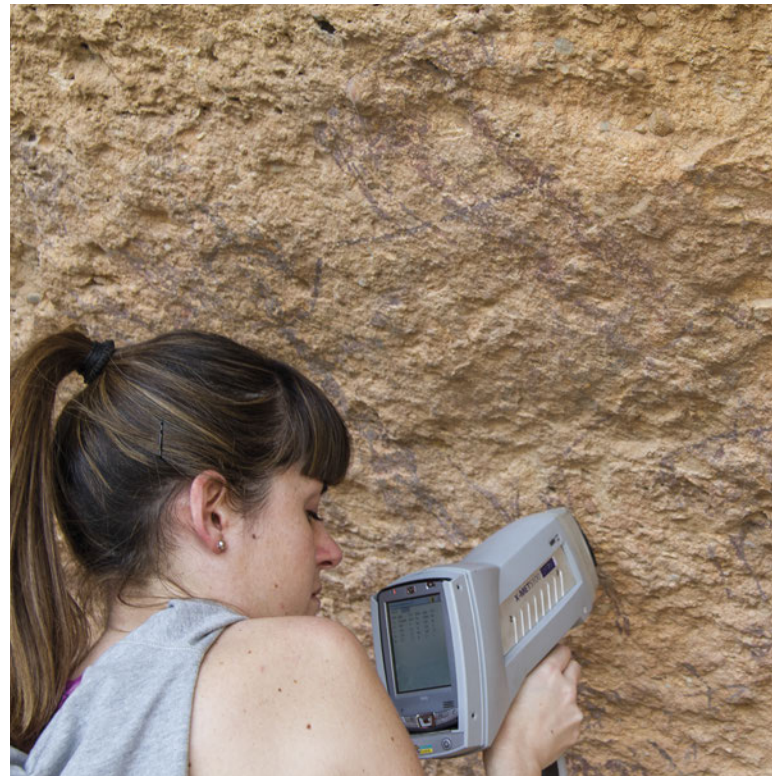




38



39 40





41

Sin embargo, la obtención de espectros con el espectrómetro  $\mu$ -Raman no fue posible debido a los elevados niveles de fluorescencia del soporte de ambas cavidades. Tan sólo se registraron 2 espectros en Solana de las Covachas VI. Se instaló un trípode motorizado para mejorar la precisión de las lecturas  $\mu$ -Raman, pero el resultado fue el mismo en los dos abrigos.

## CAÑAICA DEL CALAR II

Fecha: 12/06/2013

Participantes: Silvia Fernández, Irantzu Martínez, Maite Maguregui, Àfrica Pitarch y Juan F. Ruiz.

Las circunstancias en Cañaica del Calar II fueron muy similares a las experimentadas en Solana de las Covachas. Se efectuaron 60 mediciones con EDXRF, repartidas en 20 puntos significativos del soporte, alteraciones y de las pinturas rupestres. El  $\mu$ -Raman presentaba el mismo problema de fluorescencia y sólo se pudo registrar una serie de espectros de un único punto del panel.

Se realizaron 17 microfotografías de diferentes tipos de deterioros, alteraciones y de formaciones de origen orgánico existentes en el panel.

Figura 41. Irantzu Martínez realizando una lectura Raman en el Abrigo Grande de Mina-teda. © J. F. Ruiz.

Figura 42. Trípode micrométrico motorizado usado con la microcámara del espectroscopio Raman. © J. F. Ruiz

Figura 43. Costra o biofilm identificada en Cañaica del Calar II. © À. Pitarch

Figura 44. Alteración y pátina que presenta una de las pictografías de Cañaica del Calar II. © J. F. Ruiz



42



43



44



45

46

## 5<sup>a</sup> CAMPAÑA

Objetivo: tercera toma de datos para fotogrametría y fotografía gigapíxel.

Durante esta campaña se siguieron usando los procedimientos documentales utilizados anteriormente, añadiendo en el caso de la fotogrametría digital tomas cenitales realizadas mediante un mástil extensible. Además se realizaron macrofotografías con el objetivo de caracterizar las patologías identificadas en el SIG hasta entonces.

### ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 01/07/2013.

Participantes: Juan Carlos Lorente, Antonio Dólera, María Sebastián, Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz.

Al igual que en la campaña de mayo, el mayor número de horas solares permitió afrontar la documentación de un enclave rupestre del tamaño de Minateda en la misma tarde. El trabajo se realizó íntegramente entre las 16:30 y las 21:00.

Para la fotogrametría de objeto cercano se empleó una cámara *Canon EOS 5D Mark II* con ópticas *Canon EF 50 mm f/1.4 USM* y *Canon 24-70mm f/2.8 EF L USM*. La colorimetría se controló mediante una carta de color *SpyderChecker*. Se realizaron un total de 321 disparos fotográficos con el objetivo de 50 mm y 203 con el 24-70 mm.

Figura 45. Documentación de alteraciones en el Abrigo Grande de Minateda. © J. F. Ruiz.

Figura 46. Trabajo de campo en la Cueva del Mediodía durante la quinta campaña del proyecto © E. Quesada



Se tomaron fotografías de patologías de alteración identificadas en el abrigo mediante la cámara *Nikon D200* con óptica *Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM*, *Nikkor 50 mm AF 1.8D* y *Nikon AF-S 35mm f/1.8 G DX*. Se tomaron fotografías con distintas profundidades de campo para aplicar la técnica de “*focus stacking*”.

La fotografía gigapixel se efectuó con un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 5D Mark II* equipada con un objetivo *Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM*. Se siguieron realizando las diez tomas gigapíxel definidas en la primera campaña utilizando como referencia las dianas adhesivas. La distancia al panel fue de aproximadamente 4 m. Se realizaron una media de 68 fotografías para la composición de cada uno de los gigapíxel.

## CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 02/07/2013

Participantes: María Sebastián, Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

El trabajo en Cueva del Mediodía comenzó en esta campaña a las 12:30, momento en el que la cavidad ya estaba totalmente en sombra. En el mes de mayo la cavidad empieza a estar en sombra alrededor de las 12:00, por lo que el trabajo se desarrolló a partir de las 13:30 y hasta las 17:30.

Se siguió el mismo protocolo que en la primera campaña, y de nuevo se trató con especial atención el modelado de la cavidad principal. Al igual que en las anteriores campañas el gigapíxel se llevó a cabo sólo en el abrigo principal, mientras que en éste y en los dos paneles restantes se efectuaron instantáneas para la construcción de los modelos 3D.



47

Figura 47. Discutiendo la estrategia a seguir para la documentación fotográfica con mástil en Cueva del Mediodía, que se ha usado para la fotogrametría de objeto cercano. © E. Quesada.

Las fotografías destinadas a su utilización en modelado 3D mediante fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon* EOS 7D, equipada con objetivos *Canon* EF 35 mm f/1.4 L USM y *Canon* EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM, y una cámara *Nikon* D200 con óptica *Sigma* 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon* AF-S 35mm f/1.8 G DX. En el panel 1 se tomaron un total de 50 capturas con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 106 con el objetivo *Canon* 17-85 mm. El panel 2 se documentó con 44 imágenes tomadas con el objetivo de 35 mm. El panel 3 se registró mediante otras 124 fotografías con el objetivo de 35 mm.

Se tomaron fotografías de patologías de alteración identificadas en el abrigo mediante la cámara *Nikon D200* con óptica *Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM*, *Nikkor 50 mm AF 1.8D* y *Nikon AF-S 35mm f/1.8 G DX*. Se tomaron fotografías con distintas profundidades de campo para aplicar la técnica de “*focus stacking*”.

La totalidad de las fotografías se controlaron colorimétricamente mediante una carta *XRIte ColorChecker Passport*.

Se efectuó una toma general de las tres cavidades, en la que se usó un mástil extensible de 3 m de altura para mejorar la capacidad de capturar imágenes de las zonas planas que se sitúan por encima del punto de fuga en la perspectiva del observador. En total se realizaron 134 disparos con la cámara *Canon EOS 7D* y el objetivo *Canon EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM*.

Se realizó una panorámica gigapíxel del panel 1 con el cabezal *Gigapan Epic Pro*, y la cámara *Canon EOS 7D* con el objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. En total se tomaron 170 imágenes con este fin.

También se realizó una gigapíxel de la totalidad del Monte Arabí para evidenciar la situación en el paisaje de la Cueva del Mediodía. Se usó el cabezal *Gigapan Epic Pro* junto con la cámara *Canon EOS 7D* con el objetivo *Canon EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM*, a una distancia focal de 300 mm. Requirió un total de 144 imágenes.

## ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 03/07/2013

Participantes: María Sebastián, Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

La mayor parte de la cavidad permanece en sombra durante el mes de julio, lo que permite planificar adecuadamente la toma de fotos. La luz solar directa sólo incide en el extremo inferior del abrigo a partir de las 14:00.

La jornada de trabajo se inició a las 7:00 y se prolongó hasta las 14:30.

Las fotografías para el modelado 3D fotogramétrico se realizaron con una cámara *Canon EOS 7D*, equipada con objetivos *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*, y con una cámara *Nikon D200* con óptica *Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM*, *Nikkor 50 mm AF 1.8D* y *Nikon AF-S 35mm f/1.8 G DX*.

Se tomaron un total de 110 capturas con el objetivo *Canon EF 35 mm* para el modelado 3D de los dos paneles de la estación de modo independiente, y otras 185 para la realización de un modelo 3D de los dos paneles en conjunto, probando además una estrategia distinta de captura de imágenes. Se empleó el mástil de 3m para realizar tomas cenitales.

Se tomaron fotografías de patologías de alteración identificadas en el abrigo mediante la cámara *Nikon D200* con óptica *Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM*, *Nikkor 50 mm AF 1.8D* y *Nikon AF-S 35mm f/1.8 G DX*. Se tomaron fotografías con distintas profundidades de campo para aplicar la técnica de “*focus stacking*”.

Las imágenes panorámicas gigapan se realizaron con un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*, siguiendo el mismo esquema que en anteriores campañas. El panel 1 se dividió en tres sectores, utilizándose para el sector izquierdo 90 imágenes, para el sector central 48 imágenes, y para el sector derecho 91 fotos. En el panel 2, se efectuaron 57 disparos, con el objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*.

Todas las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.

Se efectuó una panorámica del paisaje en el que se enclavan los abrigos del Buen Aire. Se realizó con el cabezal robótico *Gigapan Epic Pro*, la cámara *Canon EOS 7D* y el objetivo *Canon EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM*, a una focal de 300 mm. Fueron necesarios 135 disparos.

## CAÑAICA DEL CALAR II

Fecha: 04/07/2013

Participantes: María Sebastián, Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

Las condiciones de iluminación en Cañaica del Calar II fueron óptimas durante toda la jornada de trabajo. La documentación se efectuó entre las 10:00 y las 14:30.

Las fotografías destinadas a la fotogrametría de objeto cercano se tomaron con una cámara *Canon EOS 7D*, equipada con objetivos *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM* y *Canon EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM*, y con una cámara *Nikon D200* con óptica *Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM*, *Nikkor 50 mm AF 1.8D* y *Nikon AF-S 35mm f/1.8 G DX*. Se empleó el mástil de 3 metros para la captura de tomas cenitales del abrigo.

Se tomaron un total de 107 capturas con el objetivo *Canon EF 35 mm*. También se realizaron fotos de las patologías de alteración identificadas en el abrigo mediante la cámara *Nikon D200* con óptica *Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM*, *Nikkor 50 mm AF 1.8D* y *Nikon AF-S 35mm f/1.8 G DX*. Las fotografías se hicieron con distintas profundidades de campo para aplicar la técnica de “*focus stacking*”.

La fotografía gigapíxel se llevó a cabo mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 7D Mark II* montando un objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. Se realizaron dos tomas gigapíxel. Para la zona de la izquierda se emplearon 98 fotografías, mientras que para el sector derecho fueron necesarias 100 instantáneas. La cámara se posicionó a una distancia del panel que oscilaba entre 1 y 1,5 m.

La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.

## SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI

Fecha: 05/07/2013

Participantes: María Sebastián, Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

Al igual que en el resto de campaña las mejores horas de luz para trabajar en Solana de las Covachas son las de la primera hora de la mañana. El trabajo se inició alrededor de las 8:00, prolongándose hasta las 12:30.

Las fotografías destinadas a fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon EOS 7D*, equipada con objetivos *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM* y *Canon EF-S*







17-85mm f/4-5.6 IS USM, y con una cámara *Nikon* D200 con óptica Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon* AF-S 35mm f/1.8 G DX. Se utilizó el mástil de 3 m para tomas cenitales que formaron parte de una captura de fotos del conjunto de abrigos, con las que se ha realizado un modelo 3D general que abarca desde el sector I al sector VI.

En Solana de las Covachas III se tomaron un total de 114 fotografías con el objetivo *Canon* EF 35 mm, y 114 con el objetivo *Canon* 17-85 mm. Por su parte, en Solana de las Covachas VI se hicieron 78 fotografías con el objetivo *Canon* EF 35 mm. Se fotografiaron las patologías identificadas en el abrigo mediante la cámara *Nikon* D200 con óptica Sigma 17-35 mm f2.8-4.0 EX DG HSM, *Nikkor* 50 mm AF 1.8D y *Nikon*

Figura 48. Instantes del trabajo de campo de la campaña de julio 2013 en el abrigo del Buen Aire I. © E. Quesada





50

AF-S 35mm f/1.8 G DX. Las imágenes se hicieron con distintas profundidades de campo para utilizar “*focus stacking*”.

La totalidad de las fotografías efectuadas se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *XRite ColorChecker Passport*.

Para la realización de las imágenes de tipo gigapan se usó un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. Se siguió la estrategia definida en la segunda campaña: en Solana de las Covachas III se realizó un único gigapan que cubre la totalidad del sector central y derecho de la cavidad. Requirió un total de 234 fotografías. La cámara se situó a una distancia alrededor de 1-1,5 m del panel. También en Solana de las Covachas se siguió la estrategia de la campaña de mayo. El único gigapan se formó con la captura de las 253 fotografías realizadas.

Figura 49. Utilización de mástil para cubrir las superficies horizontales de Cañica del Calar II en la fotogrametría de objeto cercano. © J. F. Ruiz

Figura 50. Captura de una macrofotografía para documentar un desconchón que afecta a una pictografía en Solana de las Covachas, zona III. © E. Quesada

## 6ª CAMPAÑA

Objetivo: cuarta toma de datos para fotogrametría y fotografía gigapíxel (primera de la segunda fase del proyecto) y toma de muestras geológicas para su análisis en laboratorio.

Esta campaña corresponde a la toma de datos de otoño, dentro del esquema utilizado en el proyecto para recoger información cada tres meses o en cada una de las estaciones climatológicas del año. En este sentido se prosiguió usando la metodología desarrollada con las lógicas mejoras producto de la experiencia acumulada.

Se simultaneó la recogida de datos para fotogrametría y fotografía gigapíxel con la observación in situ de las alteraciones de los abrigos y paneles y con la recogida de muestras para el estudio geológico.

### ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 08 y 09/11/2013

Participantes: Juan Carlos Lorente, Antonio Dólera, Elia Quesada, José Pereira, África Pitarch y Juan F. Ruiz

Al igual que en otras ocasiones el trabajo de fotogrametría y fotografía gigapíxel se efectuó una vez que la iluminación solar directa dejó de incidir sobre el panel. Se inició alrededor de las 17:00 y concluyó alrededor de las 20:00.

La toma de muestras para el estudio geológico se efectuó el día 9 por la mañana. Se documentaron la posición de las muestras en el abrigo. Se tomaron fotografías, macrofotografías y microfotografías de las muestras y de diversas alteraciones identificadas. Se tomaron un total



Figura 51. E. Quesada trabajando durante la fase de documentación en el Abrigo Grande de Minateda. © J. Pereira.



52

de nueve muestras de sustrato y alteraciones sin afectar a las pictografías. De ellas se han seleccionado tres para su análisis.

Las fotografías para la realización de modelos 3d fotogramétricos se efectuó mediante una cámara *Canon* EOS 5D Mark II con ópticas *Canon* EF 50 mm f/1.4 USM para la obtención de tomas de detalle del panel y un objetivo *Canon* 24-70mm f/2.8 EF L USM (focal 24 mm) para las tomas generales de la cavidad. La colorimetría se controló mediante una carta de color *SpyderChecker*. Se realizaron un total de 200 disparos fotográficos con el objetivo de 50 mm y 132 con el 24-70 mm.

En este abrigo se han mantenido algunas de las dianas, dado que las dimensiones del sitio hacen muy necesario la existencia de estos puntos de referencia que permitan conectar modelos 3D o gigapanes en caso de que fuera necesario.

La fotografía gigapíxel se llevó a cabo mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon* EOS 5D Mark II equipada con un objetivo *Canon* EF 70-200 mm f/4 L IS USM. Dada la extensión del conjunto se optó por realizar un mosaico formado por un total de diez tomas gigapíxel distribuidas a lo largo de la cavidad, a una distancia de aproximadamente 4 m.

Se realizaron fotografías macro y micro de un orificio de 4x3 mm detectado en la falda de la figura de la mujer que lleva de la mano a un niño. En el interior de este orificio se está desarrollando una formación biológica de la que desconocemos su naturaleza, por lo que se le está prestando especial atención para verificar que su presencia no produce un deterioro sensible de este emblemático motivo.

De la selección de las muestras se encargó la Dra. Pitarch, quien escogió aquellos puntos que pudieran ser más representativos de las diferentes alteraciones presentes en el abrigo. La localización exacta de las muestras estudiadas se indica en el apartado del análisis geológico. En cada uno de esos puntos se efectuó una foto de contexto, una foto de detalle por parte de

Figura 52. Documentación de alteraciones del Abrigo Grande de Minateda previas a ser muestreadas. © E. Quesada



53

E. Quesada, microfotos y en algunos casos macrofotos con técnica de “*focus stacking*” a cargo de J. Pereira. Las fotografías de detalle incluyen una escala ABFO n°2.

Para las microfotografías se empleó el microscopio portátil acoplado a una cámara fotográfica *Lumos XLoupe G20* que incluye una cámara *Canon IXUS 120 IS* de 12,1 Mp, y que está equipado con un sistema de iluminación de 12 leds coaxiales y lentes intercambiables de 60x y 150x aumentos digitales o 10x y 30x aumentos ópticos.

## CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 09/11/2013

Participantes: Jose Pereira, Àfrica Pitarch, Elia Quesada y Juan F. Ruiz

A última hora de la mañana se realizó una fotografía panorámica gigapan del entorno de Cueva del Mediodía y del conjunto del Monte Arabí. La tarde se empleó en la toma de fotografías para la realización de los modelos 3D fotogramétricos, la fotografía gigapixel y el muestreo geológico.

Como en las anteriores fases se documentaron mediante fotogrametría los tres paneles existentes en la cavidad, mientras que la imagen gigapixel se compuso exclusivamente en el panel 1, o cavidad principal.

Las fotografías destinadas a su utilización en los modelos 3D se realizaron con una cámara *Canon EOS 7D*, equipada con objetivos *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*. No se han efectuado modelos generales de toda la cavidad o del panel 1, ya que estos no han sido objeto de monitorización.

En el panel 1 se tomaron un total de 63 capturas con el objetivo *Canon EF 35 mm*. El panel 2 se documentó con 34 imágenes tomadas con el mismo objetivo. El panel 3 se registró mediante

Figura 53. Realización de una microfotografía en Cueva del Mediodía, panel 1, en noviembre 2013. © E. Quesada.



54

47 fotografías con el objetivo de 35 mm. La colorimetría de todas las imágenes se controló mediante la inclusión de una escala *X-Rite ColorChecker Passport*.

La fotografía panorámica gigapíxel del panel principal del conjunto se llevó a cabo mediante el cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. La cámara se posicionó a una distancia media de 2 m del panel decorado.

Se tomaron tres muestras geológicas para su análisis seleccionadas por la Dra. Pitarch de acuerdo con las alteraciones más comunes de la cavidad. La documentación de los lugares de muestreo se efectuó mediante fotografía general, fotografía de detalle con escala ABFO nº 2 y microfotografía. Para las microfotografías se empleó el sistema *Lumos XLoupe G20*. La localización exacta de las muestras estudiadas se indica en el apartado del análisis geológico.

## ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 10/11/2013

Participantes: África Pitarch, Elia Quesada, José Pereira y Juan F. Ruiz

La documentación de este abrigo se efectuó a primera hora de la mañana, aprovechando las mejores horas de luz de la jornada. En este abrigo se efectuaron las tomas para la realización de modelos tridimensionales fotogramétricos, fotografía gigapíxel y muestreos para análisis geológicos. Adicionalmente se realizaron fotografías para un experimento de capacidad de detección de cambios del software *CloudCompare*.

Las capturas destinadas a su utilización en modelado 3D mediante fotogrametría de objeto cercano se llevaron a cabo con una cámara *Canon EOS 7D*, equipada con objetivo *Canon EF*

Figura 54. Documentación de alteraciones en Abrigo del Buen Aire I, panel 2. © E. Quesada.



55



56

35 mm f/1.4 L USM. La cavidad se dividió en dos sectores, tal y como se había hecho en la fase precedente; la parte izquierda del panel 1 y la parte derecha del panel 1 junto con el panel 2 que se ubica sobre él. El primer sector se documentó mediante 101 imágenes, mientras que el segundo se hizo con 123 instantáneas.

La fotografía panorámica de tipo gigapixel se dividió en cuatro sectores para evitar las deformaciones inherentes geométricas de este tipo de imágenes en un espacio de las dimensiones de este abrigo. El sector izquierdo del panel 1 se registró mediante 63 imágenes. El sector central del panel 1 se documentó con 49 instantáneas. El sector derecho de este mismo panel se cubrió con 72 fotografías. Finalmente, en el panel 2 se emplearon 55 imágenes. La distancia media osciló entre 3 y 4 m. Se empleó un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*.

La totalidad de las fotografías se controlaron colorimétricamente mediante una carta de color *X-Rite ColorChecker Passport* o *Classic*.

El muestreo geológico consistió en la toma de cinco muestras de diferentes formas de alteración. De ellas se han analizado tres. La documentación de los lugares de muestreo se efectuó mediante fotografía general, fotografía de detalle con escala ABFO n° 2, macrofotografía y microfotografía. Para las microfotografías se recurrió al sistema *Lumos XLoupe G20*. La Dra. Pitarch seleccionó los puntos más representativos de las alteraciones que afectan a la conservación de las pinturas rupestres en este abrigo. La localización exacta de las muestras estudiadas se indica en el apartado del análisis geológico.

Figura 55. Comprobación del resultado de una microfotografía en Solana de las Covachas III © E. Quesada.

Figura 56. J. Pereira documentando alteraciones durante la fase de muestreo. © E. Quesada





57

## SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI

Fecha: 11/11/2013

Participantes: José Pereira, Elia Quesada, África Pitarch y Juan F. Ruiz

La orientación de Solana de las Covachas condiciona durante todo el año la toma de fotografías. Poco después de mediodía el sol comienza a incidir de lleno en los abrigos, haciendo muy complicado tomar fotografías. En esta campaña estas circunstancias tuvieron su incidencia en la realización del gigapan en el abrigo de la zona VI, en el que empezó a entrar la luz solar directa antes de lo previsto, obligando a improvisar una cobertura que permitiese una iluminación uniforme de las imágenes.

Figura 57. E. Quesada y J. Pereira planificando la documentación de Cañiaca del Cañar II. © À. Pitarch

Se realizaron fotografías para la fotogrametría de objeto de cercano y gigapixel de los dos abrigos. Todas las imágenes se controlaron colorimétricamente mediante una *X-Rite Color-Checker Passport*.

En el caso de la fotogrametría de Solana de las Covachas III se dispararon 115 fotografías con el objetivo *Canon EF 35 mm* y la cámara *Canon EOS 7D*. El sector izquierdo de la cavidad se documentó con otras 95 imágenes capturadas con la cámara *Nikon D200* y objetivo *Nikkor 50 mm AF 1.8D*. En Solana de las Covachas VI se hicieron 155 fotografías con el objetivo *Canon EF 35 mm* para la fotogrametría de detalle del panel.

Para las imágenes continuas gigapan se empleó el cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y la cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. En la zona III se efectuaron 176 instantáneas, mientras que en la zona VI se realizaron 300 fotografías.

En el caso de los muestreos se tomaron un total de 8 muestras entre las dos cavidades, de las que tres muestras corresponden al interior de los abrigos. La geóloga del equipo, escogió los lugares más representativos de los deterioros identificados. La localización exacta de las muestras estudiadas se indica en el apartado del análisis geológico. En cada uno de esos puntos se efectuó una foto de contexto, una foto de detalle, microfotos y en algunos casos macrofotos con técnica de focus-stacking a cargo de J. Pereira. Para las microfotografías se empleó el sistema *Lumos XLoupe G20*. Las fotografías de detalle incluyen una escala ABFO n°2. La localización exacta de las muestras estudiadas se indica en el apartado del análisis geológico.

## CAÑAICA DEL CALAR II

Fecha: 12/11/2013

Participantes: Elia Quesada, Àfrica Pitarch, José Pereira y Juan F. Ruiz

El trabajo en este abrigo se realizó a primera hora de la mañana para evitar problemas similares a los descritos en Solana de las Covachas.

Para la documentación con técnicas fotogramétricas de este panel se realizaron 143 fotografías con la *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*. La imagen gigapixel se dividió en dos sectores como viene siendo habitual. Para ello se empleó el cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y la cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. En el sector izquierdo se tomaron 108 fotografías, mientras que el sector derecho requirió 81 imágenes.

Para la caracterización del soporte y alteraciones a nivel geológico se tomaron 5 muestras, tres de ellas de la cavidad. La Dra. Pitarch identificó in situ las alteraciones más habituales de la cavidad. Sus puntos exactos de localización figuran en el apartado correspondiente al análisis geológico. En cada uno de esos puntos se efectuó una foto de contexto, una foto de detalle, microfotos y en algunos casos macrofotos con técnica de focus-stacking a cargo de J. Pereira. Las microfotografías fueron realizadas con el sistema *Lumos XLoupe G20*. Las fotografías de detalle incluyen una escala ABFO n°2.

## 7<sup>a</sup> CAMPAÑA

Objetivo: toma de datos para análisis químicos mediante técnicas espectroscópicas in situ.

Al igual que en la campaña de análisis químicos precedente se utilizaron microespectroscopía Raman ( $\mu$ -Raman) y fluorescencia de rayos X portátil (EDXRF) para caracterizar a nivel físico-químico el soporte, las alteraciones y las pictografías de los lugares incluidos en el proyecto. El espectroscopio  $\mu$ -Raman empleado es un *BWTEK* innoRam-785H con un rango espectral de  $65\text{cm}^{-1}$  y  $2522\text{cm}^{-1}$  (desplazamiento Stokes Raman) que usa una línea excitatriz láser a 785 nm, y una potencia regulable siempre inferior a  $700\text{ }\mu\text{W}$ . El EDXRF usado es un *Oxford Instrument* XMET 5100. Adicionalmente, se recurrió ocasionalmente al microscopio portátil *Lumos* XLoupe G20 para observar algunos de los puntos analizados.

### ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 14/01/2014

Participantes: Silvia Fernández, Anastasia Giakoumaki y Juan F. Ruiz.

Se volvieron a medir los mismos puntos que en la primera fase, representativos de la alteraciones, soporte y pictografías. En total se realizaron 48 mediciones con EDXRF distribuidas en 16 posiciones diferentes, y se midieron 29 puntos con  $\mu$ -Raman.

Se tomaron 5 microfotografías de las diversas eflorescencias identificadas en el abrigo.

### CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 14/01/2014

Participantes: Silvia Fernández, Anastasia Giakoumaki y Juan F. Ruiz.

Como sucedió en la primera campaña se instaló un pequeño andamio dentro de la cavidad del panel 1 para poder efectuar las mediciones. Todas se concentraron en este panel.

Se efectuaron 36 medidas con EDXRF en 12 puntos distintos, representativos del soporte y de las pictografías. Además se realizaron 25 lecturas con  $\mu$ -Raman.

### ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 15/01/2014

Participantes: Silvia Fernández, Anastasia Giakoumaki y Juan F. Ruiz.

En este abrigo se llevaron a cabo 60 mediciones con EDXRF en 20 posiciones diferentes. Estos puntos son representativos de soporte, alteraciones y pictografías. Además, con  $\mu$ -Raman se realizaron otras 33 lecturas, que se trataron de efectuar en los mismo puntos que en el caso del EDXRF.

Figura 3. Vista desde el interior del abrigo.  
Figura 4. (pag. siguiente). Levantamiento topográfico del abrigo y distribución de los registros pictóricos



58



59



60

Figura 58. Panorámica de Cueva del Mediodía poco antes del anochecer, mientras se realizan los análisis químicos. © J. F. Ruiz.

Figura 59. S. Fernández trabajando con el  $\mu$ -Raman en Solana de las Covachas VI. © J. F. Ruiz.

Figura 60. Obtención de espectros EDXRF en Cañaica del Calar II. © J. F. Ruiz.



Se realizaron microfotografías de diversas pictografías de color negruzco, en las que además se tomaron nuevas mediciones con EDXRF no efectuadas el año anterior.

### **SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI**

Fecha: Fecha: 16/01/2014

Participantes: Anastasia Giakoumaki, Silvia Fernández y Juan F. Ruiz.

La caracterización a nivel físico-químico en estas dos cavidades se realizó siguiendo la misma metodología. Se efectuaron 45 mediciones en 15 puntos de Solana de las Covachas III. En el caso del  $\mu$ -Raman no se obtuvieron resultados en ninguno de los intentos.

En Solana de las Covachas VI se tomaron 58 lecturas en 18 puntos distintos. Con respecto al  $\mu$ -Raman se consiguieron lecturas en 4 puntos diferentes del abrigo.

Además se tomó una muestra del techo de la cavidad en una zona sin pinturas para la realización de EDXRF y mapeo Raman en laboratorio.

### **CAÑAICA DEL CALAR II**

Fecha: 16/01/2014

Participantes: Anastasia Giakoumaki, Silvia Fernández y Juan F. Ruiz.

La elevada fluorescencia del soporte limitó otra vez la utilidad del  $\mu$ -Raman en este abrigo. Por este motivo sólo se han conseguido

Con EDXRF se efectuaron 60 mediciones en 20 localizaciones distintas, representativas de las alteraciones, soporte y pictografías.

## 8ª CAMPAÑA

Objetivo: toma de datos para fotogrametría y fotografía gigapíxel.

### CUEVA DEL MEDIODÍA

Fecha: 27/01/2014

Participantes: Juan F. Ruiz

El trabajo se inició a partir de mediodía, hora en la que el sol deja de incidir directamente en la cavidad. Al igual que en fases anteriores se efectuaron fotografías para la construcción de modelos 3D de los tres paneles inferiores de Cueva del Mediodía y se tomaron fotografías para el gigapan del panel principal.

Las fotografías para el modelado 3D basado en fotogrametría de objeto cercano se realizaron con una cámara *Canon EOS 7D*, equipada con objetivo *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*. Se tomaron 101 imágenes para este cometido en el panel 1. Por su parte, se emplearon 48 imágenes para documentar el panel 2. Finalmente, en el panel 3 se efectuaron 63 tomas para este fin.

La panorámica gigapíxel del panel 1 se realizó con el cabezal *Gigapan Epic Pro*, y la cámara *Canon EOS 7D* con el objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. En total se tomaron 135 imágenes para la confección de esta imagen continua. La distancia de captura en este abrigo se sitúa entre 2 y 2,5 m.

La colorimetría de todas estas fotografías se controló mediante la inclusión en algunas tomas de una *X-Rite ColorChecker Passport*.

### ABRIGO DEL BUEN AIRE I

Fecha: 28/01/2014

Participantes: Santa Lozano y Juan F. Ruiz

La documentación del Abrigo del Buen Aire I es especialmente complicada en los meses de invierno ya que el sol comienza a iluminar el panel 1 a una hora muy temprano y no deja de incidir en el abrigo hasta bien entrada la tarde. Esto puede tener una incidencia notable en el CRI de las tomas fotográficas, que se ha tratado de compensar con la habitual utilización de una carta de color *X-Rite ColorChecker Passport* y durante el revelado raw de las fotografías.

Se capturaron imágenes para el levantamiento fotogramétrico y para la realización de varios gigapan. En la documentación mediante fotogrametría de objeto cercano se mantuvo la diferenciación de dos sectores independientes. En el sector izquierdo se empleó la cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*. Se realizaron un total de 126 instantáneas con este fin. En el sector derecho se empleó la misma configuración de cámara y objetivo y se efectuaron 156 tomas fotográficas.

Los gigapíxeles se efectuaron de acuerdo al esquema precedente, dividiendo en cuatro sectores la cavidad. Se realizaron con el cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y la cámara *Canon*



61

EOS 7D con objetivo *Canon* EF 100 mm f/2.8 macro USM. En el sector izquierdo del panel 1 se tomaron 58 fotografías. El sector central del panel 1 se cubrió con 35 imágenes. El sector derecho fue documentado con un total de 72 capturas. Por último, el panel 2 se registró con un conjunto de 50 imágenes. Los estacionamientos del gigapan se efectuaron a distancias que oscilan entre 3 y 4 m.

Figura 61. Entorno del Abrigo del Buen Aire I en enero de 2014. © J.F. Ruiz.



62 63

En todas las tomas se incluyeron imágenes con la carta de color *X-Rite ColorChecker Passport* para control colorimétrico.

## SOLANA DE LAS COVACHAS III Y VI

Fecha: 29/01/2014

Participantes: Juan F. Ruiz

La documentación de estas cavidades se inició a primera hora de la mañana para tratar de evitar los problemas de iluminación solar directa. Las condiciones meteorológicas adversas dificultaron especialmente este trabajo; durante toda la mañana estuvo nevando, en ocasiones copiosamente.

Las fotografías destinadas a fotogrametría de objeto cercano se realizaron con la cámara *Canon EOS 7D* y objetivo *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*. En Solana de las Covachas III se realizaron 101 fotografías para la documentación del sector central y derecho de la cavidad, y otras 27 para cubrir el sector izquierdo. En Solana de las Covachas VI se tomaron 181 imágenes para documentar el panel con pinturas rupestres.

La fotografía gigapixel se realizó, como en otras ocasiones, con el cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y la cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. En el caso de Solana de las Covachas zona III se realizaron 140 fotografías para el gigapan, a una distancia entre 1 y 1,5 m. En Solana de las Covachas VI se tomaron 260 imágenes a una distancia de entre 1 y 1,5 m.

Figura 62. Efectos de la nevada caída en Nerpio y Moratalla el 29/01/2014. © J.F. Ruiz.

Figura 63. A. Dólera tomando fotografías para la realización de modelos 3D en el Abrigo Grande de Minateda. © J.F. Ruiz





64

Como en anteriores ocasiones se incluyeron imágenes con la carta de color *X-Rite ColorChecker Passport* para control colorimétrico.

## CAÑAICA DEL CALAR II

Fecha: 30/01/2014

Participantes: Juan F. Ruiz

El trabajo de documentación de esta cavidad se realizó a primera hora de la mañana. Se efectuó siguiendo los parámetros fijados en anteriores actuaciones.

La documentación mediante fotogrametría de objeto cercano se llevó a cabo con la cámara *Canon EOS 7D* y el objetivo *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*. Con este propósito se realizaron 150 fotografías.

Las panorámicas de tipo gigapan se realizaron con el cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y la cámara *Canon EOS 7D* con objetivo *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM*. La parte izquierda del friso se registró con un total de 88 imágenes, mientras que para la parte derecha se emplearon otras 90 fotografías. Estas fotografías se tomaron a una distancia entre 1 y 1,5 m.

El control colorimétrico se realizó mediante la inclusión de la carta de color *X-Rite ColorChecker Passport* en algunas fotografías.

Figura 64. Momento de la realización de las fotografías para la imagen gigapixel en Cañaica del Calar II. © J.F. Ruiz.

## ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Fecha: 31/01/2014

Participantes: Antonio Dólera, Juan Carlos Lorente y Juan F. Ruiz.

La documentación de este abrigo mediante fotogrametría de objeto cercano e imagen gigapíxel se efectuó de acuerdo con los criterios seguidos hasta la fecha.

Las fotografías para la realización de modelos 3d fotogramétricos se efectuó mediante una cámara *Canon EOS 5D Mark II* con ópticas *Canon EF 50 mm f/1.4 USM* para la obtención de tomas de detalle del panel y un objetivo *Canon 24-70mm f/2.8 EF L USM* (focal 24 mm) para las tomas generales de la cavidad. La colorimetría se controló mediante una carta de color *SpyderChecker*. Se realizaron un total de 200 disparos fotográficos con el objetivo de 50 mm y 132 con el 24-70 mm.

La fotografía gigapíxel se llevó a cabo mediante un cabezal robótico *Gigapan Epic Pro* y una cámara *Canon EOS 5D Mark II* equipada con un objetivo *Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM*, a una distancia de aproximadamente 4 m. El friso se registró en diez sectores como viene siendo habitual.

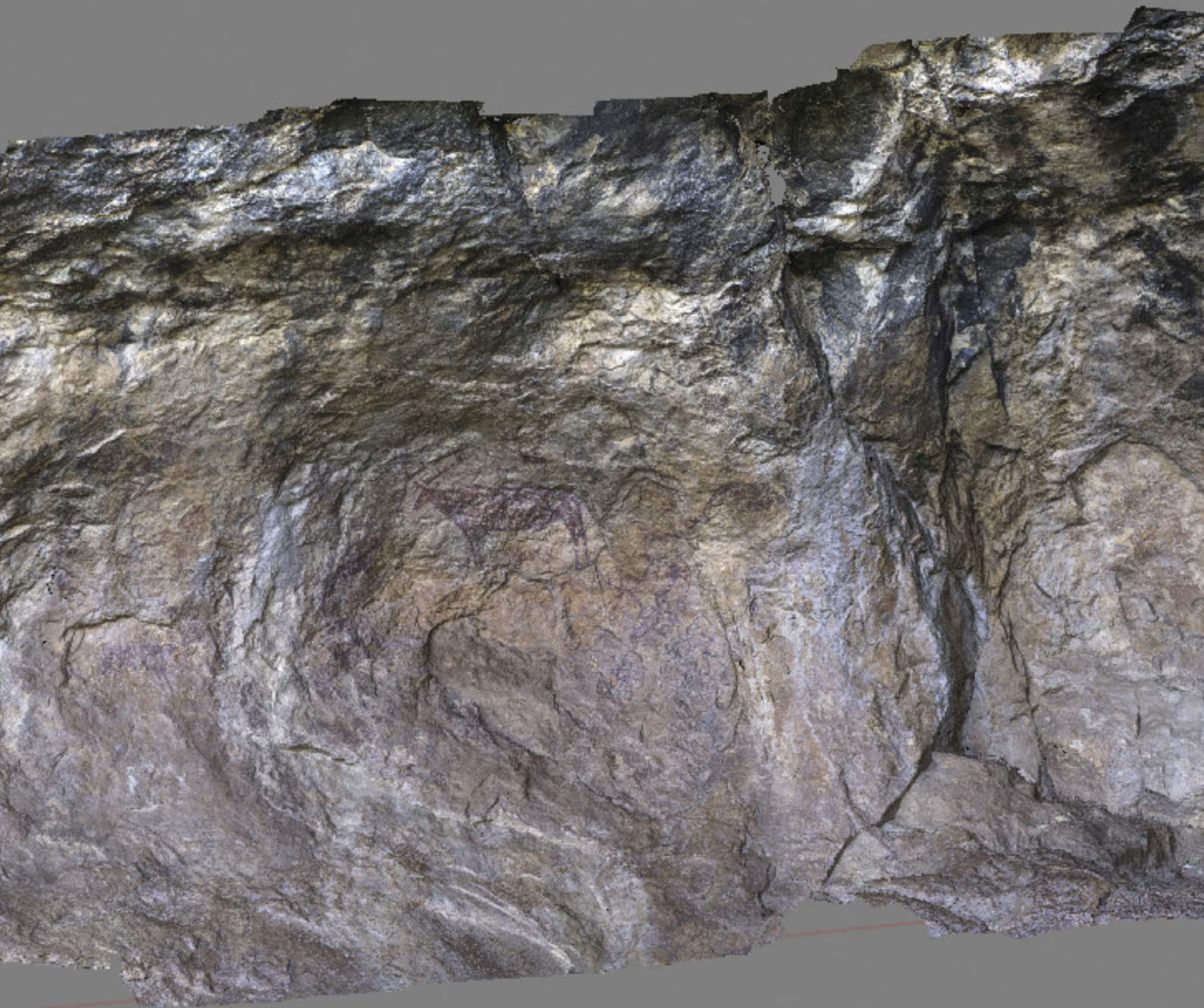
Se realizaron macrofotografías para controlar la evolución de la formación biológica que se estaba desarrollando en el interior del orificio de la mujer acompañada de un niño.



---

## Metodología

---



## 3. Metodología

Como señalamos anteriormente la metodología de monitorización de lugares de arte rupestre del proyecto 4D se basa en la utilización conjunta y complementaria de una serie de productos tecnológicamente punteros como son la fotogrametría de objeto cercano (basada en técnicas de “*computer vision*” o visión artificial), la fotografía gigapixel, las técnicas de descorrelación de imágenes, los tratamientos estadísticos de nubes de puntos para analizar sus variaciones, los sistemas de información geográfica, y las técnicas espectroscópicas para análisis químico in situ. A continuación detallaremos los fundamentos teóricos de cada uno de estos elementos y expondremos su rol en la metodología seguida en el proyecto 4D · arte rupestre.

### 3.1. FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO

Los modelos 3D de los paneles con pinturas de las estaciones incluidas en el proyecto constituyen la unidad mínima de trabajo para las comparaciones volumétricas a lo largo del tiempo. Son, por tanto, el punto de partida para analizar alteraciones causadas por las pérdidas del soporte. Para la realización de los modelos tridimensionales se han utilizado técnicas de fotogrametría de objeto cercano basadas en fotografías no ordenadas y en técnicas de *computer vision*.

#### 3.1.1. Principios teóricos

La fotogrametría es la ciencia de obtener medidas precisas y modelos tridimensionales a partir de dos o más fotografías. En líneas generales se puede hablar de fotogrametría aérea –dedicada a representar un relieve respecto a una superficie de referencia teóricamente plana en relación a la altitud del vuelo, es decir, el sistema empleado en la topografía a gran escala– y de fotogrametría de objeto cercano, que, basándose en los mismos principios teóricos, se emplea para el registro de objetos o superficies desde una baja altitud o desde el suelo. Este término se aplica tanto a los modelos fotogramétricos obtenidos a partir de vuelos realizados con globos o drones teledirigidos como para los realizados desde posiciones terrestres (Matthews, 2007).

Esta técnica matemática se viene utilizando desde hace décadas para la realización de trabajos topográficos a partir de pares estereoscópicos de fotografías, pero también se ha utilizado con cierta frecuencia para el registro de bienes culturales diversos, y entre ellos de arte rupestre del

ARAMPI (Buchón et al., 2002; San Nicolás, 1989). Durante años este procedimiento se basaba exclusivamente en el uso de cámaras métricas y en pares convergentes de fotografías, imitando los principios de la visión humana, y deducía el relieve a partir de las relaciones geométricas conocidas entre las dos imágenes.

En los últimos años la fotogrametría de corto alcance ha vivido una auténtica revolución merced al desarrollo de nuevos procedimientos que han simplificado enormemente los flujos de trabajo y la metodología de captura de datos. La aparición y generalización de las cámaras digitales y el desarrollo de software capaz de trabajar con centenares de fotografías de alta resolución, a un coste asequible y con un manejo sencillo (Lerma et al., 2013) han protagonizado estos cambios. Paquetes de software como *Leica Photogrammetry System* o *Photomodeler Scanner* abrieron el camino basándose en los citados principios de la fotografía estereoscópica pero usando fotografías tomadas con cualquier cámara fotográfica, ya que el propio software se encargaba de calibrar las distorsiones asociadas al cuerpo y lente de la cámara (los parámetros intrínsecos de la cámara) y su posición, a partir de la localización relativa del plano del sensor y de los seis parámetros de orientación exterior de la cámara (los parámetros extrínsecos) (Verhoeven et al., 2012), de lo que se podían deducir las homologías entre las imágenes (Chandler y Fryer, 2005; Chandler et al., 2005a; 2005b; Grussenmeyer y Yasmine, 2004; Hullo et al., 2009; Kolecka, 2011). Aunque estos programas representaban un paso adelante muy significativo todavía demandaban una elevada carga de trabajo por parte de los usuarios, ya que son ellos los encargados de identificar y marcar las homologías en la totalidad del conjunto.

La definitiva revolución ha venido de la mano de la introducción de los principios de la “*computer vision*” (CV) y de una serie de algoritmos matemáticos, como SIFT (*Scale-invariant feature transform*) o SURF (*Speeded-Up Robust Features*), que detectan y describen los rasgos locales en una imagen por comparación con otras imágenes que incluyan diferentes puntos de vista del mismo objeto o lugar. Mientras que los software anteriores deducían las nubes de puntos tridimensionales a partir de la identificación manual de las homologías, los nuevos programas permiten la computación simultánea de la proyección geométrica y de una nube de puntos 3D a partir únicamente de una serie de fotografías no calibradas tomadas por una cámara en movimiento alrededor del objeto o la escena (Verhoeven et al., 2012). Este principio, conocido como SfM (*Structure from Motion*, estructura a partir del movimiento en español), es el que se ha popularizado en los últimos años en paquetes de software libre como SfM, gratuitos pero basados en servicios web como *Photosynth*, *ARC3D*, *Hyper3D* o *Autodesk 123D Catch*, comerciales pero asequibles como *Agisoft PhotoScan*, y paquetes comerciales destinados a un mercado profesional como *Agisoft PhotoScan Pro* y *Acute3D*. Su utilización en documentación patrimonial y arqueológica, está adquiriendo una rapidísima velocidad de expansión (De Reu et al., 2013; Doneus et al., 2011; Verhoeven, 2011; Verhoeven et al., 2012) a la que no es ajena el arte rupestre (Plets et al., 2012a; 2012b), tendencia que sin duda se acentuará en los próximos años.

Resulta evidente que este proceso obedece a la ineludible necesidad de documentar el patrimonio de acuerdo a su naturaleza tridimensional. En el caso del arte rupestre, frente a los calcos y reproducciones bidimensionales tradicionales en los que el investigador se ocupaba de poco más que de la identificación de los motivos pictóricos, las documentaciones tridimensionales permiten una aproximación precisa y no distorsionada a las relaciones espaciales entre las pictografías y grabados, y entre ellos y el soporte sobre el que se conservan y sobre el que

fueron concebidos (Domingo et al., 2013). Este último aspecto es crucial, ya que con frecuencia el soporte juega un papel trascendental en la configuración de pinturas y grabados rupestres, no sólo en la utilización de los volúmenes como parte de los motivos, típica del arte paleolítico, sino también como elemento escenográfico en estilos como el arte levantino.

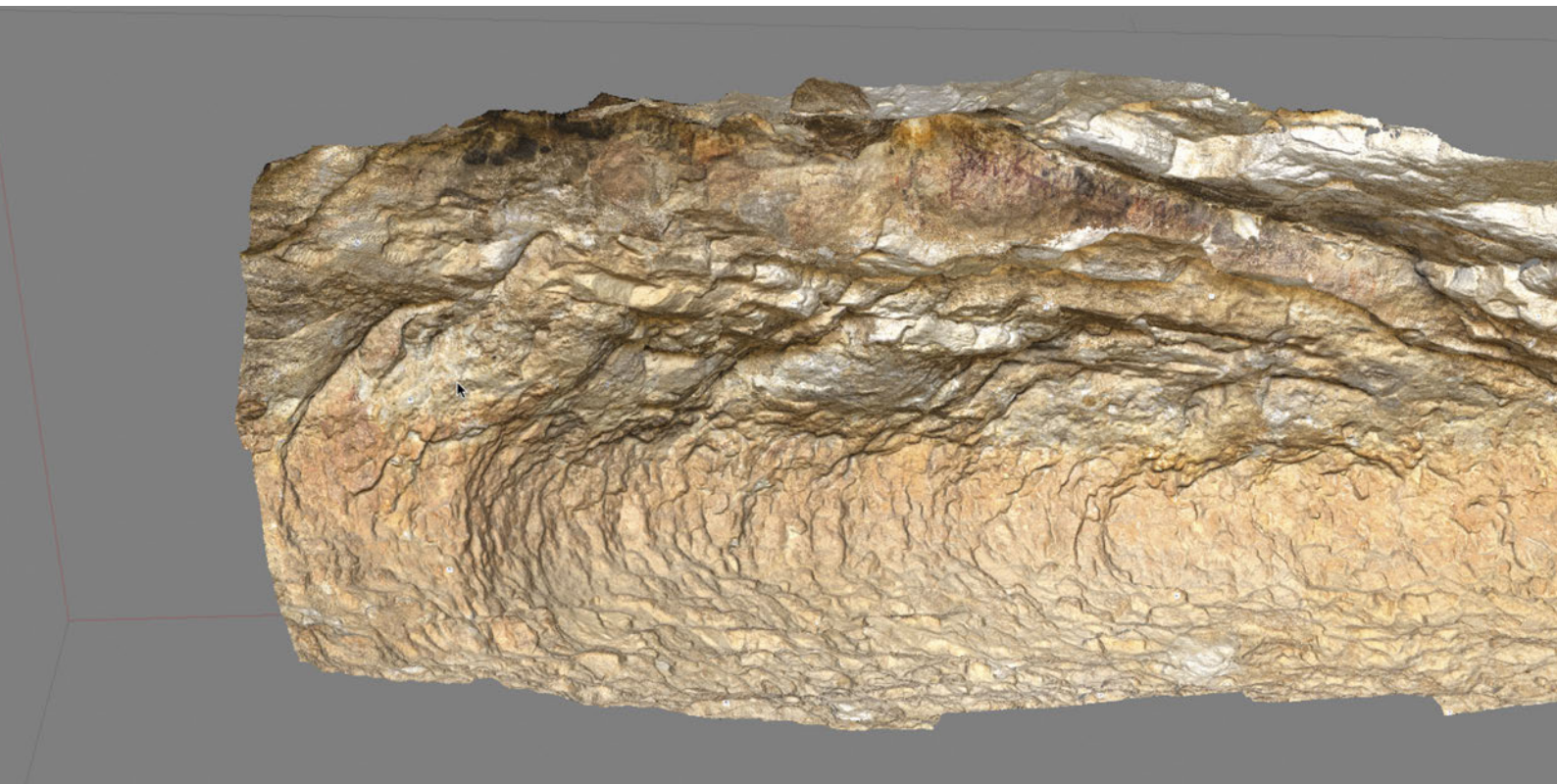
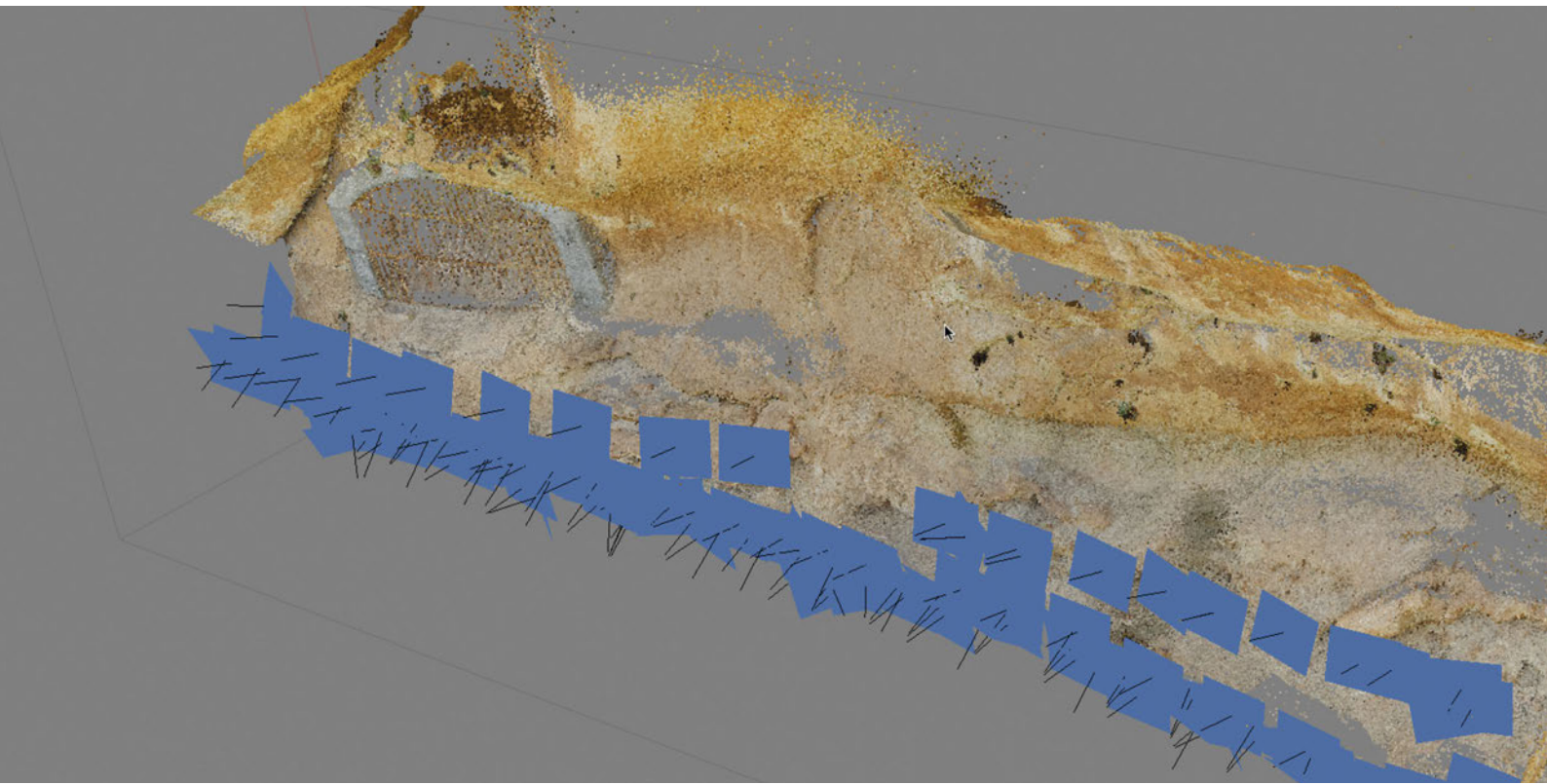
El modelado 3D es, por tanto, un aspecto fundamental que debe ser considerado y registrado en cualquier proceso de documentación de arte rupestre y que sirve de base para una mejor comprensión del bien y como punto de partida para el diagnóstico de sus dinámicas de conservación y alteración. En la actualidad existen varios procedimientos adecuados para el registro tridimensional de un bien patrimonial: los procedimientos basados en sensores pasivos como una cámara fotográfica (fotogrametría) y los basados en sensores activos como un escáner láser 3D o un escáner de luz estructurada (Lerma, 2013). Estos últimos procedimientos también están siendo utilizados con muchísima frecuencia desde hace años en la documentación de arte rupestre (Angás et al., 2013; Aujoulat et al., 2005; Barnett et al., 2005; Diaz-Andreu et al., 2005; González-Aguilera et al., 2009; Lerma et al., 2009; Sebastián et al., 2010). Las evaluaciones y comparaciones entre todos estos procedimientos demuestran que los resultados son equiparables y que sus niveles de resolución y precisión son semejantes (Kersten y Lindstaedt, 2012; Kolečka, 2011; Lerma et al., 2013).

Todos estos procedimientos ofrecen hoy en día calidades similares, aunque haya autores que se decanten por una u otra de las opciones. Todos presentan errores estándar que en el caso de objetos muebles se sitúan por debajo de décimas de milímetro, mientras que para escenas de varios metros presentan errores subcentimétricos, de mayor o menor calibre dependiendo de la precisión nominal del instrumental, o de la calidad y número de fotografías usadas en los sistemas fotogramétricos. En todo caso, la mayor parte de autores coinciden en que la fotogrametría de objeto cercano basada en SfM presenta una mejor relación calidad precio, y además tiene una mayor facilidad de uso tanto en el trabajo de laboratorio como en el campo, ya que el equipo necesario es muy transportable.

### 3.1.2. Utilización en el proyecto. *PhotoScan Pro*

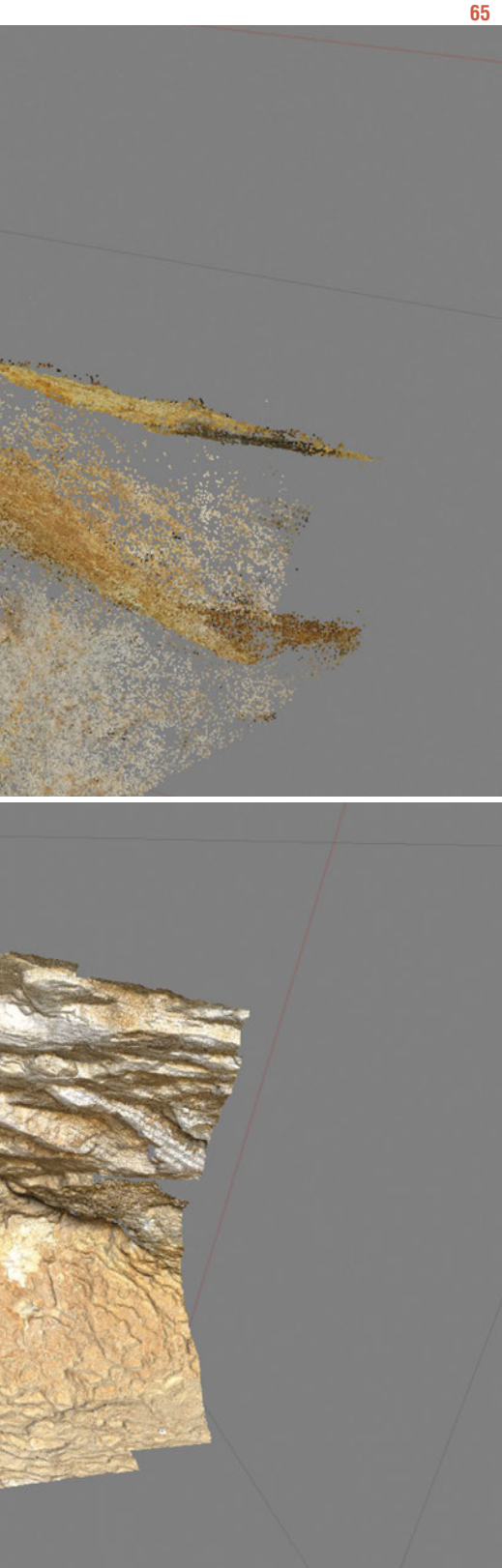
La documentación tridimensional en el marco del proyecto 3D se ha efectuado mediante procedimientos de fotogrametría de objeto cercano basada en múltiples imágenes y en procesos SfM o análogos. El software usado ha sido *Agisoft PhotoScan Pro* en distintas versiones y *VisualSFM* 0.5.22. Éste último constituye una implementación directa de los principios de Structure from Motion y se basa en el algoritmo SIFT para la detección de rasgos comunes entre fotografías no ordenadas. Es un software libre que está disponible para sistemas operativos *Windows* (32 y 64 bits), *Linux* y *MacOS X* (aunque en este caso su implementación es muy laboriosa y todavía presenta errores). Por su parte, *Agisoft PhotoScan Pro* emplea algoritmos de detección similares a SIFT, pero propietarios al tratarse de un software comercial. Está disponible para *Windows* (32 y 64 bits), *MacOS X*, y *Linux*, en dos versiones de pago, una muy asequible *Agisoft PhotoScan*, y otra bastante más costosa, *Agisoft PhotoScan Pro*.

La mayor parte de los modelos se han realizado tanto con *PhotoScan Pro* como con *VisualSFM*. De este modo se cubre cualquier posible dificultad en construir un modelo 3D válido



con alguno de los dos programas y, en paralelo, permite una comparación de los resultados de ambos con el objetivo de verificar cual es el más adecuado para el trabajo que estamos desarrollando. No obstante, *PhotoScan Pro* cuenta con herramientas más avanzadas de georreferenciación de los modelos, lo que es crucial para establecer unas coordenadas topográficas





de base que tengan la suficiente precisión como para detectar cambios de sólo unos pocos milímetros.

El flujo de trabajo con *PhotoScan Pro* es bastante sencillo y directo, ya que todas las operaciones se realizan por este paquete (*Agisoft LLC*, n.d.). El primer paso consiste en la selección de un conjunto de imágenes con las que se trabajará en adelante. En esta primera etapa *PhotoScan Pro* realiza el emparejamiento de rasgos a partir de todas las fotos, por medio de la detección de puntos en las imágenes que se mantienen estables independiente del punto de vista y de las variaciones de luz, y genera un descriptor para cada punto basado en aquellos con los que se relaciona a escala local. Estos descriptores se usan para detectar las homologías entre todas las fotografías. Según el fabricante el algoritmo usado es similar a SIFT pero tiene una calidad de alineación algo superior a éste. A partir de ello el programa resuelve los parámetros de orientación de la cámara, tanto intrínsecos como extrínsecos. El algoritmo usado posiciona cada uno de los puntos detectados en varias fotografías (un mínimo de tres) y genera una nube de puntos dispersa. Esta nube de puntos es la que se visualiza al final del proceso de orientación de las imágenes junto con la posición de las cámaras deducida a partir de los cálculos efectuados (Fig. 65). Sobre la nube de puntos se pueden realizar operaciones como eliminación de puntos por medio de la selección gradual de puntos que superan un determinado error de reproyección, o en función del grado de incertidumbre de la reconstrucción. También se pueden eliminar en este punto fotografías cuyo emparejamiento (*feature matching*) no ha sido correcto, lo que elimina los puntos asociados a dicha imagen.

El segundo paso consiste en la creación de la geometría a partir de la nube de puntos dispersa, de las posiciones de la cámara y de las imágenes. Esta etapa del proceso es la más costosa en tiempo y en uso

de recursos del ordenador. Durante ella *PhotoScan* reconstruye la nube de puntos densa, que puede tener decenas de millones de puntos, y a partir de ella realiza el modelado de la malla poligonal tridimensional, ajustándose más o menos al objeto o la escena real dependiendo de los parámetros establecidos por el usuario. El software permite escoger entre modelar un objeto

Figura 65. Nube de puntos generada por *PhotoScan Pro* del conjunto de Cueva del Mediodía, con indicación de la posición de las cámaras. © J. F. Ruiz

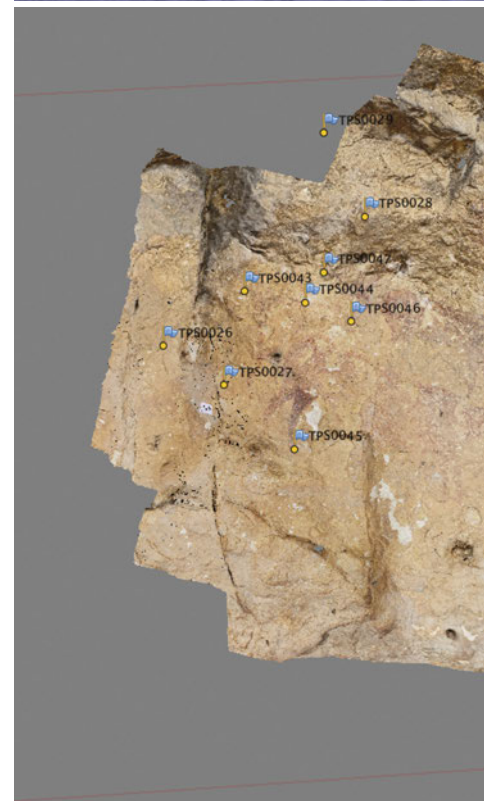
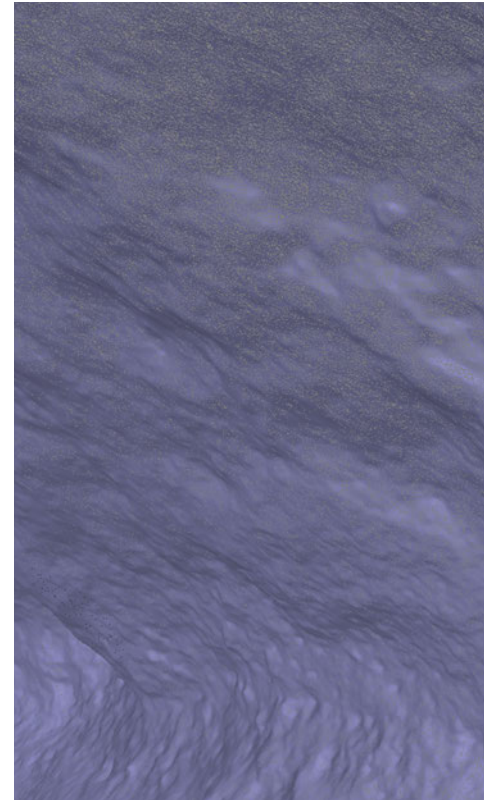
Figura 66. Modelo 3D del sector derecho del Abrigo del Buen Aire I, visualizado como relieve coloreado. © J. F. Ruiz

arbitrario o una superficie de terreno (por ejemplo, a partir de fotos de un vuelo), entre realizar la geometría con rasgos acusados o suavizados y con 5 niveles de resolución. Para el modelado de un abrigo o un panel rupestre hemos usado las opciones de objeto arbitrario, geometría con rasgos acusados y resolución media o alta. En general, es deseable obtener modelos con geometría de resolución alta (*High*) o ultra-alta (*UltraHigh*), pero los requerimientos de máquina hacen difícil en ocasiones alcanzar dichas resoluciones. En la actualidad, los requerimientos recomendados de máquina exigen un sistema operativo de 64 bits, un procesador *Intel Core i7*, 12 Gb de memoria RAM, y una tarjeta gráfica de rendimiento elevado (una RAM mínima de 2 Gb y capacidad de usar *OpenCL*). El tamaño del modelo que se puede procesar con un ordenador de esas características depende del número de fotos, de su tamaño y de la resolución que se pretenda obtener. El procesado del panel de un abrigo con unos 100 imágenes a una resolución de 18 Mp puede llevar entre 12-24 horas en una de estas máquinas, por lo que en ocasiones es necesario recurrir a estaciones de trabajo dedicadas con cientos de Gb de RAM y varias tarjetas gráficas.

Durante el segundo paso se obtienen también los mapas de profundidad de cada fotografía que pueden ser reutilizados por el mismo software o exportados con diversos propósitos. Las mallas poligonales obtenidas se muestran en tres acabados distintos: con un sombreado monocromático, como una malla poligonal (Fig. 67) y con un sombreado en color (Fig. 68), en el que el color se deduce de los valores RGB de los puntos de la nube de puntos densa. En este punto del proceso la malla puede ser mejorada por medio de la eliminación de elementos aislados o el relleno de agujeros. También se puede reducir el número de polígonos de la malla; *PhotoScan* tiende a crear mallas extremadamente densas, con frecuencia de centenares de millones de caras, que los convierten en extremadamente difíciles de manejar. Es por tanto necesario llevar a cabo la operación denominada “*decimate*” para obtener un modelo manejable; por lo general, una reducción al 10% o 15% de la malla original mantiene un nivel de detalle correcto y de una calidad muy similar a la del punto de partida. Para un procesado más complejo es necesario exportar el modelo para su uso en un editor externo.

*PhotoScan Pro* dispone de herramientas avanzadas de gestión de información geográfica. Esto es muy útil para georreferenciar los modelos o para verificar la precisión geométrica de

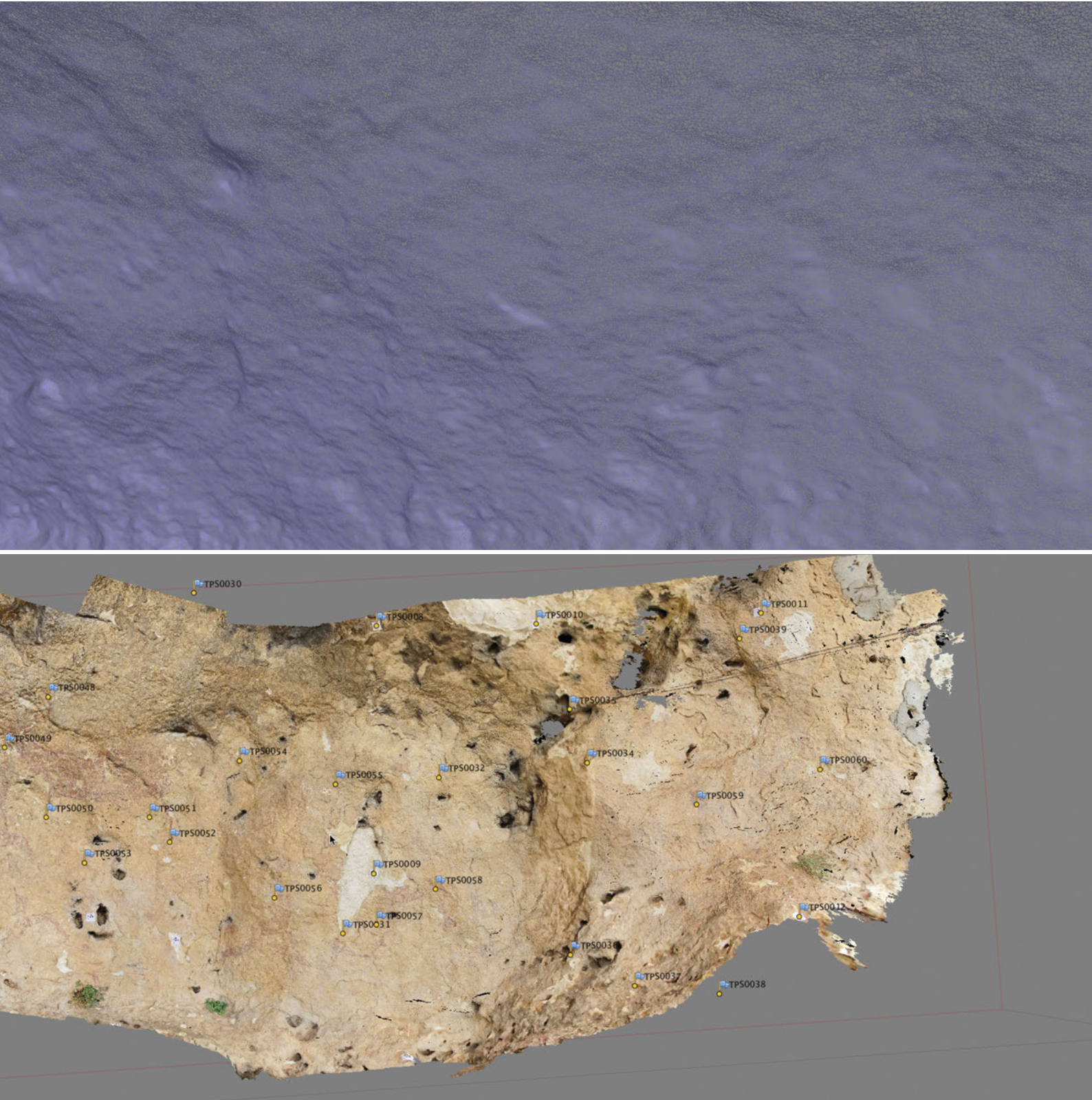
67



68

Figura 67. Malla poligonal generada en un modelo del Abrigo Grande de Minateda. © J. C. Lorente.

Figura 68. Modelo 3D con textura fotorealística del sector central y derecho del panel de Solana de las Covachas, zona III. © J. F. Ruiz



los mismos con respecto a las coordenadas conocidas de un conjunto de puntos de control. Si se van a introducir coordenadas de puntos de control, es recomendable realizar este proceso sobre un modelo de calidad baja o media, ya que al final del proceso de optimización es necesario reconstruir la malla poligonal, por lo que lo más rentable en términos de tiempo es no procesar



69

Figura 69. Capturas fotográficas con trípode para realizar un modelo 3D mediante *VisualSFM*. © E. Quesada

los modelos a una alta resolución hasta que la malla se ha optimizado. *PhotoScan* puede reconocer automáticamente la posición de puntos de control, dianas generadas por el propio software, a través del conjunto de imágenes. También se pueden introducir de manera manual la posición de otros puntos de control de coordenadas conocidas, para las que el software identifica su posición en todas las fotografías. Las coordenadas se introducen a través de una interfaz de importación que acepta varios formatos, y pueden ser conocidas previamente (accidentes geográficos) o haber sido capturadas por medio de procedimientos topográficos como una estación total. Una vez que el modelo ha sido optimizado y se ha verificado la precisión de la escala, se procede a reconstruir la malla poligonal a la resolución final deseada.

El último paso consiste en la creación de la textura fotográfica. *PhotoScan* comienza parametrizando la superficie del modelo y dividiéndola en fragmentos más pequeños que finalmente se fusionan a partir de las fotografías para formar un atlas de textura. Ofrece varias opciones de texturizado que permiten buscar la mejor combinación para obtener la textura óptima y al nivel de resolución deseado. El nivel máximo de resolución depende de la tarjeta gráfica usada; para una tarjeta de menos de 2 Gb de RAM dedicada el límite se sitúa alrededor de 16.000 píxeles.

El modelo 3D referenciado, renderizado y texturizado se puede exportar a diversos formatos estándares o propietarios. En

nuestro caso, los modelos se exportan en formato .ply a una resolución entre 10 y 25 millones de polígonos para la comparación 4D, y en el mismo formato a una resolución máxima de 2 millones de polígonos para su visualización web o en tablets. También se puede exportar la nube de puntos densa, los modelos digitales de elevación deducidos de los mapas de profundidad, y una ortofoto.

Las ortofotos generados con *PhotoScan Pro* son el producto a partir del cual se ha trabajado en el SIG realizado con *ArcGIS 10*. *PhotoScan Pro* cuenta con varias funciones y parámetros para generar las ortofotos y la resolución de la misma. En nuestro caso, hemos usado siempre los mismos puntos de control y la misma resolución de pixel para obtener ortoimágenes similares y comparables en el SIG.

El archivo de los modelos 3D se realiza en el formato nativo .psz, y en formatos estándares como .ply (*Polygon File Format* o *Stanford Triangle Format*) y .dae (Collada, formato de intercambio 3D basado en XML). Estos archivos los acompañamos de ficheros de metadatos que permiten una adecuada descripción del objeto documentado, y del producto digital obtenido.

### 3.1.3. Utilización en el proyecto. *VisualSFM*

*VisualSFM* (Wu, 2013) es una herramienta de código abierto diseñada por el ingeniero Changchang Wu, en base a sus trabajos previos entorno al ajuste Bundler multinúcleo o *Multi-core Bundle Adjustment* (Wu et al., 2011) así como en diversos proyectos de otros autores.

Como casi todos los procesos de Structure from Motion, el flujo de trabajo con *VisualSFM* se divide en 4 fases:

- 1 · Detección de características por cada imagen aportada. Esto se realiza con las herramientas SIFT o *Scale-Invariant Feature Transform* (Lowe, 1999).
- 2 · Las características de cada imagen son cotejadas con el resto, para localizar los puntos comunes entre pares de imágenes.
- 3 · Basándose en los puntos comunes entre pares de imágenes se realiza la reconstrucción espacial mediante el ajuste Bundler con los algoritmos del propio autor (Wu et al., 2011). Esto dará lugar a un modelo de nube de puntos disperso.
- 4 · A partir del modelo disperso, se procesan el resto de imágenes para crear la nube densa a partir de las herramientas CMVS (*Clustering Views for Multi-view Stereo*) (<http://www.di.ens.fr/cmvs/>) y PMVS (*Patch-based Multi-view Stereo Software*) (<http://www.di.ens.fr/pmvs/>) de Yasutaka Furukawa.

Opcionalmente se puede contextualizar el modelo en un sistema de coordenadas mediante la asignación de puntos de control o *Ground Control Points*, que nos permitirá, en procesos posteriores comparar modelos que estén ocupando un mismo espacio geográfico con herramientas del tipo *CloudCompare*.

Dado que *VisualSFM* solo genera nubes de puntos dispersas o densas, el resto de procesos asociados a la virtualización, como la texturización, deben ser realizados con otros programas como *Meshlab* (<http://meshlab.sourceforge.net/>).

*Meshlab* es otro proyecto de código abierto que nos permite procesar nubes de puntos y datos provenientes del ajuste Bundler. *Meshlab* se ha usado para:

1. Reconstrucción de superficies a partir de la nube densa. Este proceso se realiza por el conocido algoritmo de Poisson (Kazhdan et al., 2006) que generará una maya de polígonos a partir de la nube de puntos densa.
2. Aplicar una textura UV, o mapa de textura. Este proceso utilizar los datos del ajuste *Bundler* y las imágenes 2D de partida, para generar la textura del modelo.



#### 3.1.4. Captura de imágenes para fotogrametría digital

Un aspecto crucial del proceso es la calidad de las fotografías en las que se basa el modelo 3D fotogramétrico. En nuestro proyecto se han contemplado tres aspectos clave: la planificación de la escena, los parámetros óptimos de cada fotografía y por último, la gestión del color. La planificación de la toma de una escena es fundamental, ya que es lo que garantiza que el objeto documentado ha sido cubierto por un número suficiente de imágenes. En fotogrametría de objeto cercano se recomienda que entre foto y foto horizontal haya un solape mínimo del 60% (Matthews, 2007) y se considera óptimo un 80% de solape. En vertical se recomienda un solape mínimo del 20% (ibid.), aunque la experiencia lo sitúa alrededor del 40%. En el caso de *PhotoScan Pro* la recomendación del fabricante (*Agisoft LLC*, n.d.) y de diversos especialistas (Plets et al., 2012b; 2012a; Verhoeven, 2011; Verhoeven et al., 2012) es que para fotografiar una escena plana, como un friso con escaso relieve, se realicen desplazamientos laterales a diferentes alturas paralelos al plano del objeto documentado, mientras que si la escena presenta una morfología más compleja se recomienda que se describa una ligera curva alrededor del objeto para que las fotografías cuenten con un mayor grado de convergencia. En el caso de un objeto mueble, de un accidente topográfico o de un yacimiento arqueológico se recomienda en ocasiones utilizar un desplazamiento circular en bandas convergentes hacia el cenit de la semiesfera teórica descrita. En el caso del arte rupestre, nuestra experiencia indica que es recomendable fotografiar al menos un 20% extra



70



71

fuera de los límites de interés del abrigo o panel, para garantizar una adecuada cobertura de todo el relieve, y la utilización de un mástil para cubrir con fotografías cenitales las superficies horizontales que en determinadas escenas podrían no ser cubiertas con las habituales fotografías frontales. En todo caso, se debe recordar que las fotografías no deben tomarse con un ángulo de menos de 45° con respecto al objeto documentado.

Una estrategia complementaria para la captura de imágenes que favorece la calibración por parte del software de las distorsiones de las imágenes consiste en realizar fotografías en franjas horizontales y verticales como se ha indicado más arriba, añadiendo en cada posición una fotografía girada 90° hacia la derecha y otra 90° hacia la izquierda (Matthews, 2007: 44). Este procedimiento puede producir una cobertura muy detallada aunque con proyectos con muchas imágenes puede multiplicar considerablemente la potencia de proceso necesaria y el tiempo usado para completar el modelo 3D.

La distancia de la cámara al objeto determinará el grado de detalle final; cuanto más cerca se sitúe la cámara habrá un campo de visión menor y, en consecuencia, serán necesarias más fotografías, lo que redundará en un mayor nivel de precisión geométrica y en una mayor calidad de la textura fotográfica. Otros factores a considerar respecto al nivel de detalle son la focal del objetivo y la resolución del sensor de la cámara.

Las fotos se pueden tomar a mano o sobre trípode, dependiendo de la capacidad del fotógrafo de evitar el movimiento y la trepidación, aunque en general es recomendable usar un trípode para garantizar la máxima calidad de las imágenes. En cualquier caso, es un factor a tener en cuenta ya que

Figura 70. Fotografías con escala *XRite ColorChecker* en el sector III de Cueva del Mediodía. © J. Pereira.

Figura 71. Utilización práctica de técnicas de control colorimétrico en Cañiaca del Calar II. © J. Pereira

las condiciones óptimas de iluminación son las de una luz tenue y uniforme, sin sombras y sin luces fuertes, lo que en general viene a coincidir con abrigos en sombra; en estas condiciones las exposiciones pueden ser demasiado largas como para que la fotografía se realice sin trípode.

Los modelos 3D se pueden realizar con una calidad razonable por los procedimientos descritos con casi cualquier cámara fotográfica, no obstante, es recomendable usar una máquina réflex de calidad con un sensor con un número elevado de megapíxeles, y una buena óptica que no produzca una distorsión elevada. La configuración de la cámara debe ser constante durante una sesión de captura de fotos; parámetros como la longitud focal, la apertura y el ISO deben ser los mismos desde que se inicia hasta que se dispara la última foto de una escena. De este modo se evita que las entidades homólogas cambien su apariencia geométrica o su iluminación, lo que puede dar lugar a reconstrucciones erróneas. No obstante, en ocasiones la combinación de diferentes focales puede producir buenos resultados en *PhotoScan Pro*, mientras que en *VisualSFM* no supone un problema, ya que el software fue concebido para utilizarse con fotos obtenidas con cámaras diferentes.

Para *PhotoScan Pro* la recomendación es usar una focal fija de 50 mm, o equivalente en el caso de usar una cámara con formato APS-C, ya que es la calibración por defecto que usa el programa. No obstante, no es un problema usar otra longitud focal, como un gran angular de 17 mm o de 24 mm, ya que el software calibra la lente siempre que las imágenes mantengan los metadatos EXIF originales. La apertura determina la profundidad de campo, de la que depende que superficie de la fotografía se encuentra en foco. Los elementos bien enfocados son emparejados con mayor facilidad por el software y producen menos ruido y distorsiones. Para una escena general una buena apertura de diafragma es  $f/8$ , pero es recomendable  $f/11$  para tomar fotografías a corta distancia, debido a su mayor profundidad de campo. La sensibilidad del sensor de la cámara a la luz se regula con el parámetro ISO; en las capturas fotogramétricas se suele buscar una solución de compromiso entre un incremento de la luminosidad en condiciones de baja iluminación, o de sombra, y la aparición de ruido. En las cámaras réflex actuales el ruido puede ser inapreciable hasta un ISO 800 o incluso más, lo que facilita mucho el trabajo fotográfico. Las fotografías se toman en formato raw, aunque para su procesado deben ser reveladas en .tiff o preferentemente en un .jpeg sin pérdida.

La gestión de color es otro aspecto crítico para conseguir una documentación fotogramétrica fiel a la escena u objeto (Pereira, 2012a). En nuestro caso, hemos seguido los criterios y principios desarrollados por uno de nosotros (Pereira, 2013a; 2013b; 2012a; 2012b; 2012c), que garantizan una representación tonal fiel y un elevado grado de precisión colorimétrica. Para ello, es necesario partir de las imágenes *raw*. El flujo de trabajo se inicia incluyendo una escala de color en la captura fotográfica de una sesión; dependiendo de las circunstancias puede ser suficiente con fotografiarla una vez, o se puede llegar a fotografiar la escala antes de cada imagen definitiva. El mínimo exigible es realizar un buen balance de blancos, en caso de que no se disponga de una escala de color tipo *XRite ColorChecker Passport* o *QpCard 203*. El revelado se realiza con *Adobe Camara Raw*, con el que se produce un archivo .DNG (*Digital Negative*) (Pereira, 2012c) que es abierto y procesado por el software de perfilado *ColorChecker Passport*, lo que da como resultado un perfil DCP (*Adobe Camara Profile*) (Pereira, 2013a).

Los perfiles de cámara DCP, trabajan esencialmente en el aspecto cromático del color, o sea, el tono y no tienen efectos sobre los aspectos acromáticos como luminosidad o cromatismo, de ahí



que cuando se aplica un perfil de cámara a un revelado, los cambios muchas veces sean mínimos, en comparación a los perfiles de color ICC, donde las transformaciones del color, o al menos de la apariencia de la imagen suele ser mucho más radical (ibíd.).

Los perfiles de cámara por tanto no encierran en si mismos todo lo necesario para una buena corrección del color de una imagen, siendo necesario recurrir a ajustes relacionados con el mapeo tonal, es decir, el diseño de una curva tonal adecuada. Las curvas tonales, con frecuencia llamadas simplemente “curvas”, nos permiten ubicar cada tono o conjunto de ellos en su lugar adecuado de forma que nuestra imagen se muestre coherente, o sea, evitando que las altas luces no sean medias luces, que las medias no sean bajas, etc... Para el control tonal de nuestra escena, es preciso usar escalas de grises, cuñas de grises o escalas tonales, o sea, una escala donde dispongamos de una secuencia de parches neutros tal y como puede ser la escala de grises de nuestras *ColorChecker Passport* como hemos usado en nuestro caso (Fig. 64 y 65). La curva de ajuste tonal corrige, por tanto, los ajustes acromáticos, derivados de errores de exposición o reproducción tonal relativa a la luminosidad, sobre los que no actúa el perfil DCP (Pereira, 2013b).

Conocidos los valores de referencia de los parches de la escala de grises de cada *ColorChecker* mediante un espectrofotómetro *ColorMunki* y usando el script *TRC4ACR*, diseñado por José Pereira y disponible para descarga gratuita en su web (<http://www.jpereira.net/TRC4ACR>), que transforma los valores de un determinado espacio RGB en los valores de referencia de cada parche, lo que produce una nueva curva de ajuste tonal con nuevos valores de entrada-salida para cada uno de los parches (Pereira, 2013b). Por último, se debe realizar un control de calidad que permita estimar la precisión colorimétrica por distancia entre colores ( $\Delta E$ ) y evaluar la reproducción tonal (OECF) (Pereira, 2012b; 2012d).

Tras todo ello se procede al revelado raw para obtener los archivos jpeg con los que trabajan *PhotoScan Pro* o *VisualSFM*. En este revelado no debe introducirse ninguna corrección de distorsión de lente, ya que distorsionaría la información contenida en los archivos EXIF e impediría que *PhotoScan Pro* evaluase adecuadamente las homologías. Un último factor a controlar es el de un aumento del ruido durante el revelado como consecuencia de un enfoque o microenfoco excesivo en *Adobe Camera Raw*.



### 3.2. FOTOGRAFÍA GIGAPÍXEL

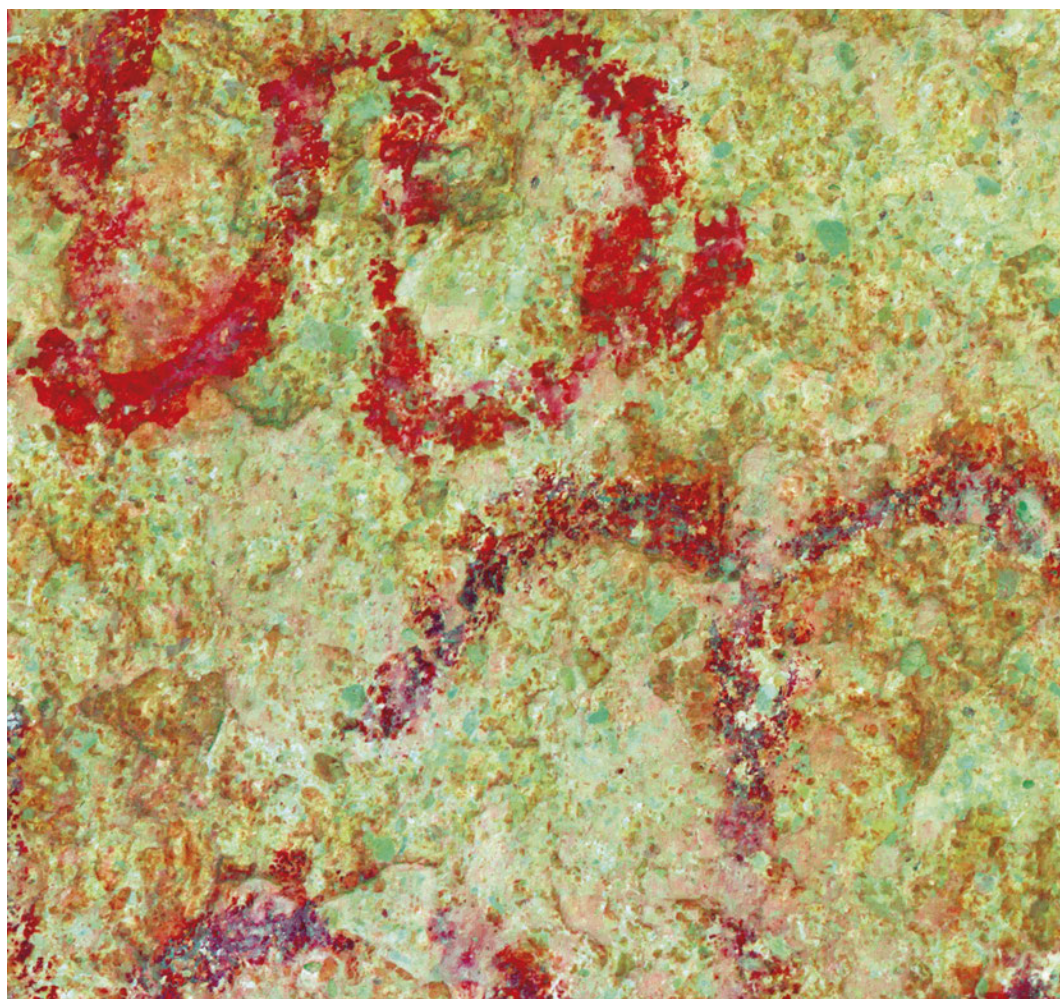
En nuestro proyecto se han registrado fotografías gigapíxel de los paneles con pinturas y de los entornos en los que se enclavan los abrigos. En el caso de las pictografías esta documentación aporta una imagen continua de muy alta resolución que muestra el estado de la superficie de los paneles en un momento determinado del tiempo. Además, esta fotografía continua gigapíxel es la base utilizada para detectar la localización de pictografías mediante la aplicación de técnicas de descorrelación. Por último, esperamos investigar las posibilidades de usar estas imágenes para detectar cambios superficiales por procedimientos automatizadas basados en los principios de “*computer vision*” o visión artificial.

#### 3.2.1. Definición de fotografía gigapíxel

Por definición, la fotografía gigapíxel es una imagen de mapa de bits compuesta por al menos de 1.000.000.000 de píxeles, es decir 1.000 veces el número de píxeles de una imagen de



72



73

1 megapíxel, o un giga. Estas imágenes de resolución ultra-alta se obtienen a partir de sensores especiales o del emparejamiento de fotografías de resoluciones inferiores. Este último es el procedimiento habitual y se basa en la captura de un mosaico de imágenes solapadas por una cámara digital montada sobre una rótula panorámica, su acoplamiento mediante un software específico que se basa en *computer vision*, que finalmente produce la reconstrucción de una imagen continua de resolución gigapíxel.

En la actualidad, existen en el mercado cabezales robóticos que facilitan enormemente la captura de las matrices o mosaicos de fotos necesarios para componer una imagen gigapíxel o multigigapíxel a partir de fotos individuales más pequeñas. Estos cabezales vienen a sustituir a las rótulas panorámicas nodales con las que se puede conseguir similares resultados pero en las que es necesario realizar complejos cálculos para determinar el número de imágenes del panorama, la cobertura de cada imagen y su solape. Entre los cabezales robóticos hay varias alternativas; en el mercado profesional las mejores opciones son *GigaPan Epic Pro* y *Kolor PanoGear*, ambas concebidas para su utilización con cámaras réflex y capaces de soportar las elevadas cargas de una cámara de alta resolución y un teleobjetivo largo profesional. *GigaPan* también fabrica cabezales robóticos para máquinas más ligeras como el *GigaPan Epic 100* y el *GigaPan Epic*.

Figura 72. Un instante durante la realización de una fotografía panorámica gigapíxel en el barranco del Buen Aire. © J. Pereira

Figura 73. Detalle de una fotografía gigapíxel de Cueva del Mediodía transformada mediante DStretch. © E. Quesada



74

Este tipo de imágenes está comenzando a incorporarse a la panoplia de técnicas al servicio del arte rupestre. Todavía son pocas las referencias publicadas (Mark y Billo, 2011) pero no cabe duda que su utilización se está extendiendo muy rápidamente.

### 3.2.2. Fotografía gigapíxel en el proyecto 4D · arte rupestre

En el proyecto 4D · arte rupestre hemos usado cabezales robóticos *GigaPan Epic Pro*, sobre los que hemos montado cámaras *Canon EOS 5D Mark II* y *Canon EOS 7D*, equipadas con objetivos *Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM*, *Canon EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM*, *Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM* y *Canon EF 35 mm f/1.4 L USM*, dependiendo del propósito de la escena. Algunos de los panoramas han sido generados a partir de más de 250 imágenes de 18 Mp de resolución, lo que da como resultado imágenes de entre 4 y 7 Gp.

El cabezal *GigaPan Epic Pro* puede ser configurado con multitud de parámetros, incluyendo la posibilidad de realizar exposiciones múltiples destinadas a la obtención de imágenes en HDR. Puede capturar panoramas circulares de 360°, con un rango de movilidad en ejes entre -65° y 90°. Admite configurar el tiempo entre exposiciones, definir el tiempo de enfoque, detener la captura, ordenar las imágenes por filas y columnas, e incluso programar la fecha y hora de inicio del panorama. La precisión del movimiento es muy elevada, oscilando entre 0,12° de inclinación y 0,36° en rotación lateral. La rótula *GigaPan Epic Pro* se instala sobre un trípode sólido y se sitúa en una posición adecuada para cubrir el panorama deseado (Fig. 72); antes de empezar la captura de imágenes se requiere seleccionar el punto de origen (esquina superior derecha) y el punto de terminación (esquina inferior izquierda), así como configurar el FoV (*field of view*, o campo de visión) del objetivo utilizado en la focal deseada, y la cantidad de solape entre imágenes deseada. Se debe procurar que la configuración de la cámara cuenta con una buena profundidad de campo, que el enfoque sea consistente a lo largo de todo el panorama y que las condiciones de iluminación sean uniformes. Para la gestión del color es necesario incluir una toma con una escala de color. Una vez definidos estos parámetros el cabezal robótico comienza la captura de

imágenes, desplazándose tras cada disparo a la siguiente posición, hasta alcanzar la última de ellas. En caso de que se observe algún error es posible repetir cualquiera de las imágenes del panorama o incluso volver a fotografiar el panorama completo.

### 3.2.3. Procesado de las imágenes

La composición del panorama se realiza por medio de software especializado que utiliza los principios de la visión artificial y algoritmos como SIFT. La visión artificial o *computer vision* es un campo de la informática que incluye métodos para la adquisición, procesado, análisis y comprensión de imágenes digitales para producir información numérica o simbólica que le permite tomar decisiones de acuerdo a un fin. Aplicaciones de la visión artificial son el emparejamiento de imágenes para generar modelos 3D, la detección y reconocimiento de objetos en fotografías, o la identificación de características comunes en fotografías tomadas desde perspectivas diferentes.

Paquetes de software comercial como *GigaPan Stitch EFX*, *Autopano Pro* o *Autopano Giga*, o gratuitos como *GigaPan Stitch*, se encargan de realizar el encaje entre imágenes a partir de la utilización de algoritmos de *computer vision* como SIFT (*Scale-invariant feature transform*) que se encargan de detectar y describir características locales de una imagen e identificar la misma en un conjunto de fotografías con un encuadre distinto. En nuestro caso las imágenes fueron procesadas mediante *Kolor Autopano Giga 3*, probablemente la mejor opción existente en la actualidad, basada en el algoritmo SIFT para el reconocimiento de similitudes entre imágenes. Las posibilidades que ofrece este software son amplísimas, y proveen al usuario de una interfaz muy sencilla para ejecutar procesos muy complejos. Las opciones de configuración son muy amplias, abarcando desde la calidad de la detección de similitudes hasta el número de puntos de control por imagen; también permite seleccionar diversos perfiles de optimización, utilizar herramientas de corrección de lente, elegir entre diversas proyecciones geométricas para renderizar el panorama, ajustar la gamma, exposición y color, o seguir diferentes estrategias para la fusión final de todas las fotografías.

El flujo de trabajo es muy simple. *Autopano Giga* permite seleccionar una carpeta con imágenes y procede a detectar las relaciones entre ellas para generar uno o más panoramas. De los panoramas detectadas ofrece una previsualización de alta calidad que permite comprobar el resultado y escoger entre los numerosos ajustes disponibles. Por lo general, el usuario debe escoger un tipo de proyección dependiendo de la escena y debe decidir sobre las opciones relativas al color final del renderizado. *Autopano Giga* ofrece nueve proyecciones distintas y la posibilidad de cambiar el punto de vista del observador o definir líneas que deben aparecer rectas en la imagen renderizada.

El resultado de la detección de similitudes entre imágenes ofrece unos valores matemáticos. El nivel de encaje entre imágenes se considera óptimo si es inferior a 5 RMS (*root mean square*, o media cuadrática es la raíz cuadrada de la media de las raíces cuadradas de las distancias), ofreciendo diversas posibilidades para optimizar la relación entre las imágenes y mejorar el cálculo del RMS. Valores superiores a 5 RMS pueden estar causados por errores de paralaje en el momento de tomar la foto, mala identificación del punto nodal del conjunto de rótula y objetivo, defectuosa corrección de las distorsiones de la lente.

Una vez que se ha dado por válido el resultado se procede a su renderizado, operación que dependiendo del tamaño del panorama puede llevar varias horas. Finalmente, el programa permite guardar el resultado final en formatos como .jpg, .tif, .psd o .psb, entre otros, cada uno con sus propias particularidades o con sus limitaciones de tamaño; el formato .jpg no admite resoluciones superiores a 30.000 píxeles en ninguna de las dimensiones de la imagen, lo que suele ser limitado para este tipo de panoramas; los formatos .tif y .psd están limitados a un tamaño máximo de 2 Gb, aunque determinados tipos de software puede producir y visualizar tamaños superiores. También se puede elegir si la imagen es de 8 bits, o de 16 ó 32 bits.

### 3.2.4. Descorrelación de imágenes *DStretch*

Nuestro proyecto se centra en el análisis de las alteraciones sufridas a lo largo del tiempo por los paneles y las pictografías de las estaciones analizadas. Es una obviedad que para determinar en que medida y con que frecuencia se deteriora una pintura rupestre resulta imprescindible verla, algo que por lo demás no siempre pasa. Hay muchos factores de conservación que afectan al modo en que una pictografía se ve en la actualidad, desde los naturales, como los diversos tipos de pátinas y biofilms presentes en un panel, a los antrópicos; precisamente, la necesidad de hacer visibles las pinturas más desvaídas llevó durante años a humedecer la roca con cualquier líquido e incluso a frotar su superficie, algo que incrementa el contraste temporalmente pero que activa o reactiva procesos de disolución de sales que suelen conllevar la formación de una costra todavía más gruesa que la existente antes del mojado. Afortunadamente esta práctica está cada vez más en desuso, y diversas tecnologías están contribuyendo a lograr niveles de mejora de la visibilidad similares de modo no invasivo; nos referimos a la fotografía infrarroja, ultravioleta o multispectral y a las técnicas digitales de descorrelación de imágenes. En el proyecto 4D-arte rupestre se ha usado *DStretch*, un *plug-in* gratuito del software basado en el lenguaje Java, *Image-J*, debido a su facilidad de uso y a los buenos resultados que suele ofrecer para trabajos con pinturas rupestres. La utilización de este software pretende servir como herramienta de contraste de la situación actual de las pictografías en comparación con los calcos realizados por otros investigadores años atrás. Además constituirá una forma de incrementar la utilidad de las fotografías gigapixel de los paneles, ya que permitirá identificar con facilidad donde se encuentran las pictografías al profano.

El software *DStretch* fue desarrollado específicamente para su uso con pinturas rupestres, y consigue mejorar la visualización de pinturas casi desaparecidas o directamente invisibles al ojo humano. Es, por consiguiente, una herramienta muy útil y está alcanzando una notabilísima difusión y repercusión entre los investigadores del arte rupestre (Domingo et al., 2013; Gunn et al., 2010; Medina et al., 2012; Quesada, 2008).

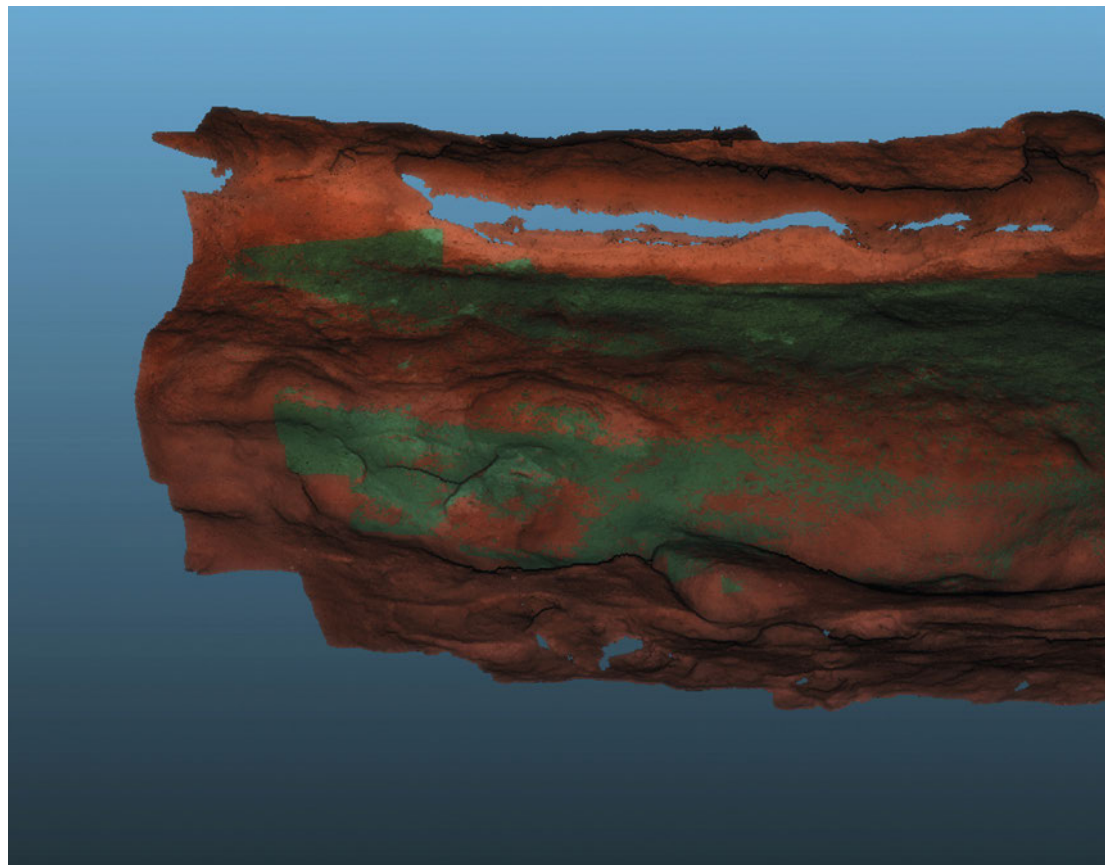
La matriz de datos RGB de una fotografía digital es el punto de partida de las descorrelación realizada por *DStretch* (*Decorrelation Stretch*, lo que se puede traducir como estiramiento o enfatización de la descorrelación). El algoritmo *DStretch* se basa en la aplicación de la transformada de Karhunen-Loeve (KLT), lo que equivale a decir que su fundamento teórico es el mismo que el del análisis estadístico de componentes principales (PCA) (Harman, 2008). Su autor, Jon Harman, lo describe como la diagonalización de la covarianza o de la correlación de

la matriz de los colores de una imagen (en espacio de color RGB o LAB) dentro de un determinado espacio de color. A partir de ella el contraste de los colores es exagerado para ecualizar sus varianzas, lo que sirve para su descorrelación y expansión a la totalidad del nuevo espacio de color definido. Por último, la transformada inversa es aplicada para devolver los colores a un tono más próximo al original en el espacio de color RGB, pero como falso color de las pictografías. Estas modificaciones generan una imagen de salida con nuevos ejes directores y un número menor de variables, facilitando así el trabajo con los distintos grados de correlación entre ellas (Quesada, 2008). El manejo del programa ofrece botones con espacios de color predefinidos y la posibilidad de generar espacios de color propios, a los que también se les puede aplicar mejoras en los niveles de contraste y saturación.

### 3.2.5. Gigapíxel DStretch

La aplicación del algoritmo de descorrelación *DStretch* pretende hacer fácilmente identificables las pictografías en las imágenes de alta resolución disponibles. Su utilidad es obvia, ya que permite visualizar detalles que de otro modo pasarían desapercibidos en fotografías tan grandes.

*DStretch* puede procesar imágenes .tif de un tamaño que oscila entre 2 y 2,5 Gb. Las limitaciones son impuestas por el software *Image-J* sobre el que corre el *plug-in DStretch*. En ocasiones, ha sido posible ejecutar *DStretch* y generar un espacio de color con el que descorrelacionar una imagen y generar una visualización mejorada de la misma. Sin embargo, para las imágenes gigapíxel de mayor tamaño es necesario generar otro flujo de trabajo. En nuestro caso hemos reconstruido la fotografía gigapíxel mediante el encajado de versiones mejoradas con *DStretch* de las originales en *Autopano Giga*. Para ello es necesario en primer lugar aplicar la misma transformación a todas las fotografías que forman parte de un panorama; la matriz deseada se aplica en modo secuencial a la totalidad de estas imágenes y se guardan como .jpg o .tif. *Image-J* no soporta los metadatos EXIF que contienen las imágenes originales, con lo que al aplicarse la descorrelación, dichos datos EXIF se pierden. *Autopano Giga* usa los metadatos EXIF para agilizar y hacer más precisas las transformaciones geométricas de las imágenes; aunque en ocasiones puede construir el mosaico fotográfico sin esos metadatos, por lo general son imprescindibles. Así pues resulta necesario reintroducir los metadatos en cada una de las fotografías que vayan a formar parte del panorama. Diversos programas o utilidades como *ExifTools* o *ExifPilot* permiten hacer esta tarea de modo manual o automatizado. Finalmente se sigue el mismo proceso utilizado para la realización de una fotografía gigapíxel normal con *Autopano Giga*.



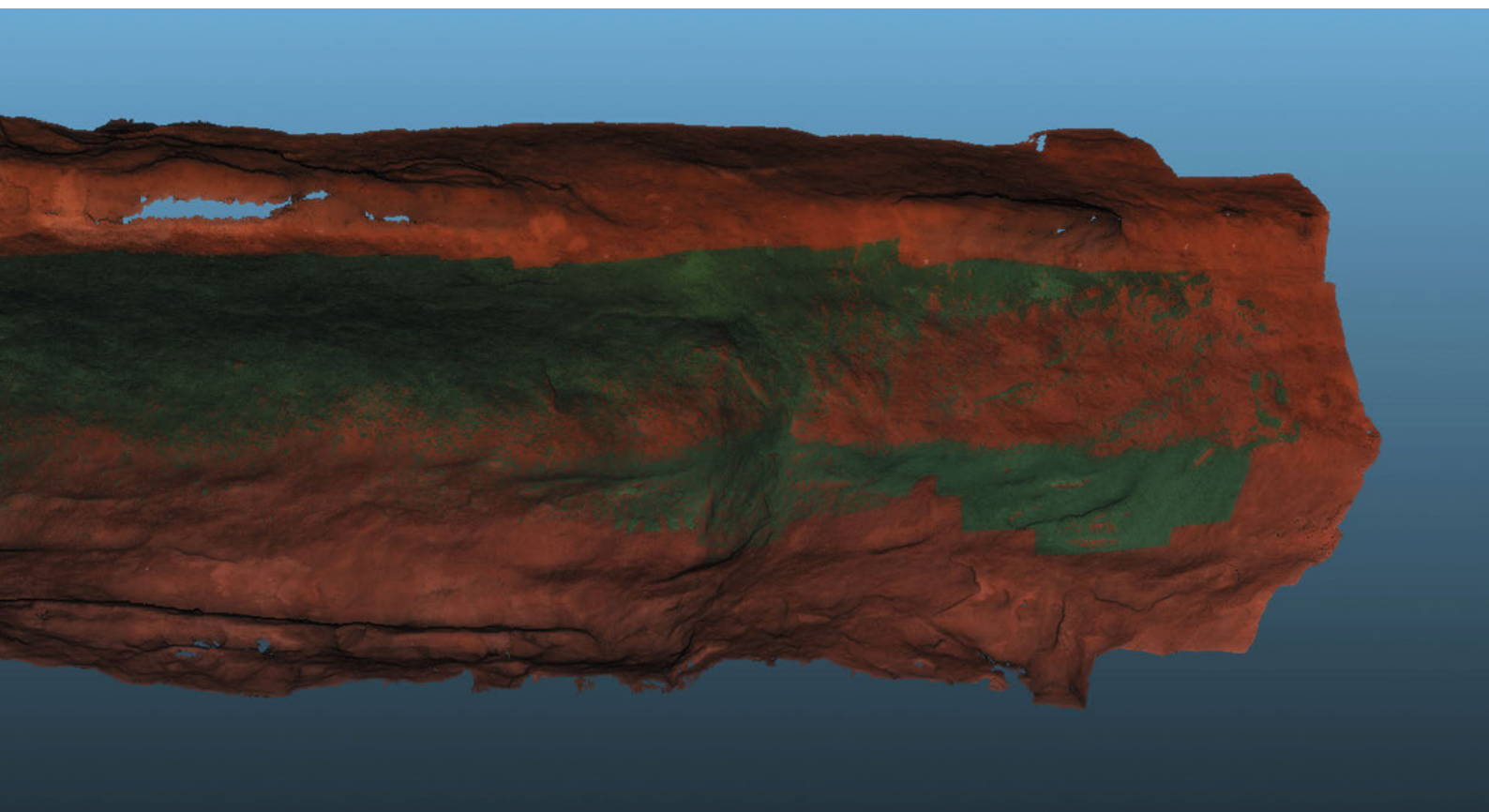
### 3.3. COMPARACIÓN DIACRÓNICA DE MODELOS 3D

Uno de los aspectos claves del proyecto es la capacidad de identificar los cambios o alteraciones que haya sufrido un panel con pinturas rupestres durante un determinado lapso temporal. Es la detección de estos cambios a nivel volumétrico lo que se persigue con la comparación entre los modelos 3D obtenidos en diversos momentos temporales. La identificación de dinámicas de alteración que supongan pérdidas del soporte o de las pictografías permitiría a las autoridades competentes arbitrar medidas correctoras o paliativas. Pero estas capacidades deben ser testadas en profundidad para verificar que la detección de cambios alcanza los niveles de precisión que demandan el control de sitios con arte rupestre del ARAMPI. Los cinco enclaves incluidos en el proyecto han sido el ámbito de experimentación del sistema propuesto.

#### 3.3.1. Monitorización de lugares con arte rupestre

Este planteamiento es cada vez más frecuente en diversas ingenierías, paleontología o en estudios medioambientales, y es un concepto que en los últimos años se está extendiendo a áreas de conservación patrimonial, y en concreto a estaciones con arte rupestre. Las experiencias





75

precedentes llevadas a cabo en diversos lugares del mundo en los últimos años no han tenido el alcance del proyecto 4D-arte rupestre. Barnett et al. (2005) se plantearon la necesidad de usar metodologías 3D (láser escáner) para monitorizar grabados en las islas Británicas, pero su trabajo no pasó de plantear dicha necesidad de la monitorización y de registrar un conjunto de grabados para que los modelos 3D pudieran servir de punto de partida de futuras comparaciones. En Estados Unidos se planteó un proyecto similar en metodología y objetivos para monitorizar los petroglifos de Legend Rock (Wyoming), pero sus resultados no han sido publicados hasta ahora (Loendorf y McClellan, 2008). La última propuesta similar que conocemos consiste en la realización de modelos 3D de pictografías individuales mediante SfM; a partir del modelo 3D se crea un DEM (modelo digital de elevaciones) que es comparado en un SIG para detectar los cambios entre dos momentos temporales (Willis, 2011). Esta propuesta es muy interesante, pero se adapta mejor a pequeños fragmentos de un panel que al control temporal de un panel completo.

En nuestro proyecto, una parte de la monitorización planteada se basa en la comparación sistemática de modelos 3D realizados a lo largo del tiempo, a la que se añade la comparación basada en SIG y en análisis químicos. El punto 0 de la comparativa de los modelos 3D será el primer modelo realizado (campana de enero/febrero), que se compara con el punto 1 (campana de mayo), éste con el punto 2 (campana de julio), y así sucesivamente, de modo que se pueda precisar cuales han sido los cambios de un determinado panel a lo largo del período en que se ha controlado su evolución. Las modificaciones volumétricas se detectan por la comparación entre la disposición de la nube de puntos o la morfología de la malla poligonal de los modelos 3D entre dos hitos temporales

Figura 75. Acoplamiento de dos modelos 3D fotogramétricos del Abrigo Grande de Minateda realizados con *PhotoScan Pro* (© J. C. Lorente) para su comparación mediante *CloudCompare*. © J. F. Ruiz

determinados. Por este motivo, nuestra capacidad de detectar cambios es altamente dependiente de las incertidumbres en la reconstrucción que puedan presentar cada uno de los modelos. El problema fundamental consiste en separar las alteraciones morfológicas acaecidas entre las etapas temporales de las que se puedan identificar como consecuencia de la presencia de ruido.

### 3.3.2. *CloudCompare*

El software utilizado para realizar la comparación entre modelos 3D es *CloudCompare* 2.5, un software destinado a la gestión y comparación de nubes de puntos tridimensionales y de mallas poligonales. Existen muchos software alternativos en el mercado como Geomagic, pero su elevado coste lo hacen prohibitivo. *Cloud Compare* es un software open source (bajo licencia GPL) desarrollado por Daniel Girardeu-Montaut, cuya descarga está disponible para sistemas operativos Windows, Linux y MacOS en <http://www.danielgm.net/cc/>.

*CloudCompare* permite cuantificar la distancia entre los puntos de un par de nubes de puntos con el fin de crear un mapa de falso color que nos permite dejar en evidencia las zonas con una mayor distancia entre modelos de nubes de puntos. Tras calcular las distancias locales entre dos nubes de puntos densas, filtra las medidas de ruido para identificar las auténticas diferencias, e identifica los elementos individuales que han variado entre dos conjuntos de datos. *CloudCompare* acepta archivos 3D en formatos .obj, .ply, .x3d o .pcd entre otros muchos. De ellos extrae la nube de puntos densa y mantiene el resto de atributos del modelo como parámetros que se pueden mostrar u ocultar en función de los requerimientos del análisis. El procedimiento de trabajo consiste en la apertura de los dos archivos que se comparan para su alineamiento. Si los ficheros 3D cuentan con unas coordenadas absolutas de referencia (como en el proyecto 4D) se alinean automáticamente. En caso de que no sea así se pueden seleccionar manualmente puntos de control en ambos modelos que se alinean inicialmente, pero sin gran precisión. En ambos casos es necesario realizar una alineación depurada que registra las similitudes entre las dos entidades y las equipara con un alto grado de precisión definido por un valor delta que puede ajustar el usuario (Fig. 75). Una vez que los modelos han sido alineados es recomendable recortarlos para que los análisis subsiguientes se realicen exclusivamente sobre las partes comunes de ambos; de otra manera, las partes cubiertas en un modelo 3D pero no aquel con el que se compara distorsiona las diferencias y puede hacer inviable la identificación de las variaciones acaecidas.

A partir de ese momento se puede proceder a la comparación. En nuestro proyecto hemos establecido la secuencia lógica lineal de comparar el momento 0 con el momento 1 y mostrar las diferencias positivas (p.ej. desarrollo de vegetación) o negativas (p. ej. pérdidas del soporte) sobre el modelo posterior o estado más reciente del objeto de estudio. *CloudCompare* muestra una previsualización de las diferencias como un mapa de color basado en la distancia de Chamfer, un algoritmo muy usado para la identificación de diferencias entre imágenes. El usuario puede ajustar la distancia máximo entre los modelos y parámetros que determinan la velocidad y rapidez de la comparación. El resultado de la comparación se muestra como un campo escalar en el que se representa la magnitud de la diferencia entre ambos modelos, en nuestro caso, mapeada sobre el modelo del segundo momento de la comparación.

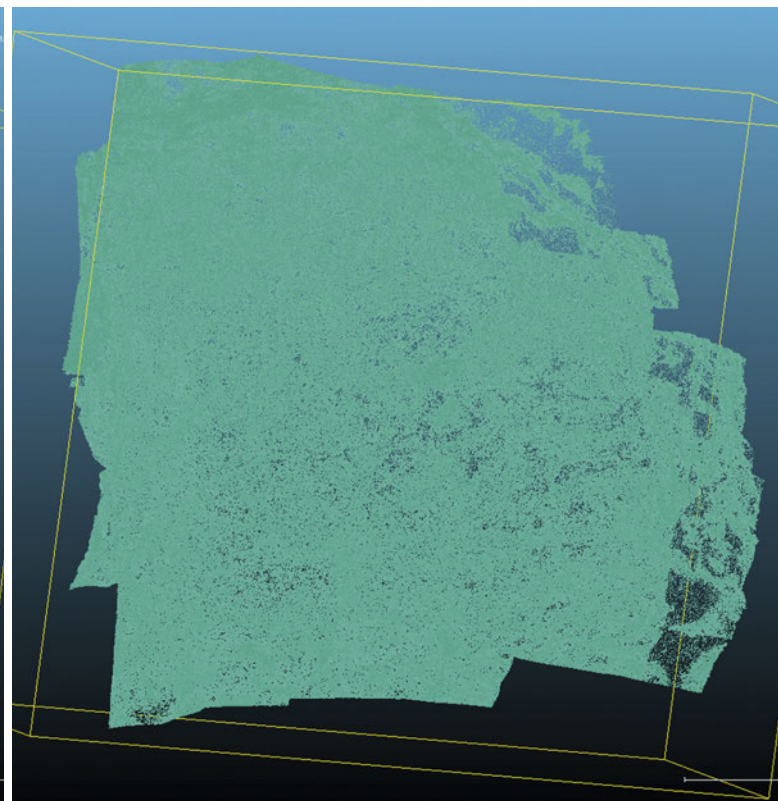
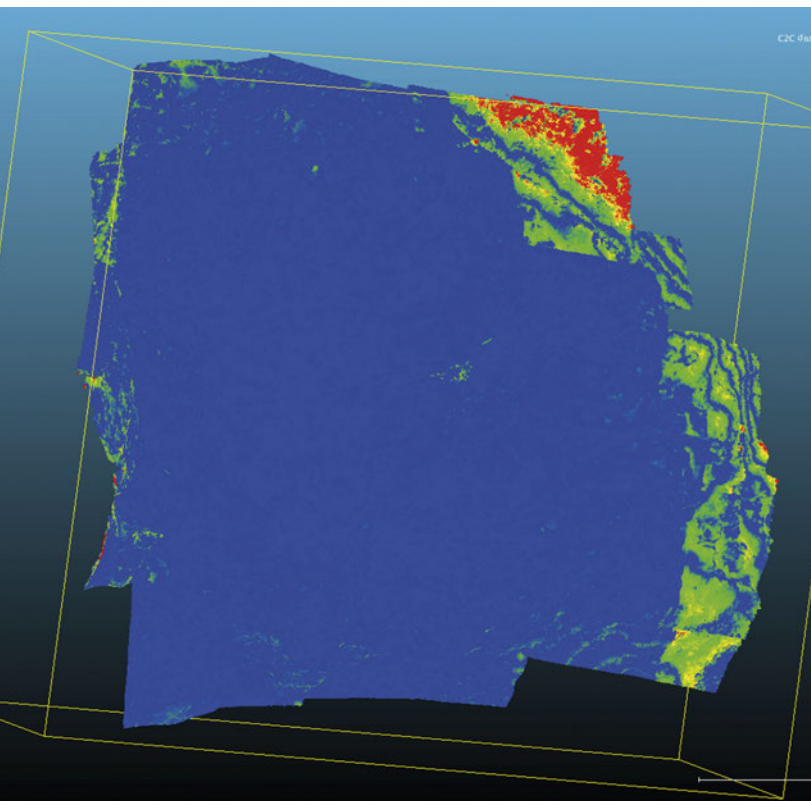
Figura 76. Mapa de falso color comparando dos modelos 3D del sector izquierdo de Solana de las Covachas, zona III. © J. F. Ruiz

Figura 77. identificación de las áreas libres de ruido en el modelo de la Fig. 70. © J. F. Ruiz

Este modelo coloreado con un campo escalar basado en la distancia se puede personalizar variando la escala que se muestra, de modo que se puedan enfatizar las diferencias detectadas. En este punto, puede ser interesante realizar un recorte en las nubes de puntos de ambos modelos centrado en las áreas en las que se muestran diferencias para repetir todo el proceso e identificar con mayor precisión que cambios se han detectado.

El campo escalar es la base para la realización de los test estadísticos que permiten diferenciar entre ruido de los modelos y cambios reales. Se basa en la realización de una prueba de  $\chi^2$ . La prueba se aplica a cada punto del histograma del campo escalar con sus  $n$  vecinos, siendo  $n$  uno de los parámetros del algoritmo. Con el  $\chi^2$  se compara este histograma con una distribución teórica basada en dos parámetros, como  $\mu$  y  $\sigma^2$  en el caso de una distribución normal (Girardeu-Montaut, 2012). La hipótesis que se pretende rechazar con esta prueba es que los valores del campo escalar en la vecindad de cada punto siguen la ley probada, pero no al contrario. De ello se deduce que cuanto menor sea el margen de error, mayor será el umbral del  $\chi^2$ , esto es, rechazaremos con menor frecuencia la hipótesis y clasificaremos menos puntos como que han tenido un cambio real. La distribución teórica puede ser escogida por el usuario entre gaussiana (o normal) o Weibull.

El resultado de la prueba de  $\chi^2$  es un nuevo campo escalar que muestra la concordancia local entre el valor escalado y la distribución testada. De ello se obtiene un umbral (que se calcula a partir del margen de error  $p(\chi^2)$ ) que clasifica los puntos como una función de su no adherencia a la distribución teórica. Típicamente esa distancia clasificada representa la medida del ruido y con ello se obtiene un conjunto de puntos donde la distancia a la otra nube de puntos no se tiene en cuenta por representar valores extraños a la distribución normal o ruido (Fig. 76-77).



A partir de ello se identifican los puntos que realmente han experimentado una variación. Un filtrado de los valores en el campo escalar permite identificar con facilidad la presencia o ausencia de cambios.

Por último, los resultados pueden ser guardados en formato binario .bin, que almacena todas las nubes de puntos y campos escalares que se hayan definido, o se puede exportar la nube de puntos final, con los valores de diferencia deducidos en un formato 3D como .ply u .obj.

### 3.4. SIG 4D

Uno de los principales problemas que presenta el estudio del arte rupestre es que, al contrario del resto de objetos arqueológicos, éste no puede ser llevado al laboratorio para su estudio, por lo que los arqueólogos debemos encontrar metodologías versátiles que nos permitan registrar en campo información precisa, detallada y calibrada.

En las siguientes líneas presentamos una técnica de documentación diacrónica del arte rupestre prehistórico, mediante la utilización de métodos de detección semiautomática de formas y fotointerpretación de afecciones; utilizando como herramienta principal los Sistemas de Información Geográfica<sup>1</sup>. El primer paso consiste en el diseño del modelo de datos, es decir, en el proceso de representación de la realidad de forma inteligible para los ordenadores. Éste, en definitiva, no deja de ser un conjunto de reglas para representar la realidad; tal y como afirma Goodchild (1992): "El modelo de datos es un conjunto de reglas para formar representaciones del espacio en un entorno digital y discreto". Es decir, los datos (el espacio geográfico (paraje), abrigo, panel y sus atributos) deben codificarse como entidades discretas.

Tenemos siempre que ser conscientes de que este proceso tiene su origen en los fenómenos de la realidad, que son seleccionados, reunidos y analizados para presentarse en forma de modelo. Por tanto, cuánto más fiables y objetivos sean los datos que empleemos para nuestro estudio, mayor será la viabilidad de nuestro modelo, nuestras cartografías presentadas y por consiguiente, de nuestras conclusiones acerca del estado de conservación/alteración de los abrigos analizados<sup>2</sup>.

#### 3.4.1. Modelo de Datos

Los modelos de datos son un eficaz instrumento en el diseño de bases de datos. Los niveles de abstracción de la arquitectura facilitan su diseño, al proporcionarnos nuevos instrumentos que ayudan a la estructuración, paso a paso, del mundo real hasta llegar a la base de datos

.....  
<sup>1</sup>. Su acrónimo SIG, se refiere a un software específico que permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada a un espacio concreto, conectando además dicha información con un Sistema Gestor de Bases de Datos.

<sup>2</sup>. Hemos intentado ser especialmente cuidadosos con este aspecto, puesto que consideramos que el mal manejo de los SIG puede acarrear resultados erróneos. Por un lado fruto del propio investigador que realiza el trabajo y por otro del mal manejo o falta de especialización en este tipo de herramientas.

física. Consideramos conveniente distinguir entre la fase de modelado conceptual, que es la descripción del mundo real de acuerdo con un modelo altamente semántico e independiente del Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD), y la fase de diseño lógico, en la cual se ha de obtener un esquema que responda a la estructura lógica específica del SGBD (Fig. 78).

#### 3.4.1.1. Definición de elementos

Para que un SIG pueda registrar la realidad, ésta debe ser descompuesta en elementos y atributos.

- Los elementos son las entidades más simples, definidas según nuestras escalas de trabajo, en nuestro caso las diferentes alteraciones documentadas en los abrigos (tabla 1).
- Los atributos o propiedades son las características de los elementos, origen de las alteraciones, tipos de alteraciones según origen.

Durante este proceso, la información que disponemos ha sido ordenada de tal forma que cada entidad, única e inconfundible, se define en función de los valores de sus propiedades (atributos), sus relaciones con otras entidades (topología) y los procedimientos matemáticos que describen a la entidad (geometría).

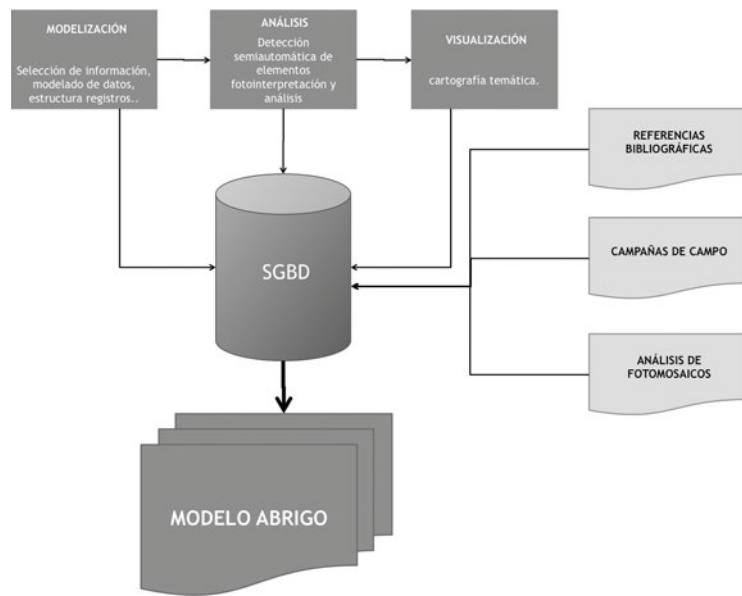
#### 3.4.1.2. Selección de estructura

La espacialidad es el principal atributo de la información analizada, la cual es codificada mediante dos estructuras de datos principales, raster y vectorial. Se diferencian en la forma de representar el espacio y en los elementos que usan para tal fin.

- Modelo vectorial para las capas de afecciones: Las coordenadas de los objetos de los SIG se almacenan en tablas, nuestro caso, al tratarse de superficies poligonales, se archivan el identificador y la cadena de vértices secuenciales cerrados constituyendo una superficie.
- Modelo ráster en el caso de la cartografía base: En los fotomosaicos de referencia el espacio se transforma en un mosaico de teselas regulares.

**TABLA 1. CATALOGACIÓN DE LAS PRINCIPALES ALTERACIONES DOCUMENTADAS EN LOS ABRIGOS CON ARTE RUPESTRE, SEGÚN SU ORIGEN, Y EMPLEADAS PARA LOS MAPEOS SIG DE ALTERACIONES**

Alteraciones de origen físico-químico	Alteraciones de origen biológico	Alteraciones de origen antrópico
Infiltraciones y coladas de agua	Presencia de film de microorganismos	Pintadas
Fisuras y agrietamientos	Presencia de casas y nidos de insectos y otros animales	Manchas provocadas por materiales usados para protección
Desvanecimiento de las pinturas	Raíces o vegetación	Refuerzo de figuras
Descamaciones/Exfoliación de la capa superficial	Excrementos de animales	
Eflorescencia y depósitos de sales		
Manchas de humedad		
Desconchados		
Inestabilidad del soporte		
Suciedades		



78

### 3.4.1.3. Determinación de unidad mínima cartografiable

En el contexto digital, en concreto en el entorno de los SIG, se puede llegar a perder las concepciones de escalas determinadas, que sí son utilizadas en papel. Nosotros hablamos más bien de nivel de resolución, puesto que nuestra base de datos ha sido elaborada en *ArcGIS 10*<sup>3</sup>; permitiéndonos visualizarla a varias escalas. El formato digital e interactivo con el que cuenta nuestra SGBD nos permite ir ampliando y reduciendo el área de visualización, saltando progresivamente entre distintas escalas.

No obstante, de acuerdo al grado de detalle de la información base de referencia y a la capacidad de discriminación de la metodología utilizada, hemos establecido como unidad mínima cartografiable 1 cm<sup>2</sup>; estableciendo este parámetro como el tamaño mínimo que debe aparecer en la vectorización de alteraciones.

### 3.4.2. Unificación de la Información

Uno de los objetivos que nos planteamos al abordar este proyecto era la necesidad de compartir datos entre los diferentes planteamientos metodológicos desarrollados. De este modo, hemos creado una cabecera de metadatos para cada uno de los productos generados en el proceso de trabajo, tanto los fotomosaicos en formato ráster (GeoTIFF) como las fotointerpretaciones de alteraciones en formato vectorial (SHP). Los metadatos aportan al usuario de un determinado recurso la información necesaria para identificarlo, contextualizarlo y conocer sus características básicas.

Los metadatos han sido elaborados según la norma ISO 19115:2003, uno de los estándares más utilizados en la catalogación de documentos, especialmente aquellos que contienen información

Figura 78. Esquema explicativo del modelado y análisis de la información a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG).  
© M. Sebastián

<sup>3</sup> *ArcGIS v.10* (ESRI) es una completa plataforma de información para crear, analizar, almacenar y difundir datos, a la vez que, permite realizar desde el procesamiento básico de las imágenes y datos ráster -reales, digitalización- hasta análisis avanzados -algoritmos de procesamiento de imágenes para distinguir información específica, fusión de imágenes o funciones de digitalización.

espacial. Asimismo, se ajustan al Núcleo Español de Metadatos (versión 1.1), un perfil de metadatos basado en ISO 19115 y diseñado por el Consejo Superior Geográfico para el contexto español.

El uso de estos estándares internacionales conlleva un “acuerdo común” entre agentes implicados en el funcionamiento y explotación de sistemas de información (bases de datos, repositorios documentales, infraestructuras de datos espaciales, etc.), garantizando la interoperabilidad entre diferentes sistemas, entendiendo por interoperabilidad la capacidad de intercambiar información. En concreto, el estándar ISO 19115 aporta la terminología necesaria para describir los datos geográficos; define los elementos de metadatos, aporta un esquema o estructura a seguir y establece un conjunto de procedimientos.

Para su creación hemos utilizado la herramienta *CatMDEdit* (versión 4.6.6), que incorpora los estándares mencionados. Cada cabecera de metadatos se ofrece en dos formatos:

- XML: para su lectura e interpretación por diferentes sistemas informáticos y su potencial inclusión en catálogos distribuidos en Internet.
- HTML: para su presentación en un formato inteligible para cualquier usuario, gracias al uso de una hoja de estilo (en nuestro caso hemos utilizado la que el programa *CatMDEdit* que emplea por defecto: HTML\_TEIDE\_style.css)<sup>4</sup>.

#### 3.4.2.1. Metadatos ortoimágenes

Describimos a continuación cada uno de los elementos de metadatos de las ortoimágenes. La descripción incluye una mención básica a su contenido genérico<sup>5</sup> y la forma en que los hemos cumplimentado para nuestros datos concretos.

- *Identificador de fichero*: nombre del fichero de metadatos. Incluye el nombre de la estación de arte rupestre y la campaña en que se tomaron las imágenes.
- *Idioma*: idioma usado en la elaboración de los metadatos (en nuestro caso el español).
- *Nivel jerárquico*: conjunto de datos al que se refieren los metadatos. Aunque las imágenes están dimensionadas y posicionadas según un sistema de coordenadas locales, al no estarlo respecto a uno propiamente cartográfico, hemos optado por asignarles la categoría “Conjunto de datos no geográficos”.
- *Contacto*: persona u organización responsable de la información presente en los metadatos, con los datos básicos de contacto.
- *Fecha de creación*: fecha de creación de los metadatos.
- *Norma de metadatos*: nombre de la norma de metadatos utilizada (en nuestro caso, ISO 19115).
- *Versión de la norma de metadatos*: Versión de la norma de metadatos utilizada (en nuestro caso, ISO19115:2003/Cor 1 2006).
- *Información sobre la representación espacial*: modelo de datos según el cual se organiza la información espacial contenida en el recurso. En este caso son imágenes estructuradas según el modelo ráster convencional, consistente en un espacio matricial

<sup>4</sup>. [http://www.geoslab.com/images/stories/dossiers/GeoSLab\\_CatMDEdit.pdf](http://www.geoslab.com/images/stories/dossiers/GeoSLab_CatMDEdit.pdf)

<sup>5</sup>. Para una exposición detallada de los elementos de metadatos remitimos a las normas que los definen: ISO 19115:2003 y Núcleo Español de Metadatos (NEM v1.1).

bidimensional, con un número determinado de filas y columnas que generan celdas. La resolución espacial, esto es, el grado de detalle capaz de registrar la imagen, viene dada por el tamaño de celda, expresado mediante la longitud del lado.

- *Información de identificación:* información básica para el reconocimiento y contextualización del recurso. Hemos incluido los siguientes elementos:
  - ▶ *Mención:* nombre del recurso. Incluye el nombre propiamente dicho (título) y la fecha de creación del recurso. El título, al igual que el identificador del fichero, está formado por el nombre de la estación de arte rupestre y la campaña en que se tomaron las imágenes. Como fecha de creación se ha asignado la de la toma de las fotografías en campo.
  - ▶ *Resumen:* descripción del contenido del recurso. Se ha incorporado la siguiente información: mención de la estación de arte rupestre y de sus coordenadas UTM (Datum ETRS89, huso 30 Norte), campaña de trabajo de campo en que se tomaron las imágenes.
  - ▶ *Punto de contacto:* personas y organizaciones relacionadas con el recurso. Hemos incluido el autor, editor, propietario, conservador y distribuidor.
  - ▶ *Formato del recurso:* formato del fichero digital. En este caso, los fotomosaicos están almacenados en formato GeoTIFF (versión 1.0), idóneo para información ráster referenciada espacialmente.
  - ▶ *Descripción de palabras clave:* términos utilizados para indicar las categorías con las que se relaciona el contenido del recurso. Las palabras clave pueden seleccionarse de un tesoro, esto es, una lista controlada de términos relacionados entre sí en virtud de su semántica. La selección de un término concreto dentro de un tesoro comporta la selección automática de sus términos padre, esto es, aquellos de significado más genérico que incluyen al primero. Para el caso que nos ocupa hemos utilizado los siguiente términos:
    - Pintura rupestre: procedente del Tesoro de la UNESCO. Acompañado de sus términos padre (Cultura, Artes visuales, Bellas Artes, Pintura, Pinturas).
    - Arte rupestre levantino: sin tesoro asignado.
    - Conservación de los bienes culturales: procedente del Tesoro de la UNESCO. Acompañado de sus términos padre (Cultura, Política y planificación culturales).
    - Municipio donde se ubica la estación de arte rupestre: procedente del tesoro *European Territorial Units*. Acompañado de sus términos padre: país, comunidad autónoma y provincia de pertenencia del municipio.
    - Topónimo de la estación de arte rupestre y del paraje donde esta se ubica: sin tesoro asignado.
  - ▶ *Idioma:* idioma usado en los datos (en nuestro caso el español).
    - *Categorías de temas:* categoría temática genérica a la que pertenece el contenido del recurso. En nuestro caso se ha seleccionado “Sociedad”, por ser la categoría que incluye la arqueología.



- *Información del contenido*: forma en que se presenta la información. En este caso se hace mención al carácter de imagen en color real, formada por los tres canales rojo, verde y azul (RGB).
- *Información sobre la calidad de los datos*: descripción de la calidad de la información contenida en el recurso.
  - ▶ *Ámbito*: datos a los que se aplica la información de calidad de los datos. Se asigna la misma categoría del elemento Nivel jerárquico: “Conjunto de datos no geográficos”.
  - ▶ *Linaje*: información sobre el proceso de generación de los datos. Incluye la siguiente información: una breve explicación del proceso de elaboración del fotomosaico, características básicas de la cámara fotográfica utilizada en la toma de imágenes, fecha y hora de la captura de imágenes.

#### 3.4.2.2. Metadatos documentación de alteraciones

Enumeramos a continuación cada uno de los elementos de metadatos de las capas vectoriales relativas a la fotointerpretación de las alteraciones. Al igual que en el caso anterior incluimos una mención básica a su contenido genérico y la forma en que los hemos cumplimentado para nuestros datos concretos.

- *Identificador de fichero*: Nombre del fichero de metadatos. Incluye el nombre de la estación de arte rupestre y la campaña en que se tomaron las imágenes a partir de las cuales fotointerpretemos las alteraciones.
- *Idioma*: Idioma usado en la elaboración de los metadatos (en nuestro caso el español).
- *Nivel jerárquico*: Conjunto de datos al que se refieren los metadatos. Aunque los ficheros están dimensionados y posicionados según un sistema de coordenadas locales, al no estarlo respecto a uno propiamente cartográfico, hemos optado por asignarles la categoría “Conjunto de datos no geográficos”.
- *Contacto*: Persona u organización responsable de la información presente en los metadatos, con los datos básicos de contacto.
- *Fecha de creación*: Fecha de creación de los metadatos.
- *Norma de metadatos*: Nombre de la norma de metadatos utilizada (en nuestro caso, ISO 19115).
- *Versión de la norma de metadatos*: Versión de la norma de metadatos utilizada (en nuestro caso, ISO19115:2003/Cor 1 2006).
- *Información sobre la representación espacial*: Modelo de datos según el cual se organiza la información espacial contenida en el recurso. En este caso son ficheros estructurados según el modelo vectorial convencional, concretamente de polígonos.
- *Información de identificación*: Información básica para el reconocimiento y contextualización del recurso. Hemos incluido los siguientes elementos:
  - ▶ *Mención*: Nombre del recurso. Incluye el nombre propiamente dicho (título) y la fecha de creación del recurso. El título, al igual que el identificador del fichero, está formado por el nombre de la estación de arte rupestre y la

campana en que se tomaron las imágenes. Como fecha de creación se ha asignado la de la toma de las fotografías en campo.

- ▶ *Resumen:* Descripción del contenido del recurso. Se ha incorporado la siguiente información: mención de la estación de arte rupestre y de sus coordenadas UTM (Datum ETRS89, huso 30 Norte), campana de trabajo de campo en que se tomaron las imágenes, origen y subtipo de las alteraciones.
- ▶ *Punto de contacto:* Personas y organizaciones relacionadas con el recurso. Hemos incluido el autor, editor, propietario, conservador y distribuidor.
- ▶ *Formato del recurso:* Formato del fichero digital. En este caso, las capas vectoriales están almacenados en formato SHP (versión 10), idóneo para información vectorial referenciada espacialmente.
- ▶ *Descripción de palabras clave:* Términos utilizados para indicar las categorías con las que se relaciona el contenido del recurso. Las palabras clave pueden seleccionarse de un tesoro, esto es, una lista controlada de términos relacionados entre sí en virtud de su semántica. La selección de un término concreto dentro de un tesoro comporta la selección automática de sus términos padre, esto es, aquellos de significado más genérico que incluyen al primero. Para el caso que nos ocupa hemos utilizado los siguiente términos:
  - Pintura rupestre: Procedente del Tesoro de la UNESCO. Acompañado de sus términos padre (Cultura, Artes visuales, Bellas Artes, Pintura, Pinturas).
  - Arte rupestre levantino: Sin tesoro asignado.
  - Conservación de los bienes culturales: Procedente del Tesoro de la UNESCO. Acompañado de sus términos padre (Cultura, Política y planificación culturales).
  - Municipio donde se ubica la estación de arte rupestre: Procedente del tesoro *European Territorial Units*. Acompañado de sus términos padre: país, comunidad autónoma y provincia de pertenencia del municipio.
  - Topónimo de la estación de arte rupestre y del paraje donde esta se ubica: Sin tesoro asignado.
- ▶ *Idioma:* Idioma usado en los datos (en nuestro caso el español).
- ▶ *Tipo de representación espacial:* Forma en que se presenta la información. En este caso se hace mención al carácter vectorial de esta y a la resolución espacial, esto es, el grado de detalle capaz de registrar la imagen. La resolución espacial viene dada por la unidad mínima cartografiable, es decir, el objeto más pequeño identificable en la fotointerpretación.
- ▶ *Categorías de temas:* Categoría temática genérica a la que pertenece el contenido del recurso. En nuestro caso se ha seleccionado “Sociedad”, por ser la categoría que incluye la arqueología.
- ▶ *Información sobre la calidad de los datos:* Descripción de la calidad de la información contenida en el recurso.

- ▶ *Ámbito*: Datos a los que se aplica la información de calidad de los datos. Se asigna la misma categoría del elemento Nivel jerárquico: “Conjunto de datos no geográficos”.
- ▶ *Linaje*: Información sobre el proceso de generación de los datos. Incluye la siguiente información: una breve explicación del proceso de identificación de las alteraciones, así como el fichero de fotomosaico sobre el que se ha realizado.

### 3.4.3. Métodos y Fases de Trabajo

Para alcanzar el objetivo principal de este trabajo, consistente como ya hemos dicho en el desarrollo de una metodología para la documentación de alteraciones presentes en los paneles de los abrigos con arte rupestre, se han estructurado en tres las principales líneas de actuación.

#### 1. Exploración y reconocimiento en campo.

Análisis y evaluación de los paneles in situ, mediante el trabajo de campo. Elaboración de fichas y croquis.

Adquisición de fotografías de detalle de las principales alteraciones documentadas.

#### 2. Preparación de los fotomosaicos para su fotointerpretación:

Marcar puntos principales y coordenadas de dianas, de este modo, hemos relacionando los fotomosaicos entre sí mediante sus puntos homólogos.

Delimitar el área útil para fotointerpretar los fotomosaicos. Hacia la parte superior e inferior de todos los fotomosaicos se han trazado rectas del recubrimiento común en todos los fotomosaicos de un mismo abrigo.

Se han orientado los fotomosaicos para ser observados desde un mismo punto de vista.

#### 3. Análisis cualitativo y semicuantitativo de las estaciones pintadas:

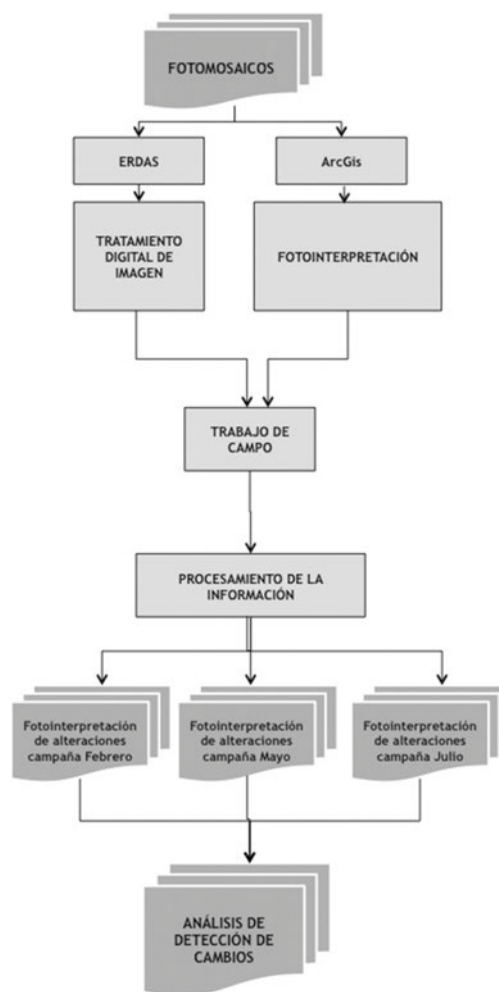
Identificación de alteraciones del soporte de las pinturas mediante métodos de análisis de la imagen digital –en nuestro caso los fotomosaicos-. Principalmente, hemos procedido al realce de imágenes, para tratar de disponer mejor los datos y resaltar aquellos valores de interés.

Fotointerpretación o reconocimiento de alteraciones a través de la identificación de los diferentes componentes del panel y su localización relativa. Hemos tenido en cuenta los siguientes elementos de los fotogramas:

3.a. *Tamaño*, referido en sus dos dimensiones (coordenadas planas). No obstante, este elemento nos ha generado ciertos problemas, ya que el tamaño de un objeto observado en fotomosaicos de campañas diferentes variaba en función del punto de vista y las sombras generadas en la toma de datos.

3.b. *Forma*, nos ha servido principalmente para ayudarnos a delimitar las clases dentro de las alteraciones y en algunos casos (desconchados, grietas...) nos ha permitido su clara identificación.

3.c. *Tono y color*, estos dos tipos de elementos nos han servido a la hora de fotointerpretar los fotomosaicos de una campaña concreta, pero no han resultado



79

de utilidad para el análisis diacrónico ya que, los fотомосаicos fueron tomados en diferentes franjas horarias y en estaciones diversas, por lo que los valores de tono no son equiparables entre los fотомосаicos de una misma estación.

3.d. Textura, al igual que la forma, hemos utilizado este elemento tanto para identificar tipos y subtipos de alteraciones, cómo para delimitar su área.

#### 4. Determinación del estado de conservación de los paneles:

Cartografiado de las alteraciones físico-químicas, biológicas y antrópicas.

Análisis y control diacrónico de los procesos de alteración.

##### 3.4.3.1. Determinación del estado de conservación de los paneles

**Fase 1: cartografiado de las alteraciones físico-químicas, biológicas y antrópicas.**

Para llevar a cabo el cartografiado de las alteraciones documentadas en el panel a lo largo de las tres campañas, hemos utilizado los software de *ERDAS 2010* y *ArcGIS 10* (ver diagrama de flujo, Fig. 79).

Tal y como se puede observar en el diagrama de trabajo, por un lado hemos aplicado procedimientos de realce y mejora de imágenes, para obtener mayor discriminación entre las

Figura 79. Diagrama de flujo relativo al proceso de trabajo realizado en el SIG para la determinación de los cambios a lo largo del tiempo. © M. Sebastián

entidades del panel. Posteriormente, con las propiedades de los fotomosaicos ajustadas, hemos procedido al tratamiento de la información ráster a través de *Geostatistical Analyst* y su posterior conversión semiautomática en polígonos vectoriales (utilizando para ello *ArcScan*). Pero como ya hemos dicho en el apartado anterior, debido a las condiciones diversas en la toma de datos de las diferentes campañas, ha resultado imprescindible y determinante la posterior fotointerpretación de las áreas a través de la digitalización directa en pantalla, la edición de polígonos y por último la catalogación según sus propiedades en un tipo u otro de afecciones; es decir, pertenencia a una clase concreta (tabla 2).

#### Fase 2: Análisis y control diacrónico de los procesos de alteración.

El análisis de diferencia de capas, se ha llevado a cabo a través de las herramientas de *Geoprocessing*, que permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios entre fechas. Concretamente la herramienta *Extract* mediante su comando de sustracción nos ha permitido crear polígonos de cambio, de tal modo, que en las zonas estables no se generan polígonos, y en aquellas en las que se haya documentado variación ésta vendrá documentada por su polígono de cambio.

#### 3.4.4. Identificación de las alteraciones según su origen para su tratamiento SIG

La inmensa mayoría de las pinturas rupestres del Arco Mediterráneo, fueron hechas en abrigos o aleros, cuevas de escasa profundidad y afloramientos rocosos, lo que constituye el motivo último de la mayoría de las alteraciones que se pueden documentar en ellos. A este hecho se suma además, la naturaleza del soporte rocoso en el que se inscriben las figuras, mayoritariamente calizas; estas rocas se degradan mediante una serie de mecanismos que a día de hoy, permanecen sin haber sido estudiados a fondo en relación con la conservación de las pictografías, tales como: (i) los mecánicos, (ii) los ciclos de heladas y deshielos, (iii) los de humedad y desecación, (iv) los agentes biológicos, y (v) los agentes químicos, entre otros.

Aunque recientemente han aumentado los estudios interdisciplinarios a este respecto (Ballester, 2003; Domenech, 2005; Clifford, 2010), todavía son escasas las aportaciones sistemáticas de carácter cuantitativo y cualitativo, y muchas veces estos estudios son realizados a posteriori, después de observar ya estados muy avanzados de deterioro. Como en el caso de la Gruta de Lascaux en Francia, donde tras la visita masiva del turismo, fue creado un programa interdisciplinario, involucrando a 40 especialistas de diversas áreas y nacionalidades, con la participación de 25 laboratorios, para investigar los cambios en la atmósfera de la cueva y sus efectos en las pinturas (Sarradet, 1981; Bastian y Alabouvette, 2009) o los estudios, hoy todavía en elaboración, de la Cueva de Altamira, en Cantabria. Pero, este no es el caso de las pinturas pospaleolíticas al aire libre ya que una de las principales diferencias radica en la variabilidad térmica tanto diaria como estacional. Las cavidades profundas se caracterizan por tener un ambiente estable, mientras que las pinturas al aire libre, están sometidas a constantes cambios, principalmente de temperatura.

Por otra parte, los factores que causan el deterioro, actúan o pueden actuar simultáneamente –aunque no necesariamente– de un modo continuo y además, sus efectos muy probablemente no son lineales, lo que viene a complicar su estudio. Todo ello nos hace plantear que posiblemente, lo que hoy podemos observar en los abrigos es una parte pequeña de lo que fue creado

**TABLA 2. RESUMEN DE CONDICIONANTES GEOGRÁFICOS QUE AFECTAN A LOS ABRIGOS (DATOS CLIMÁTICOS DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA). LOS OBSERVATORIOS DE DONDE PROCEDEN LOS DATOS ESTÁN ALEJADOS DE LOS LUGARES DONDE SE HALLAN LAS PINTURAS RUPESTRES; NO OBSTANTE ESTAS MEDIDAS DE HUMEDAD (MÁXIMA Y MÍNIMA REGISTRADA A LO LARGO DEL AÑO) Y TEMPERATURA RELATIVA NOS DAN UN IDEA GENÉRICA DE LOS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS DE LA REGIÓN**

Abrigo	Geología	Tª (max-min)	Humedad (%)	Orientación	Altitud (m)
Solana de Covachas III	Calizas de algas y brechas calcáreas. Mioceno (Aquitaniense-Burdigaliense)	32,5°C/-0,4°C	64	SE	1380
Solana de Covachas VI	Calizas de algas y brechas calcáreas. Mioceno (Aquitaniense-Burdigaliense)	32,5°C/-0,4°C	64	SW	1380
Abrigo del Buen Aire I	Calcarenitas y calizas de algas. Mioceno (Langhiense-Tortonense)	33,6°C/3,9°C	59	S-SE	750
Cueva del Mediodía	Bioalcarenitas. Mioceno (Serravaliense-Tortonense inferior)	33,6°C/3,9°C	59	E	840
Cañaica del Calar II	Calizas de algas y brechas calcáreas. Mioceno (Aquitaniense-Burdigaliense)	32,5°C/-0,4°C	59	S	1160
Abrigo Grande de Minateda	Bioalcarenitas. Mioceno (Serravaliense-Tortonense)	33,6°C/3,9°C	64	S	480

por los hombres prehistóricos. Los factores naturales, son su principal causa de deterioro, pero los factores antrópicos en las últimas décadas han desencadenado un mayor desestabilización de su ambiente, trayendo consigo un rápido aumento del deterioro. La visita desordenada, sin una previa preparación del sitio, contribuye al agravamiento de la degradación: (i) la presencia humana en el sedimento arqueológico provoca un aumento del número de partículas en suspensión en el aire, que se acumulan sobre las pinturas; (ii) el hábito de mojar las pinturas, para obtener mejor contraste visual, acentúa la aceleración de la formación de capas de carbonato de calcio sobre la superficie, entre otras cosas; (iii) la palpación de las representaciones rupestres puede provocar alteraciones físico-químicas; (iv) la acción de vándalos dejando sus huellas o la deposición de basura en los abrigos rocosos, las pintadas hechas con carbón, tiza, arcilla, tinta y las incisiones irreversibles, que alteran estéticamente los paneles, pueden también desencadenar procesos físico-químicos indeseados.

Antes de entrar a describir las alteraciones observadas a diversas escalas (mm, cm), durante la primera campaña de manera preliminar, es necesario considerar aquellos condicionantes geográficos que afectan igualmente a la conservación de las estaciones rupestres a escala genérica (km):

1. Exposición, orientación e inclinación diferencial, afectadas por gradientes de insolación, temperatura, humedad, viento y salinidad divergentes.

Hemos comprobado que si existe, como en el caso de los abrigos analizados (ver tabla 2), un predominio de orientación Sur/Sureste, por lo general, se acentúa el efecto desecante sobre las superficies ocupables por líquenes o formaciones vegetales (Fig. 80). Tal como señala David (2008), con orientaciones favorables a los vientos alisios, Norte/Noreste, la microcolonización es mayor. De la misma forma que ocurre si el sitio se encuentra vinculado a elementos húmidos específicos, como la presencia de un nacimiento, especies vegetales hidrófilas asociadas, lluvia horizontal, humedad relativa del aire, etc.

2. Los factores de altitud (costa-mediana-cumbre), localización geográfica (umbría/solana) y ubicación específica, influyen también en dicha microcolonización.

Los abrigos localizados en laderas de solana sufren procesos distintos que aquellos que se encuentran en la ladera de umbría. En las primeras los veranos serán favorecidos

**Figura 80.** Efecto desecante del sol sobre la vegetación (Abrigo de Cañaica del Calar II). © J. Pereira.

**Figura 81.** Costra calcítica originada sobre el panel (Solana de las Covachas III). © J. Pereira

res de los procesos que implican la insolación, mientras que en las segundas durante los inviernos la acción del hielo podrá ser un agente de meteorización importante. Dependiendo de su ubicación podemos distinguir dos tipos de mecanismos de meteorización: (i) shock térmico, es decir la roca se fractura cuando los esfuerzos mecánicos generados superan la su capacidad para resistirlos; (ii) fatiga térmico en cuyo caso los ciclos repetidos de calentamiento/enfriamiento producen fatiga en la roca y ésta, al cabo del tiempo, acaba disgregándose o exfoliándose, dependiendo de la naturaleza de la roca.

Por consiguiente, dependiendo de los coeficientes de dilatación y absorción de los minerales por la acción de los rayos del sol, se producen al calentarse unas diferencias de tensión en su estructura. Por ejemplo, los materiales oscuros absorben más calor que los claros y están expuestos a una mayor actividad física, especialmente en las regiones semiáridas y de alta montaña, en donde las altas variaciones de temperatura día/noche imprimen a las rocas fuertes contracciones y dilataciones, que culminarán a la larga con la generación de fisuras y su fragmentación, proceso conocido como crioclastia. Cuanto más pequeños sean los fragmentos más fácilmente serán transportados por agentes erosivos como el viento.

Por el contrario, los abrigos localizados en umbría son más vulnerables a los efectos del hielo, de este modo, en aquellos paneles en los que se aprecian grietas o fisuras, cuando el agua de lluvia o procedente de los deshielos penetra en el interior de estas grietas, queda sometida a otro efecto expansivo, la gelifración. Dicho de otro modo, cuando la temperatura desciende por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$ <sup>6</sup> el agua existente en la roca, pasa a ser hielo, provocando un aumento de volumen de hasta un 9% y ejerciendo presión en el interior de la grieta. El resultado consiste

.....

6. Cómo ya señalaba Alloza (2012), "No basta una temperatura por debajo de cero grados para producirlos ya que las temperaturas a las que la congelación se produce depende de las características de su red porosa (a menor porosidad, menor heladicidad), del modo en que el agua fluye por ella, de la cantidad de agua (a menor cantidad de agua, temperatura de congelación mas baja) y de la concentración de las sales que lleve en disolución (Hoerle 2006, Saad 2010)".

80



81



82



83

en la descamación del sustrato que tras la rotura culmina con la fragmentación; si la roca es muy porosa como para que el agua pueda empapar bien, entonces su disgregación puede llegar a tener consistencia granular.

3. La propia naturaleza y las características de la roca soporte como la dureza, textura, composición, grado de alteración y conservación.

La mayoría de los sitios incluidos en el proyecto son de naturaleza calcárea. Se trata de rocas cuyo mineral más característico es la calcita o carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) conteniendo también dolomita o carbonato de calcio y magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) y óxidos metálicos de aluminio y hierro. La heterogeneidad es una característica de su composición, debido a su origen detrítico.

No obstante, su proceso formativo puede ser detrítico (formadas por fragmentos procedentes de la erosión de rocas carbonatadas preexistentes) y calizas *sensu stricto* (constituidas por componentes carbonáticos originados primariamente, ya sea por procesos químicos o bioquímicos). (Fig. 81 y 82). Pueden presentar estructura cristalina o amorfa según la variedad de calcita que las forme como mineral principal. Su resistencia mecánica no supera los  $500 \text{ Kg/cm}^2$  y su dureza del orden de 3-4 en la escala de Mohs la posiciona como una roca bastante blanda (aunque con variaciones dependiendo del grado de porosidad, su composición y el tamaño de los cristales).

Su debilidad química es el principal problema que presentan, pues producen eferescencia con los ácidos que la atacan y disuelven. Los agentes atmosféricos generan un efecto importante sobre la piedra ya que, en presencia de humedad, que facilita la





84

combinación química, el  $\text{CO}_2$  forma bicarbonatos cálcicos solubles en agua originando costras que se desprenden disgregando la piedra.

Pues bien, aunque somos conscientes de la influencia del factor geográfico en la conservación o deterioro de los abrigos, resulta difícil a día de hoy plantear investigaciones genéricas que nos permitan comprobar en un período de tiempo razonable su influencia directa sobre los paneles pintados. Como ya señalaba Viles (2001) existe un gran riesgo y dificultad a la hora de compaginar escalas de observación de kilómetros (aquellas que se dan en la naturaleza) con las de rango microscópico y a la inversa. Lo cual no quiere decir que dichos factores geográficos no se deban tener en cuenta para la interpretación de factores y alteraciones localizadas en los distintos abrigos.

Para llevar a cabo una documentación (a escala milimétrica o centimétrica) de las alteraciones existentes en los diferentes abrigos, hemos realizado tanto tareas de documentación y obtención fiable de los datos analizados, recopilación bibliográfica, así como, comprobación y análisis en campo. A partir de las alteraciones observadas las hemos dividido en tres grandes categorías atendiendo a su origen: físico-químico, biológico y antrópico (ver tabla 1).

Apreciamos, casi de manera constante en los abrigos la presencia de desconchados o desplazamientos (Fig. 83), un tipo de alteración producida por la separación de placas paralelas a los planos estructurales o de debilidad mecánica de la piedra debido a cambios de temperatura o humedad, presencia de sales, acción mecánica del hielo, presencia de organismo endolíticos, etc. En ocasiones conlleva un aumento de volumen y, posteriormente, un

Figura 82. Detalle del origen orgánico de composición de las calizas, obsérvese el esqueleto del bivalvo visible sobre el panel de Solana de las Covachas III. © J. Pereira.

Figura 83. Ejemplo de desconchado documentado en el abrigo del Buen Aire I, panel 2 © J. Pereira.

Figura 84. Descamaciones en el abrigo del Buen Aire I, panel 2 © J. Pereira

desprendimiento de la parte superficial de la roca. Cuando el desprendimiento de la capa superficial es de menor profundidad (por debajo de 4 mm), estaríamos en presencia de una separación en escamas (Fig. 84).

Los efectos del agua sobre el soporte también se hacen patentes en los paneles originando tanto manchas de humedad semipermanentes como áreas en las que la erosión química del agua en contacto con la roca, producen coladas calcíticas (Fig. 85).

También hemos documentado degradaciones como lixiviaciones, exfoliaciones, pulvurulencia de la capa pictórica y de la superficie de la roca que, en algunos casos, culminan en pérdidas de material irreparables.

Hemos documentado infiltraciones de agua y eflorescencias (Fig. 87), que además de perturbar visualmente la apreciación de las obras, pueden desde el interior, alcanzar la capa pictórica arrastrando a los pigmentos (Fig. 84, parte superior de la imagen). Por otro lado, la deposición de material particulado, es decir, polvo (Fig. 86) acumulado sobre las pictografías, además de impedir su visualización, puede aportar condiciones ideales para el desarrollo de actividad biológica (Fig. 88).

En muchos casos, hemos observado una capa transparente y delgada de concreción mineral que recubre el arte rupestre, a modo de barniz cubriente, que ofrece una especie de protección natural y al mismo tiempo impide una buena visualización (Fig. 89).

Los filmes microbianos o biofilms, formados por algas, líquenes, hongos y bacterias que crecen prácticamente en todas las rocas expuestas a condiciones atmosféricas variadas, también pueden transformar la composición química y mineralógica de la roca y, en consecuencia, de las pinturas, además de modificarlas visualmente.

Presente en mayor o menor grado apreciamos recubrimientos de diversos tonos (rojizo, gris o negro) que alteran la coloración blancuzca original de la caliza. Su composición es muy variable, pero en la coloración final intervienen diversos procesos entre los que juegan un papel determinante los de tipo biológico (Fig. 90).

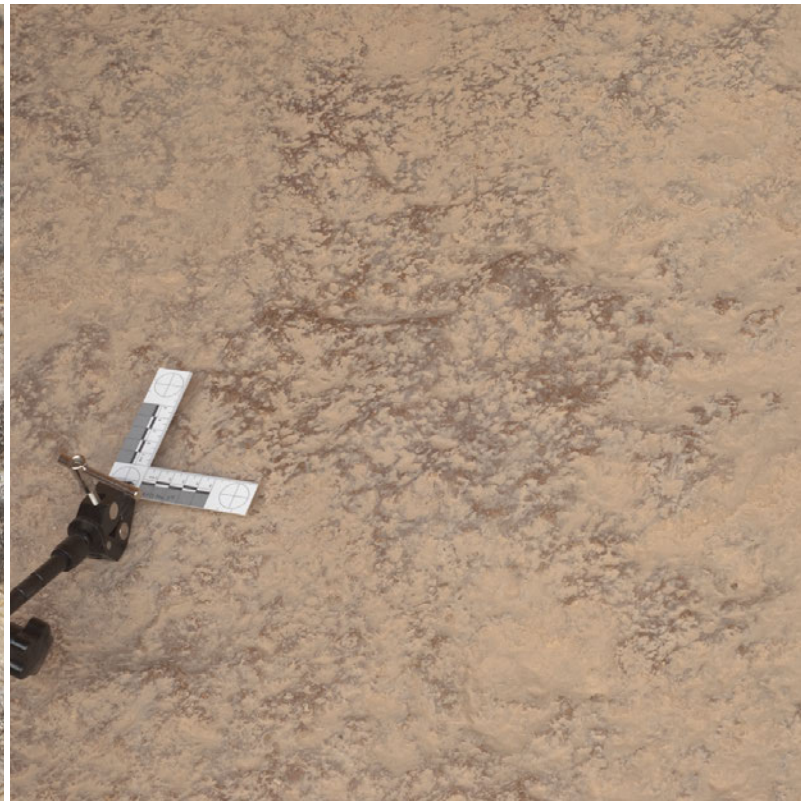
La acción del hombre de forma directa o indirecta, también queda patente en los abrigos. Como factores directos, hemos documentado pintadas (Fig. 91-92), pero también hay registros de manchas de cemento utilizado para la construcción de la protección y la adición de sustancias (por estudiosos o no) para mejorar la visualización de las obras. Como factores indirectos podemos mencionar las pátinas superficiales de contacto directo del hombre y de los animales con la superficie rocosa, originando una capa de recubrimiento superficial principalmente localizada en la plataforma del abrigo.

**Figura 85.** Documentación de erosión química con presencia de coladas calcíticas en Solana de las Covachas VI © J. Pereira.

**Figura 86.** Acumulación de partículas en suspensión sobre los paneles pintados. Ejemplo de Cueva del Mediodía © J. Pereira.

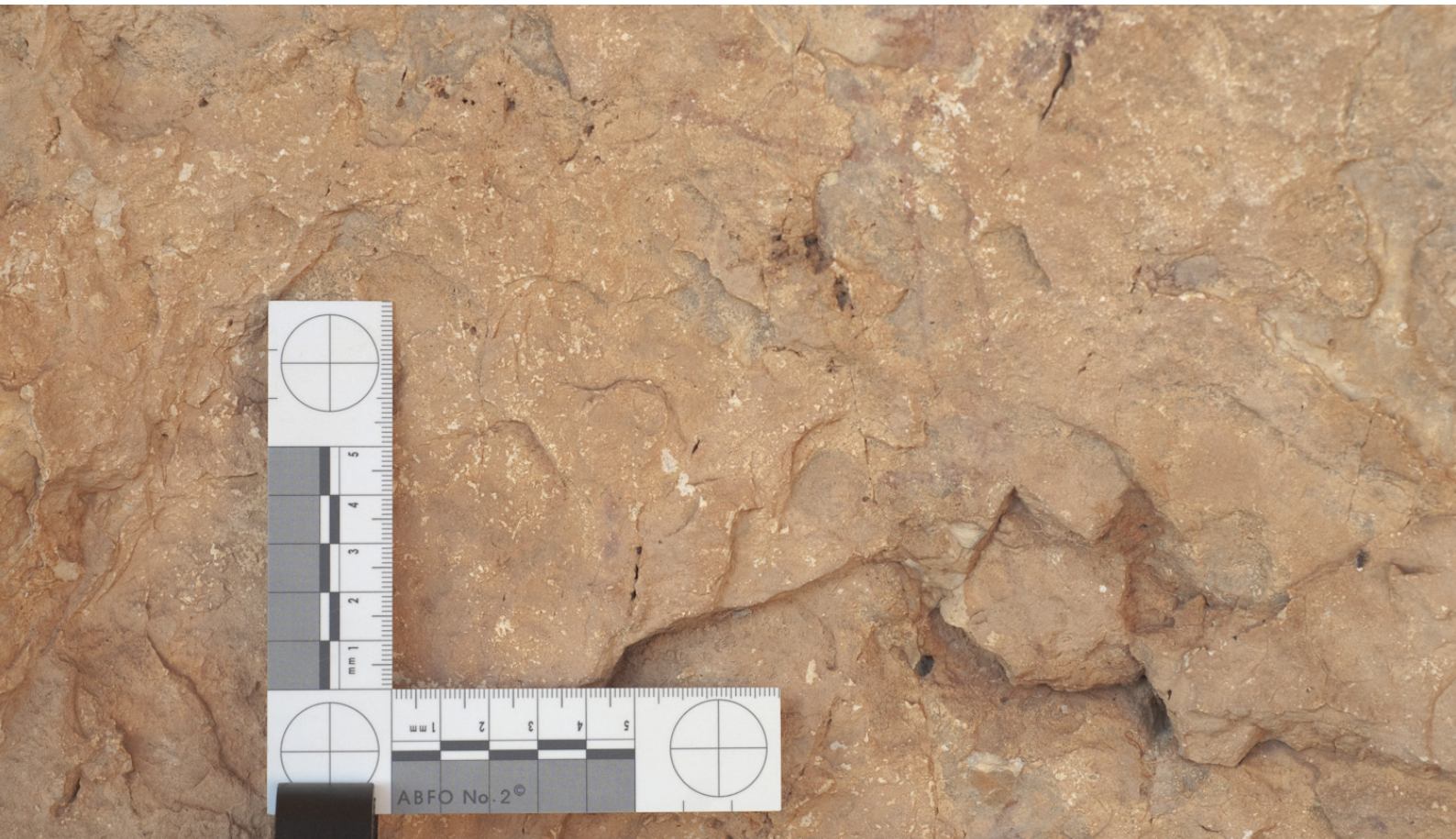
**Figura 87.** Macrofotografía de eflorescencia salina documentada en el abrigo de Buen Aire I. © J. Pereira.

85 86



87

88 a 88 b



89

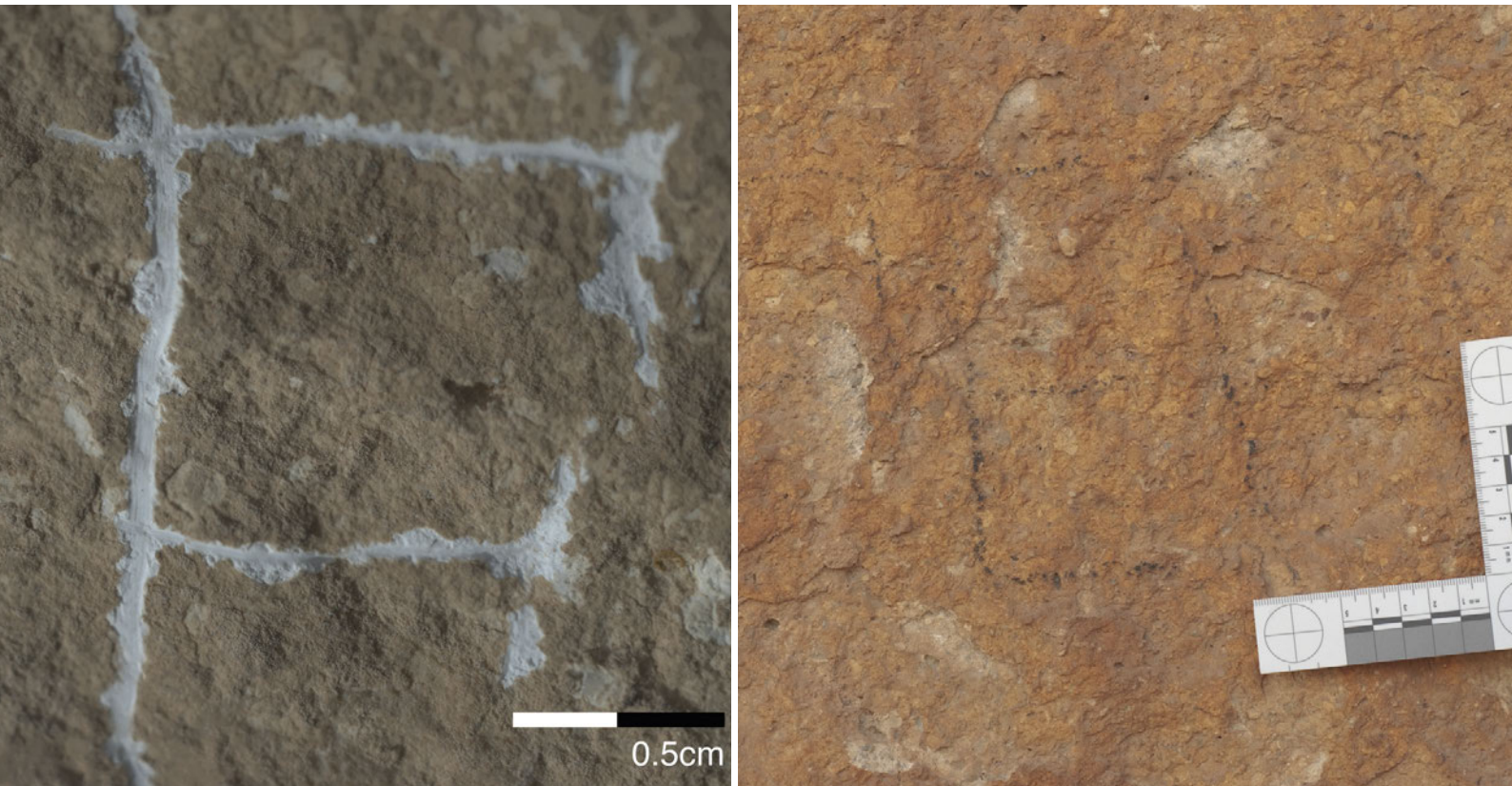
90 a 90 b



Figura 88. Presencia de actividad biológica macroscópica en Cueva del Mediodía, panel 2. Nidos de insectos, identificados en las inmediaciones de las pictografías. © J. Pereira.

Figura 89. Concreción mineral desarrollada encima de las pinturas del abrigo de Covacha de Solana VI. © J. Pereira.

Figura 90. Diferentes tipos de pátinas evidenciadas en el abrigo de Cañaiça del Calar II. © J. Pereira



### 3.5. ESTUDIO GEOLÓGICO DE LOS INDICADORES VISUALES DE ALTERACIÓN

El objetivo principal del presente apartado radica en precisar la composición de algunos de los indicadores visuales de alteración más frecuentes en los abrigos estudiados para intentar determinar los mecanismos de formación de dichas alteraciones.

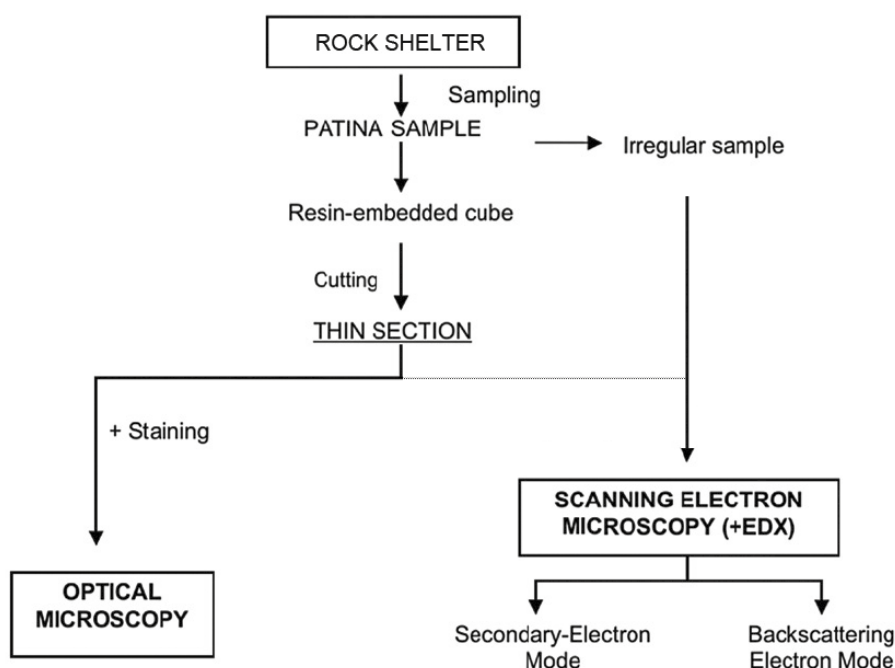
La degradación de los abrigos se manifiesta por diversos cambios de color, aspecto, textura y composición mineralógica y química entre otras, dando lugar a distintas formas de alteración o de deterioro, las cuales se han dividido en tres grandes grupos que a su vez se han subdividido en formas de alteración específicas (Alcalde, 2003):

**GRUPO 1. Modificaciones superficiales.** Manifestaciones superficiales de alteración que afectan esencialmente al aspecto exterior de la roca, que provocan o no modificaciones en el material subyacente. Las formas y/o mecanismos de alteración específicas de este subgrupo son esencialmente de cinco tipos:

- a) Variaciones cromáticas. Entre las que destacamos una pátina anaranjada.
- b) Depósitos. Entre los que se distinguen: i) depósitos superficiales y concreciones; y ii) depósitos de sales.
- c) Costras. Entre las que se diferencian: i) costras negras, en general localizadas de manera muy significativa en los techos de los abrigos y cerca de coladas activas; y ii) costras naranjas, localizadas normalmente en las zonas medias e inferiores de los abrigos.

**Figura 91.** Detalle de un grafiti documentado en el abrigo de Solana de las Covachas III. © J. Pereira.

**Figura 92.** Fotografía macro de pintada realizada en el panel 2 de la Cueva del Mediodía. © J. Pereira



93

GRUPO 2: Eliminación / pérdida de material. Son aquellos indicadores de alteración que suponen una pérdida de material sin formación de agujeros y que son consecuencia de procesos físico-químicos. La forma de alteración específica de este subgrupo es esencialmente de un tipo:

- a) Disgregación. Este mecanismo responde a la pérdida de cohesión intergranular del material debido a la pérdida de unión y caída, espontánea o inducida, de los componentes del material provocando un retroceso superficial del mismo (Ordaz y Esbert, 1988; Esbert et al., 1997). La disgregación corresponde a un estado muy avanzado de descohesión interna.

GRUPO 3. Rupturas y disyunciones. Son alteraciones que implican separaciones de partes que pueden producirse perpendicularmente (rupturas) o paralelamente a la superficie de la roca (disyunciones). Las formas de alteración específicas de este subgrupo son esencialmente de 3 tipos:

- a) Formación de escamas y formación de placas<sup>7</sup> (rupturas).
- b) Formación de fisuras (disyunción).

La metodología seguida para realizar la caracterización químico-mineralógica de los distintos indicadores visuales de alteración (específicamente de pátinas y costras) identificados y diferenciados en los abrigos se muestra en la Fig.93.

De las muestras consideradas más representativas se preparan diferentes micromuestras para así poder caracterizarlas mediante las técnicas instrumentales de análisis siguientes:

- Lupa estereoscópica (MO): para la observación de las muestras a través de la lupa estereoscópica, la sucesión de las capas, la distribución de los constituyentes, la medida, la morfología y la coloración.

Figura 93. Esquema de la preparación de la muestra para el estudio mediante técnicas de microscopía. © Á. Pitarch, (modificado de Vazquez-Calvo et al. 2007)

<sup>7</sup>. Los procesos de alteración relacionados se conocen como descamación y desplazación respectivamente.

TABLA 4. RELACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES SELECCIONADOS PARA SU ANÁLISIS QUÍMICO-MINERALÓGICO

Abrigo	Referencia	Localización en el abrigo	Coloración del recubrimiento
Abrigo Grande de Minateda	AGM001	Franja superior (encima de las pinturas)	Anaranjado
Abrigo Grande de Minateda	AGM003	Franja superior (encima de las pinturas)	Grisáceo
Abrigo Grande de Minateda	AGM005	Franja superior (hacia el techo)	Negruzco
Buen Aire I	BA001	Parte inferior izquierda Panel 1 (bajo las pinturas)	Anaranjado
Buen Aire I	BA003	Franja superior (encima de las pinturas del Panel 1)	Grisáceo
Buen Aire I	BA004	Franja superior (encima de las pinturas a modo de cenefa)	Negruzco
Buen Aire I	BA005	Techo; parte central del panel	Negruzco
Cañaica del Calar II	CC001	Zona inferior izquierda	Anaranjado
Cañaica del Calar II	CC003	Franja central (fuera del área de pinturas)	Anaranjado
Cañaica del Calar II	CC005	Parte superior derecha (fuera del área de pinturas)	Negruzco
Cueva del Mediodía 1	CM001	A la altura del suelo / base del abrigo	Anaranjado
Cueva del Mediodía 1	CM002	Franja central	Anaranjado-grisáceo; muy compacto
Cueva del Mediodía 1	CM003	Zona izquierda, franja central	Anaranjado; aspecto abombado
Solana de las Covachas III	SC001	Franja superior	Negruzco
Solana de las Covachas III	SC002	Altura media	Anaranjado
Solana de las Covachas III	SC003	Base	Grisáceo - anaranjado
Solana de las Covachas VI	SC006	Techo	Negruzco
Solana de las Covachas VI	SC007	Techo	Anaranjado
Solana de las Covachas VI	SC008	Franja central	Grisáceo

- Microscopía óptica de polarización (MOP): a partir de esta técnica se pueden caracterizar las muestras desde el punto de vista petrográfico. Se puede determinar tanto la distribución de los constituyentes, su medida y su morfología como su composición mineralógica.
- Microscopía electrónica de barrido (SEM) acoplado a un espectrómetro de dispersión de energías (EDX): a partir de la microscopía electrónica se pueden caracterizar las muestras, por un lado desde el punto de vista morfológico y, por el otro, desde el punto de vista químico-mineralógico.

### 3.5.1. Muestreo

Los días 8, 9, 10, 11 y 12 de Noviembre de 2013 se procede a realizar el análisis visual y la revisión del estado de conservación de los abrigos. Durante esta campaña de campo, se comprueba el avanzado estado de deterioro de los abrigos, en especial de Solana de las Covachas VI.

Las muestras extraídas, 36 en total, que se detallan en los mapas de campo, incluyen:

- muestras de soporte rocoso de los distintos abrigos;
- muestras de recubrimientos superficiales.



En este estudio, tan solo se han tratado aquellos indicadores visuales de alteración que conlleven una modificación superficial<sup>8</sup> de las paredes del abrigo.

A partir de la observación visual y del reagrupamiento por tipologías se analizan de manera detallada distintas muestras representativas. En este sentido, se han seleccionado un total de 18 muestras para la descripción químico-mineralógica detallada teniendo en cuenta la tipología asignada a partir de sus características organolépticas y su localización en los abrigos.

En la Tabla 1 se presenta la selección de muestras de recubrimientos superficiales analizados indicando el número de muestra, la localización de extracción y la tipología asignada.

### 3.5.2. Instrumentación y métodos

La descripción organoléptica y determinación preliminar de la distribución de los constituyentes, la medida, la morfología y la coloración de los recubrimientos superficiales de las muestras, así como la descripción microscópica y caracterización mineralógica de las láminas delgadas se ha llevado a cabo en el Instituto de Ciencias de la Tierra “Jaume Almera” (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) mediante una lupa estereoscópica LEICA y mediante un microscopio óptico de polarización LEICA DM 4500P (Leica Microsystems) equipado con cuatro objetivos (2.5x, 5x, 10x, 20x, 50x y 63x) respectivamente. Las microfotografías se han realizado con una cámara LEICA DFC 295. El software de captación de imágenes es el Leica Application Suite Version 3.5.0.

La caracterización químico-mineralógica se ha llevado a cabo en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad Autónoma de Barcelona mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido EVO<sup>®</sup> MA10 (Carl ZEISS) acoplado a un detector EDX INCA x-act / Penta<sup>®</sup> FET Precision (Oxford Instruments). Las condiciones de medida son las que siguen:

- bajo vacío
- voltaje de 20 kV
- corriente del haz de 90  $\mu$ A
- intensidad de la corriente de 300 pA
- distancia de trabajo de  $\sim$ 7 mm

Para la descripción petrográfica de los soportes rocosos se ha definido un modelo de ficha tipo con los campos siguientes (modificado de Gómez-Gras, 1999):

- Referencia.
- Clasificación: según Dunham (1962) de acuerdo con la textura deposicional de las calizas y según Folk (1959, 1962) de acuerdo con su madurez textural.
- Microfotografías.
- Componentes texturales:
  - ▶ Granos (o componentes aloquímicos): partículas sedimentarias que han sido transportadas y que soportan la carcasa del sedimento:
    - Esqueléticos: moluscos, algas, equinodermos, etc.

.....  
<sup>8</sup>. Alteraciones que se manifiestan por la formación de una cobertura o corteza exterior endurecida de naturaleza química y mineralógica parcial o totalmente diferente del sustrato.

- No-esqueléticos: oolitos, pelets, etc.
- Detríticos.
- ▶ Matriz:
  - Composición y medida de grano.
- ▶ Cemento: producto de la precipitación química de especies minerales (aragonito, calcita, calcita magnesiana, etc.) en la porosidad a partir de los fluidos que circularon por los agujeros intersticiales de la roca.
- ▶ Porosidad: parámetro que mide el porcentaje de espacios vacíos en la roca (puede tener diversos orígenes).

Para la descripción petrográfica de las pátinas se ha definido además un modelo de ficha tipo con los campos siguientes (modificado de Vázquez-Calvo et al, 1999):

- Microfotografías: imágenes de detalle al microscopio óptico de polarización en nicoles paralelos (NP) o nicoles cruzados (NC).
- Clasificación del sustrato: según Dunham (1962) y Folk (1959, 1962).
- Esquema de la sección.
- Continuidad y grosor medio: se observa si la pátina siempre está presente o existe algún punto donde este ausente (lo que al mismo tiempo da una idea del estado de conservación y grado de deterioro de la misma).
- Contacto sustrato – pátina: podemos determinar si este es limpio (*sharp*), transicional o interconectado (*intermeshing*) y si existe algún hueco, fisura o discontinuidad entre el sustrato y la pátina.
- N° de capas.
- Contacto entre capas.
- Morfología, textura y estructura interna de las capas: en este apartado se especifican distintos aspectos como por ejemplo la homogeneidad / heterogeneidad de la pátina; identificación de sistemas de fisuras; porosidad interna de las diversas capas (porosidad intergranular); su textura, es decir, las relaciones entre sus componentes; etc.
- Continuidad y grosor de las capas.

### 3.6. ANÁLISIS QUÍMICOS IN SITU

Con el objetivo de analizar los cambios a nivel físico-químico en los abrigos, pictografías, soportes y/o pátinas correspondientes a las estaciones objeto de estudio, se realizaron diferentes análisis in situ mediante instrumentación espectroscópica. Las localizaciones de los puntos donde se han realizado los citados análisis han sido seleccionados teniendo en cuenta su representatividad respecto a las afecciones que presentan y en pictografías seleccionadas previamente en cada uno de los paneles correspondientes a cada abrigo.

Estos puntos de análisis capturados durante esta primera fase del proyecto constituyen el estadio 0 con el que se podrán efectuar nuevas medidas mediante una instrumentación físico-química similar con el objetivo de identificar posibles variaciones que se hayan podido producir a nivel molecular o elemental.

Para llevar a cabo el estudio se realizaron medidas directas mediante dos equipos portátiles basados en espectroscopia Raman y fluorescencia de rayos X por dispersión de energías. La primera técnica fue utilizada para determinar la composición molecular de las zonas analizadas (tanto sobre las pictografías como sobre el soporte rocoso y/o patinas) y la segunda técnica permitió determinar qué elementos componían dichas zonas de análisis. Ambas técnicas son no-invasivas, dado que no se requiere toma de muestra.

En total han sido llevados a cabo más de 280 análisis mediante Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva y más de 120 medidas por espectroscopia Raman.

#### 3.6.1. Fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF)

Para determinar la composición elemental se hizo uso de un equipo portátil basado en fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF). Para ello se utilizó un espectrómetro portátil de la marca *Oxford Instruments*, modelo *X-MET5000* (Fig. 96). El mencionado equipo está provisto de un tubo de rayos X de rodio, el cual se utiliza como fuente de excitación y funciona a una potencia máxima de 45 KeV (0.2 keV de resolución) y de un detector de silicio de alta resolución (SDD). Cada uno de los espectros adquiridos en los puntos de análisis del abrigo se obtuvieron acumulando 50 segundos y realizando 3 replicados de medida para obtener un espectro media representativo del área analizada. Los datos se recogieron en una PDA y fueron exportados a un ordenador para su posterior tratamiento.

La técnica EDXRF detecta la emisión fluorescente que se genera al excitar un material con una fuente emisora de rayos X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo (elemento). Entonces, los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, que conforman la conocida como radiación X fluorescente o secundaria. Esta radiación de fluorescencia es característica para cada elemento químico. Por lo tanto, es posible identificar un elemento dentro del espectro de la muestra si se conoce la energía entre los orbitales atómicos implicados (longitud de onda). La concentración de cada elemento se

detecta midiendo la intensidad de la energía asociada a cada transición de electrones. Es decir, la respuesta analítica de un análisis EDXRF es un espectro que muestra la intensidad de radiación en función de la energía.

Con el equipo portátil empleado durante el análisis se pueden detectar casi todos elementos químicos metálicos. Por lo tanto, esta técnica resulta eficaz a la hora de analizar la composición de manera semicuantitativa. En un análisis semicuantitativo, el equipo permite dar estimaciones, es decir, determinar de forma aproximada la cantidad (o contenido) de un analito o elemento buscado expresándolo como un valor numérico con las unidades adecuadas (% ,  $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ , etc) en base a una curva de respuesta de concentraciones conocidas que es la que dispone el software del equipo. En la práctica, este método sirve para conocer la matriz y para investigar en qué rango de concentraciones nos encontramos.

Los análisis realizados in situ por EDXRF proporcionan resultados de concentración de manera semicuantitativa tanto de la superficie de medida como de un pequeño grosor interior de varios milímetros. El grado de penetración alcanzado mediante esta técnica va a depender de diversos factores tales como la composición del material, la presencia de ciertos elementos y la proporción entre ellos, tamaño de partícula, textura de la superficie de la superficie rocosa, su grado de compactación, estado de conservación de las diferentes pictografías existentes,



94 95



Figura 94. Detalle de la utilización de la sonda del espectroscopio Raman en una figura del Abrigo Grande de Minateda © J. F. Ruiz

Figura 95. S. Fernández y M. Magurequi operando el espectroscopio Raman. © J. F. Ruiz

etc. El hecho de que los anteriores factores sean variables, puede dar origen a diferentes señales por parte del equipo de medida. Por lo que ha todo ello ha sido tenido en cuenta en la interpretación de los resultados que se han obtenido en el abrigo.

### 3.6.2. Espectroscopia Raman

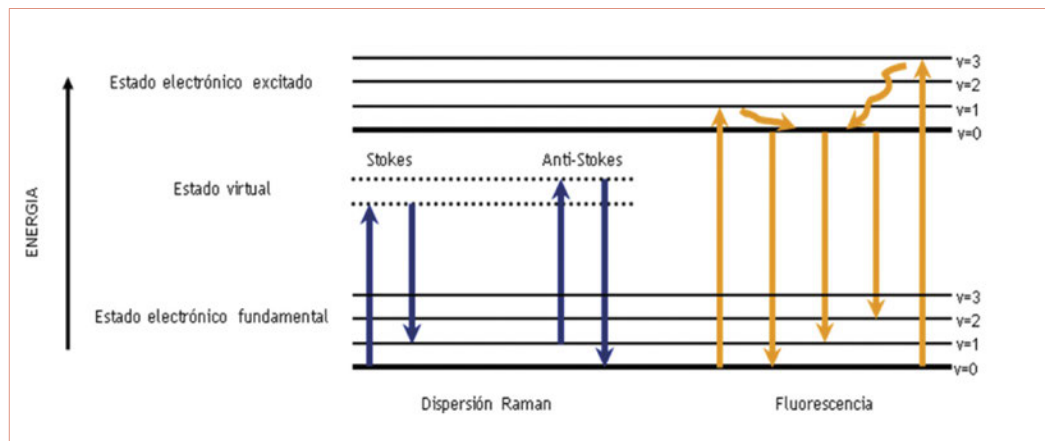
Se realizaron análisis por espectroscopia Raman mediante un espectrofotómetro portátil de la marca B&W Tek inc., modelo InnoRam\* (Fig. 94-95).

El equipo consta de un láser de 785 nm como longitud de onda de excitación. La sonda (fibra óptica) de luz láser (con intensidad muy baja, entre 1-3% de potencia nominal de salida) en el equipo empleado permite abarcar un área (*spot*) de medida de unas 85  $\mu\text{m}$ . El equipo incluye un detector bidimensional de acoplamiento de carga (CCD) para detectar la señal Raman dispersada por la zona de medida y esta provisto de una fibra óptica, a través de la cual se direcciona la emisión láser al punto de analisis. El instrumento también implementa un controlador de potencia del laser variable, entre un 1-100%, respecto de la potencia total de dicho laser, para el caso de los abrigos en todos los casos solamente ha



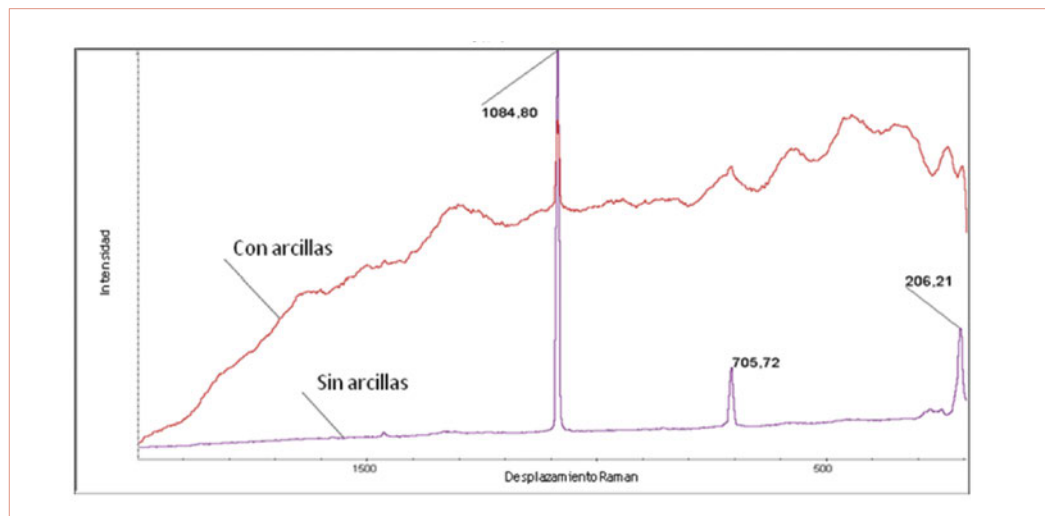
96

Figura 96. El equipo portátil de EDXRF usado en el panel de Cañiaca del Calar II. © J. F. Ruiz



97

98



sido utilizado 1-5% del laser.

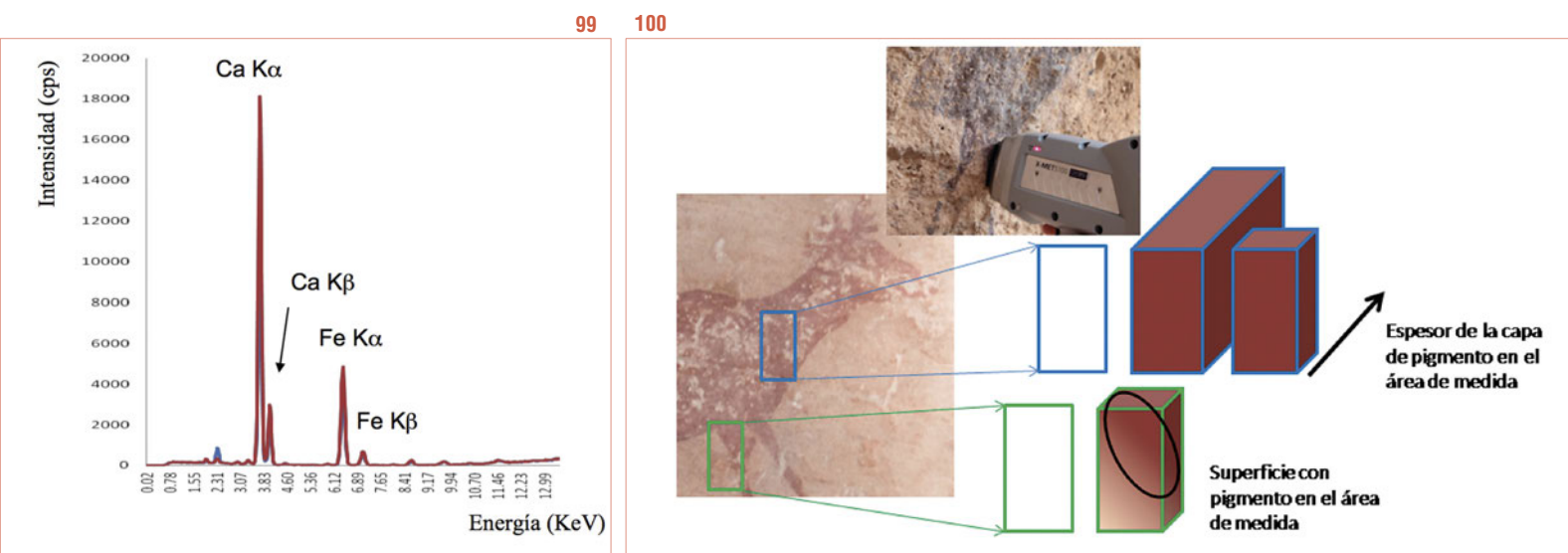
El láser es un haz de luz monocromático y temporalmente coherente que se dirige a la superficie a analizar a través de una fibra óptica. La radiación láser incide sobre el material produciéndose una dispersión inelástica de la luz que depende de los modos de vibración de las moléculas que componen dicho material. De todos los fotones que se dispersan, el espectrómetro recoge los que tienen una longitud de onda (o energía) diferente a la de la radiación incidente (dispersión Raman) (Fig. 97). Considerando el fenómeno en que se basa esta técnica, la gran mayoría de moléculas ofrecerán un conjunto de señales (bandas) que conforman un espectro Raman característico y único para dicha molécula, moléculas o material en conjunto. Por esta razón, en muchos casos el espectro Raman se considera la huella dactilar característica del material analizado (Fig. 98).

La espectroscopia Raman permite habitualmente identificar diversos compuestos relacionados tanto con la roca madre como con los pigmentos que hallamos en las pinturas rupestres. Es por ello que es una técnica muy adecuada de carácter no destructivo ni invasivo (no hay necesidad de toma de muestra), por lo que está siendo muy utilizada en los últimos años sobre patrimonio y en particular, arte rupestre.

Sin embargo, la interpretación espectral puede llegar a ser compleja. Para comprender la problemática que se observa en los espectros, cabe recordar en qué se basa la espectroscopia Raman. Cuando se irradia una muestra con un haz monocromático, se comprueba que cierta

**Figura 97.** Origen de la dispersión Raman (Stokes Raman) donde el fotón (representado por una flecha) dispersado tiene menor energía al fotón incidente y la fluorescencia, donde el fotón es suficientemente energético para llevar a la molécula a un estado electrónico excitado real. © S. Fernández.

**Figura 98.** Comparación del espectro de aragonito en presencia y en ausencia de arcillas. © S. Fernández



cantidad de fotones son dispersados en todas direcciones. La mayoría de los fotones tienen igual energía que el haz incidente (dispersión Rayleigh), es decir, el fotón parte de un estado fundamental hacia un estado electrónico excitado virtual y vuelve a su origen. Otros fotones pierden energía (vuelven a un estado vibracional de mayor energía al estado fundamental), generando lo que se denomina dispersión Raman Stokes y finalmente, algunos fotones, muy pocos, ganan energía (dispersión Raman anti-Stokes).

Cuando hablamos de espectroscopia Raman, nos centramos únicamente en la información que se obtiene de la dispersión Raman Stokes. En concreto, las diferencias de energía entre fotón incidente y fotón dispersado (desplazamiento Raman o Raman shift mostrado en el eje X de los espectros que aparecen en la memoria del proyecto) son características de los modos de vibración de las moléculas (como la huella dactilar) y por tanto permiten su identificación. Sin embargo, en ocasiones, por la composición de la muestra o por el tipo de láser que se utiliza en la medida tenemos más energía para excitar algunas moléculas (no necesariamente la molécula de interés sino cualquiera adyacente que se encuentre dentro del área de medida) hasta un estado electrónico excitado real (no virtual) de mayor energía y se pueden provocar fenómenos de fluorescencia. Estas moléculas se denominan fluoróforos (Hernández y González, 2002; Skoog y Leary, 1994).

Los espectros se adquirieron y trataron con los programas BWSpecTM 3.26 y OMNIC 7.2 respectivamente y la asignación espectral se concluyó por comparación con la base de datos e-VISNICH, construida por el grupo de investigación IBeA (Universidad del País Vasco UPV/EHU) que incluye espectros Raman de patrones puros y muestras reales pertenecientes al patrimonio natural, industrial y artístico-cultural, así como con otras bases de datos de libre acceso, como RUFFF (Downs, 2006).

Figura 99. Espectros EDXRF comparativos del material soporte (línea de color azul) y de uno de los análisis en un pictograma (línea de color rojo) en el panel 1 del Abrigo del Buen Aire I. © S. Fernández.

Figura 100. Situaciones de medida que pueden variar la intensidad de señal obtenida para el hierro. © S. Fernández



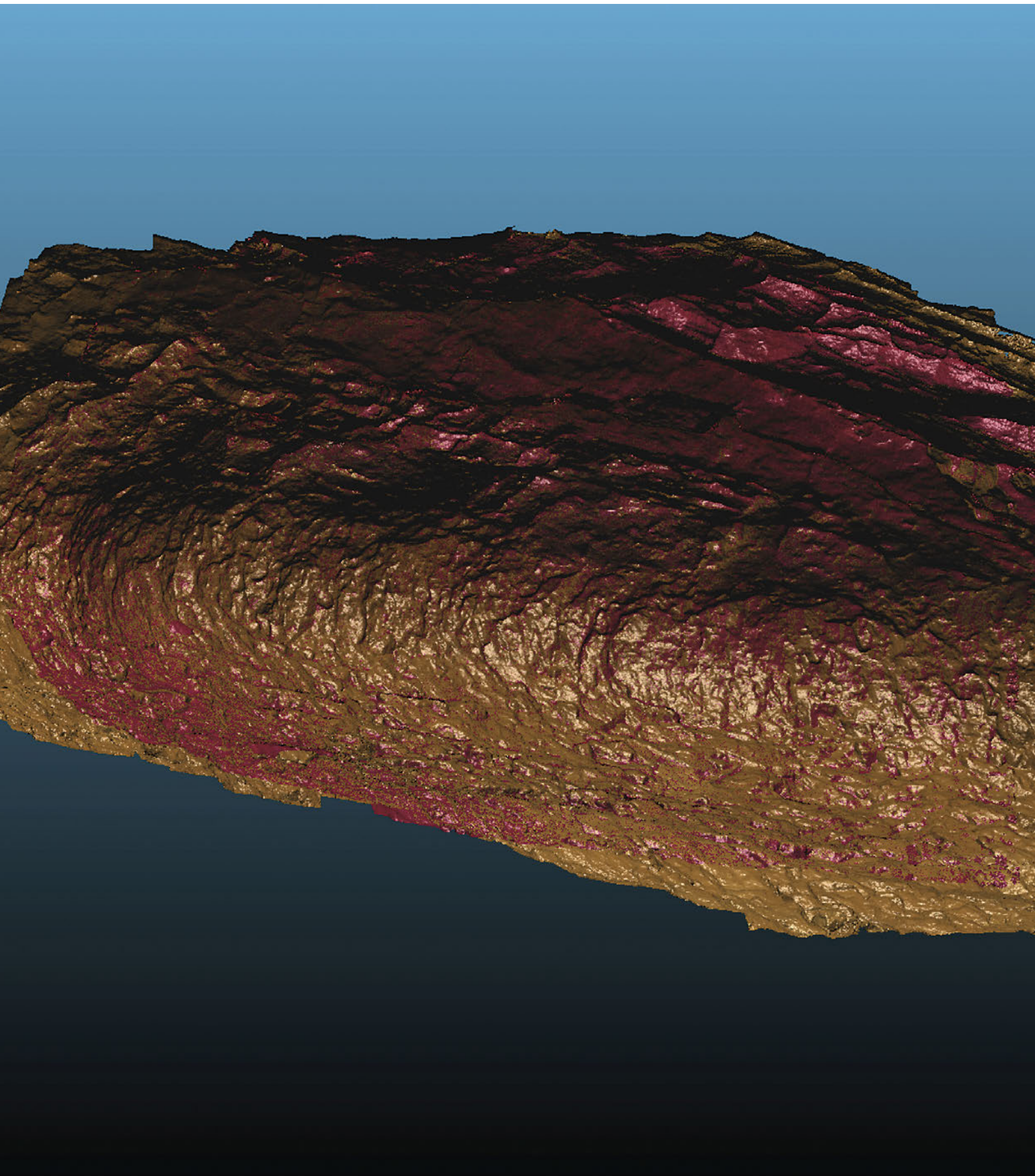




---

Resultados del  
proyecto

---



## 4. Resultados del proyecto

### 4.1. Abrigo del Buen Aire I

#### 4.1.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos

El tamaño del abrigo aconsejó realizar dos modelos independientes para facilitar su análisis. Por un lado se realizó el modelo 3D de la parte central e izquierda del panel 1 (Fig. 102), y por otro la parte derecha del panel 1 y el panel 2 que se sitúa sobre él (Fig. 111). También se ha realizado un modelo general de la cavidad (Fig. 101).

La visibilidad de las pictografías es muy complicada en la totalidad del panel 1; no así en el panel 2 en el que se aprecian sin problemas. No obstante, el tratamiento *DStretch* de los tres sectores del panel 1 y del panel 2 permiten localizar fácilmente las pictografías existentes.

##### 4.1.1.1. Sector 1

Entre los modelos de febrero y mayo no se aprecian cambios. Los análisis efectuados muestran un muy bajo nivel de ruido general, considerando éste como el resultado del cálculo estadístico de la prueba del  $\chi^2$ . No obstante, *CloudCompare* identifica variaciones entre ambos modelos que se corresponden con áreas en las que PhotoScan ha reconstruido erróneamente el relieve. Estas alteraciones suponen un porcentaje mínimo sobre el conjunto de ambos relieves.

Conclusiones similares se extraen de la comparación entre mayo y julio en este panel. La prueba del  $\chi^2$  indica que la mayor parte de los puntos siguen una distribución normal y que el nivel de ruido es bajo. Las diferencias que se detectan en *CloudCompare* obedecen a la presencia de áreas de sombra en los modelos, es decir, zonas sin cobertura que no forman parte del modelo.

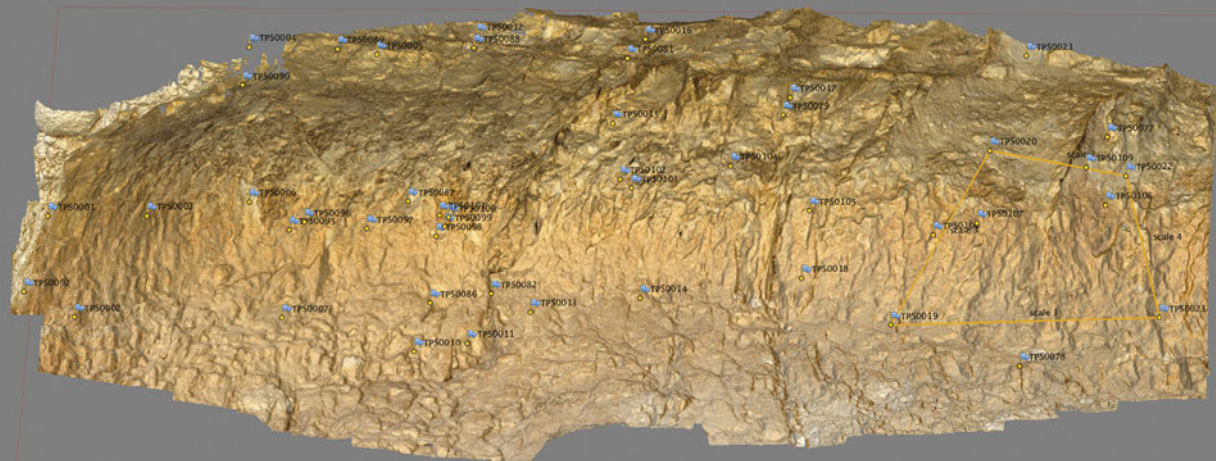
En la comparación entre los modelos 3D de los meses de julio 2013 y noviembre 2013, se ha efectuado una aproximación muy precisa. El RMS<sup>9</sup> es de 0,0027. En este período se han identificado un número importante de modificaciones, concretamente seis (Fig. 103). La mayor parte son consecuencia de los cambios en la distribución de las telarañas pero también se

.....  
<sup>9</sup>. RMS: abreviatura de *root mean square*, media cuadrática o valor cuadrático medio. El error de RMS se usa para comparar dos conjuntos de datos. El resultado indica la distancia existente entre ellos. Cuanto más lejos está de cero mayor es la diferencia entre el resultado esperado y el realmente medido.

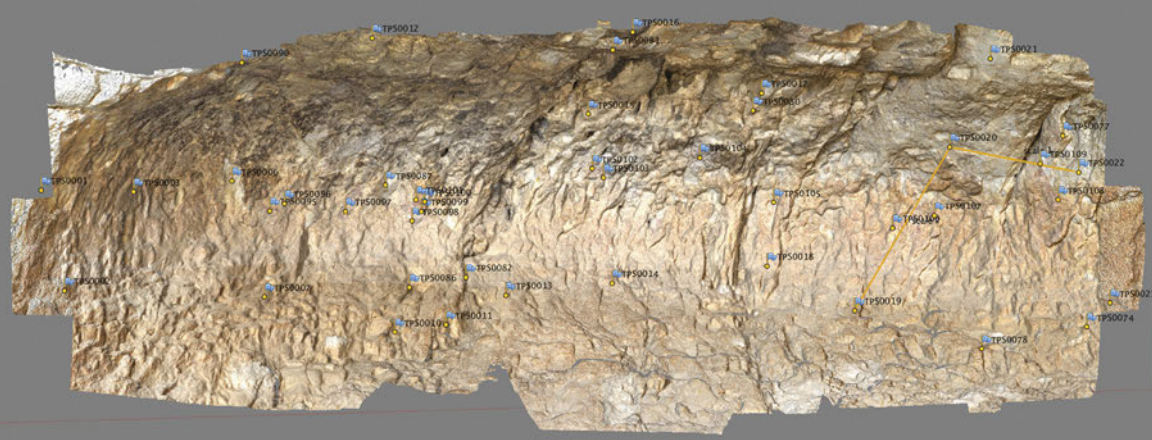


SECTOR 1

SECTOR 2

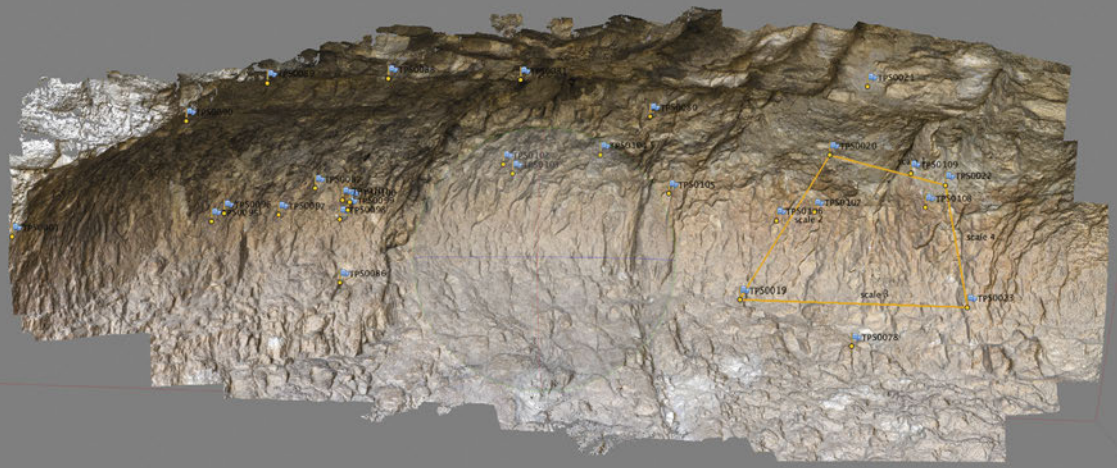


FEBRERO 2013

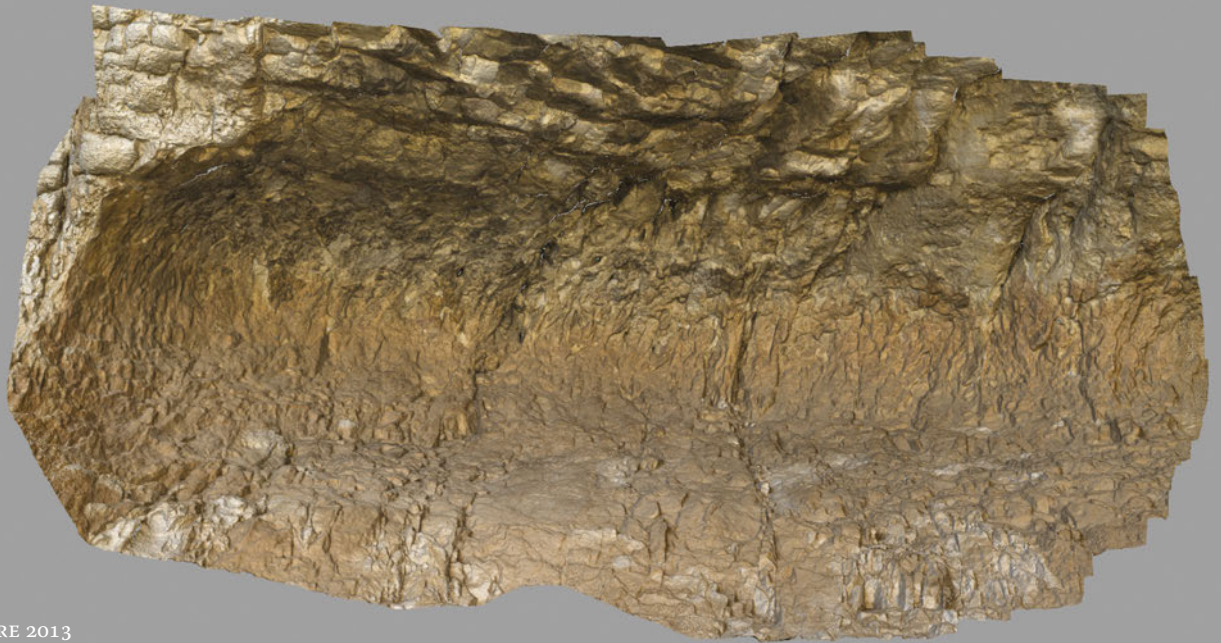


MAYO 2013

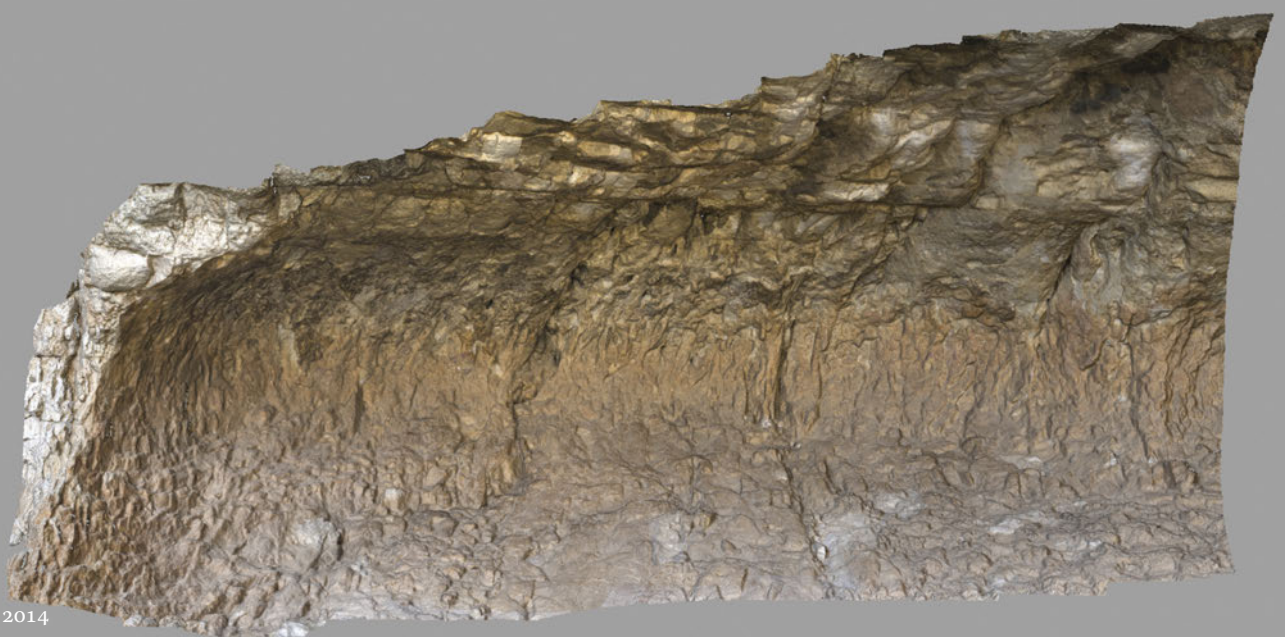
Figura 101. Abri del Buen Aire I, con indicación de los sectores. © J.F. Ruiz.



JULIO 2013



NOVIEMBRE 2013



ENERO 2014

Figura 102. Modelos 3D del abrigo del Buen Aire I, sector izquierdo. © J.F. Ruiz.

**BUEN AIRE, SECTOR 1**

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	70	1.014.667	8.133.674		0,269126	45	2,939	0,438038
Mayo	34	670.453	17.000.000	107.552.200	0,322363	42	3,435	0,539752
Julio	30	582.434	16.843.877	81.587.939	0,420313	29	2,187	0,627798
Noviembre	101	1.523.028	18.279.595	61.867.448	0,357684	29	2,36	0,40391
Enero	126	1.962.901	20.169.408	72.036.034	0,316005	26	2,4	0,50509

ha detectado uno de los puntos de muestreo para análisis geológico y el desplazamiento de fragmentos de piedra caídos que estaban sobre la base del abrigo.

La muestra tomada para análisis geológico corresponde al detalle 1 (Fig. 104). En los puntos 4 y 5 se han observado modificaciones en la posición de fragmentos de roca previamente desprendidos. En el punto 4 un pequeño fragmento de soporte que en julio aparecía apoyado sobre un pequeño resalte ha caído y se ha estabilizado sobre una superficie plana situada inmediatamente por debajo de su punto de origen. Algo similar sucede en el punto 5 (Fig. 108-109); en este caso varios fragmentos de roca situados en la base del abrigo han sido desplazados unos centímetros hacia la derecha y abajo. Desconocemos que mecanismos han provocado estos desplazamientos.

El resto de alteraciones volumétricas identificadas en este panel en la comparación entre julio y noviembre de 2013 corresponden a cambios en la morfología de las telarañas. En los puntos 2 y 3 (Fig. 105-107) las telarañas existentes han desaparecido, mientras que en el punto 6 se ha observado en la documentación de noviembre la aparición de un fragmento de telaraña no identificado previamente.

La comparación entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 se realiza a partir de una aproximación muy precisa entre ambas nubes de puntos. El RMS de esta operación es de 0,0036. La media de las distancias entre los dos modelos es de 0,0016 y la desviación estándar de 0,0067. La prueba del  $\chi^2$  indica que la mayor parte de los puntos siguen una distribución normal y que, por tanto, el nivel de ruido es ínfimo.

Durante este período se han observado cambios en dos puntos del sector izquierdo del Abrigo del Buen Aire I. En el detalle 1 se identifica un cambio en el centro del panel en enero 2014. Se sitúa junto a una de las diaclasas principales que segmentan el panel verticalmente. Corresponde a una telaraña cuya posición ha cambiado. En las ortofotos se aprecia que una parte de esas telarañas ha caído y se ha depositado unos centímetros por debajo de su ubicación original. En esta misma zona ya se habían apreciado modificaciones similares en el período anterior (Fig. 105). A lo largo de esa diaclasa las diferencias que se identifican con *CloudCompare* corresponden a cambios en la distribución de las telarañas.

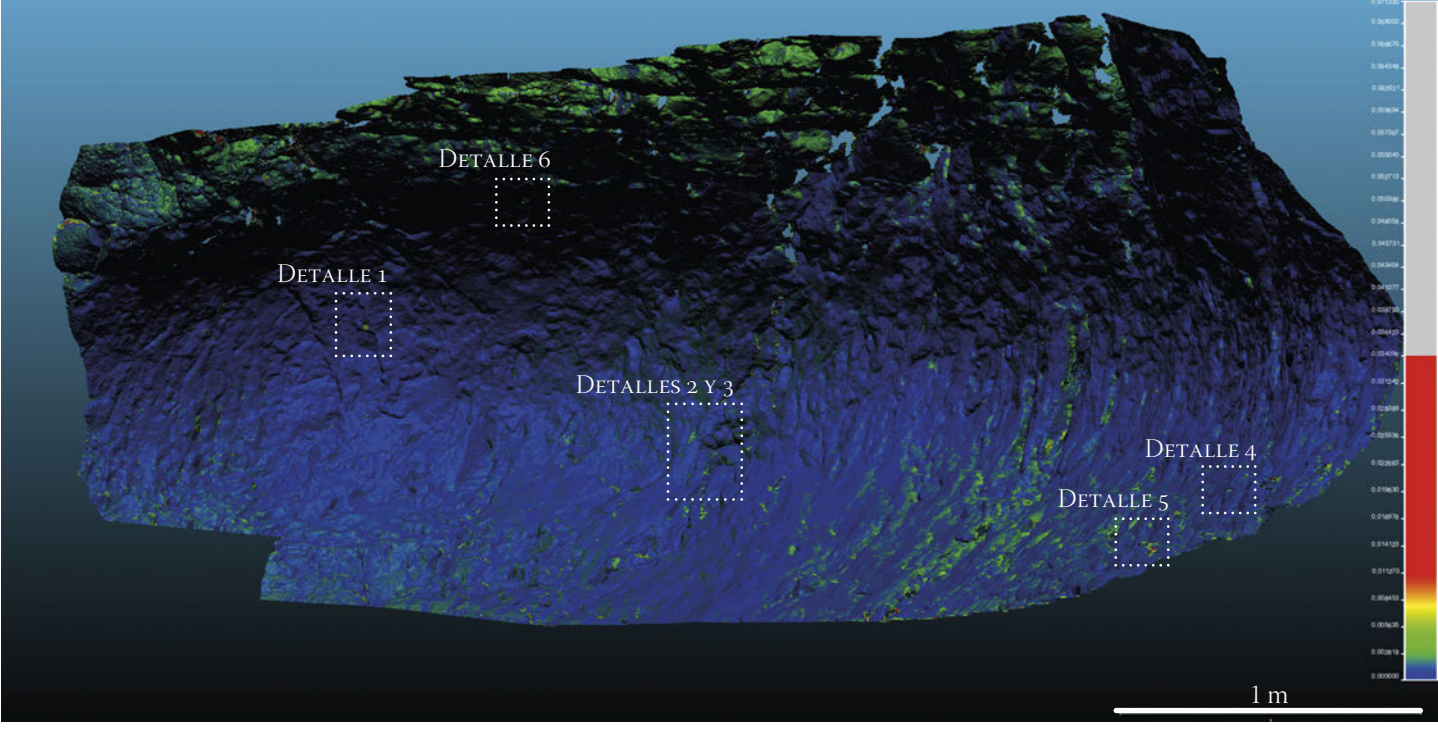
En la parte derecha del modelo se ha identificado un cambio, detalle 2 (Fig. 110) que corresponde a un pequeño fragmento de piedra que estaba presente en el modelo de noviembre 2013 y que en el correspondiente a enero 2014 ha desaparecido. Ignoramos las causas del desplazamiento.

**Figura 103.** Comparación volumétrica entre julio y noviembre 2013 en el sector 1 del Abrigo del Buen Aire I, con indicación de las zonas donde se han detectado variaciones volumétricas. © J. F. Ruiz.

**Figura 104.** Detalle 1 de la comparación entre julio (izda.) y noviembre 2013 (dcha.), en la que se identifica una variación por muestreo geológico. © J.F. Ruiz.

**Figura 105.** Detalles 2 y 3 en los que se aprecian modificaciones a partir de la comparación efectuada entre las nubes de puntos de. Abrigo del Buen Aire I, sector izquierdo, entre julio y noviembre 2013. © J.F. Ruiz

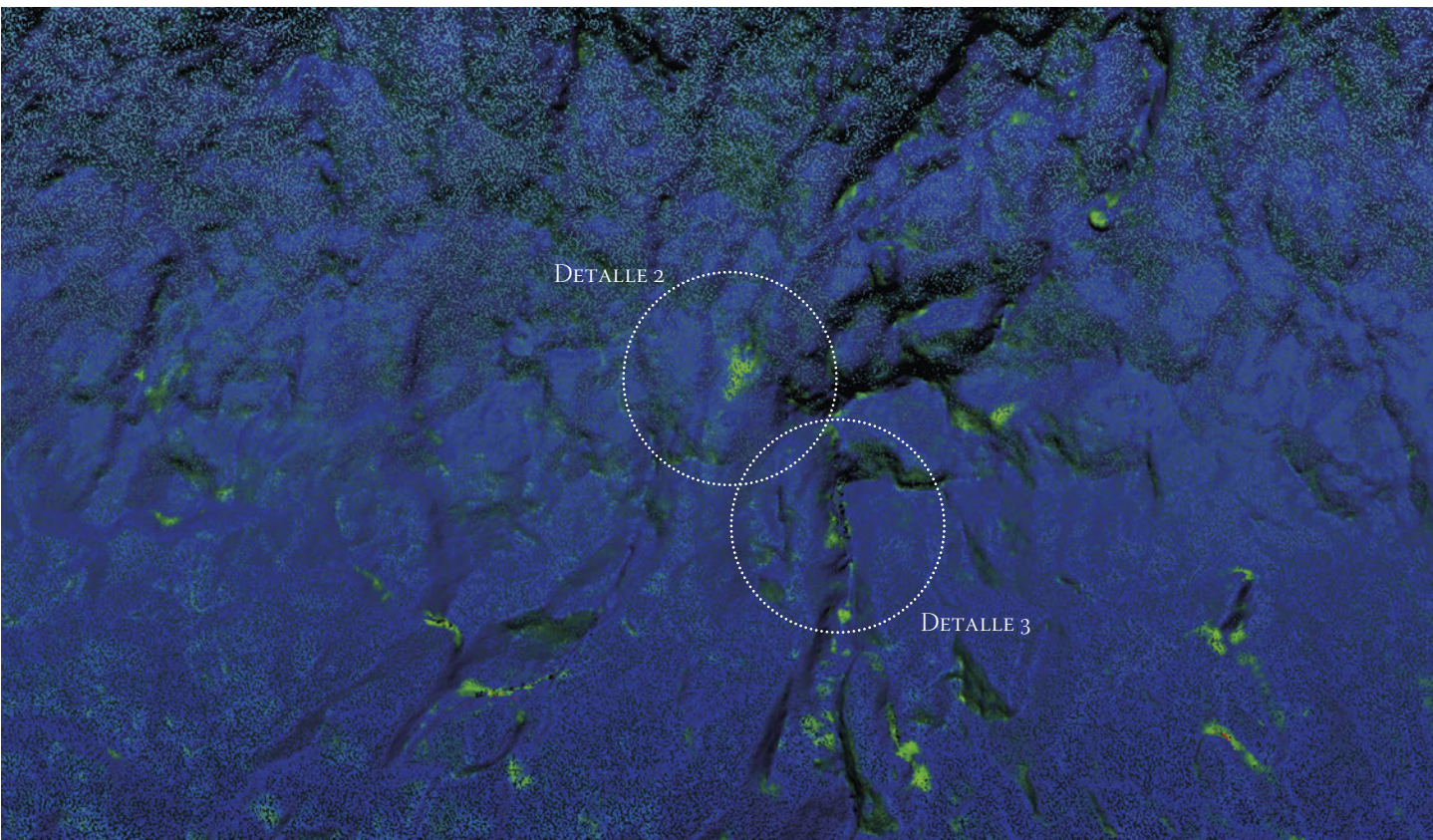
103



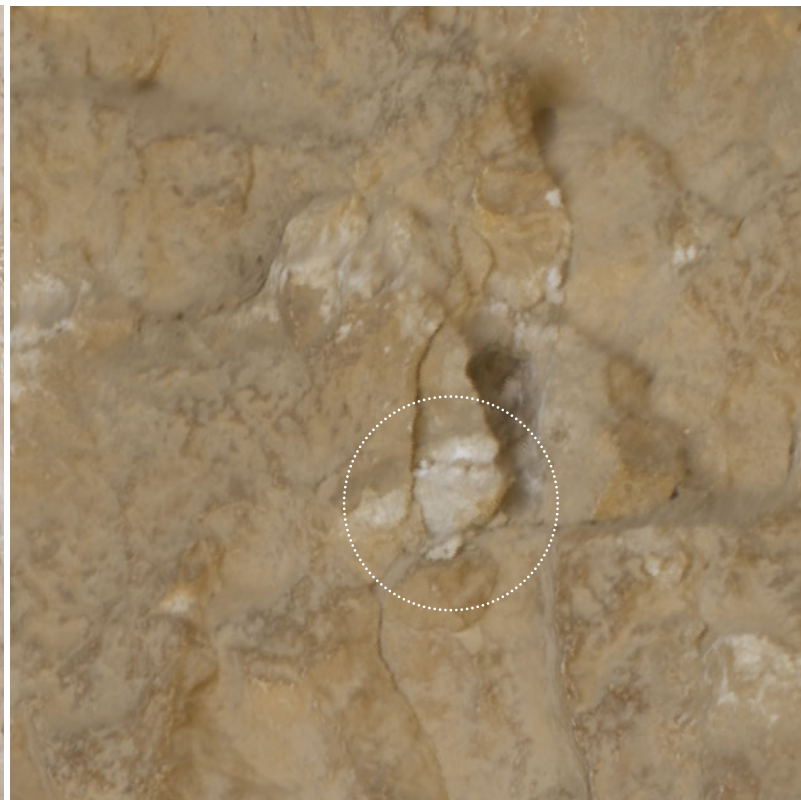
104



105



106



107

Figura 106. Detalle 3, con un cambio en la disposición de un cúmulo de telarañas entre su forma del mes de julio (izda.) y de noviembre 2013 (dcha.). © J.F. Ruiz

Figura 107. Situación de la zona del detalle 4 en julio 2013

(izda.), con pequeños fragmentos de roca apoyados en la pared, y la misma zona en noviembre 2013 (dcha.), apreciándose que los fragmentos indicados están caídos unos centímetros por debajo. © J.F. Ruiz



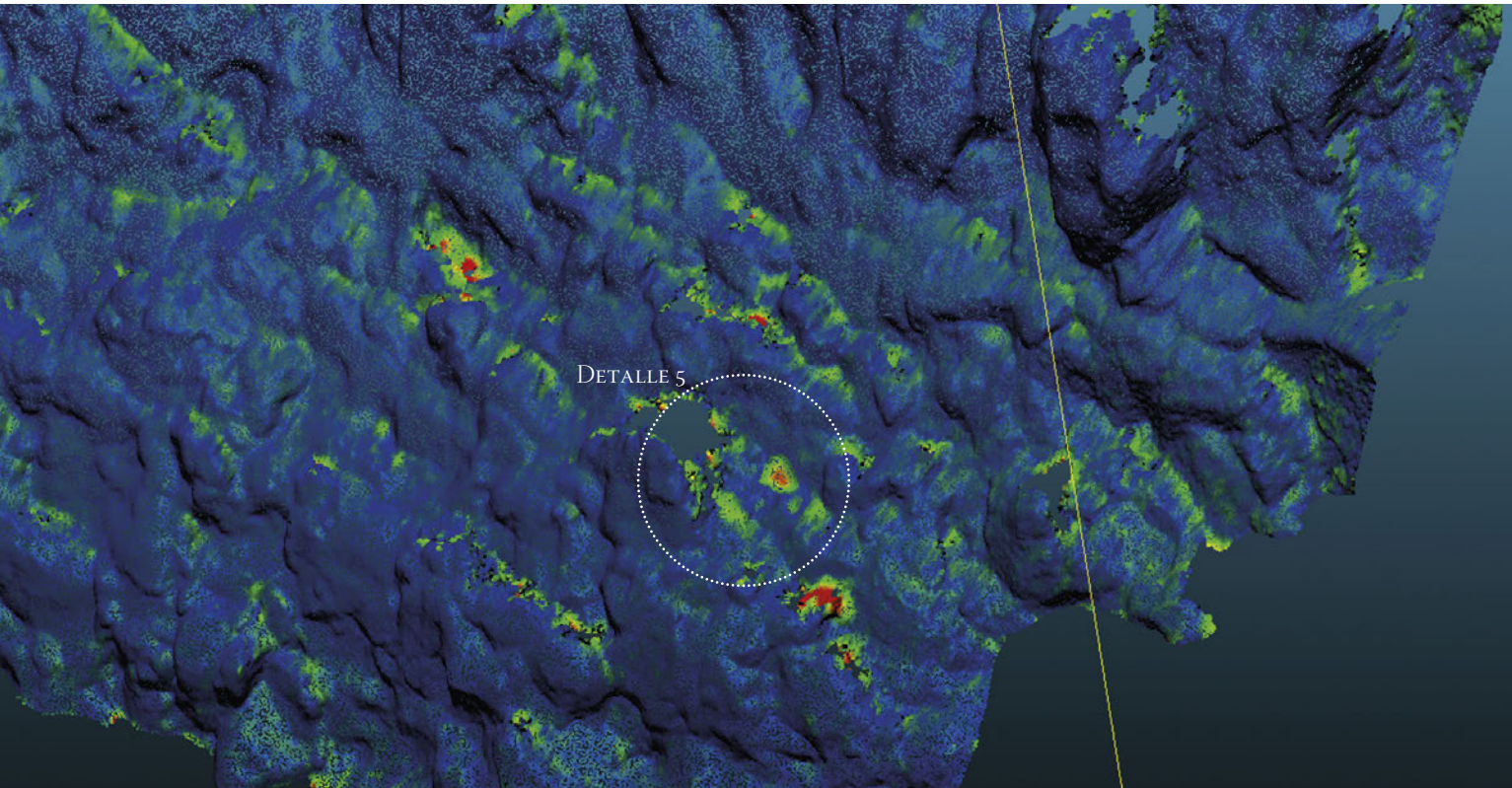


Figura 108. Detalle 5, de la comparación entre julio y noviembre 2013. © J.F. Ruiz.

Figura 109. Cambios en la posición de pequeños fragmentos de piedra, que en julio 2013 se situaban en la parte

superior del área remarcada (izda.), y que en noviembre aparecían vueltos del revés unos centímetros a la derecha (dcha.). © J.F. Ruiz



Figura 110. Fotografía del detalle 2 de la comparación entre noviembre 2013 (arriba) y enero 2014 (abajo), en el que se observa que un pequeño fragmento de roca, no está en el mismo lugar en la imagen correspondiente a enero 2014. © J.F. Ruiz

## 4.1.1.2. Sector 2

**BUEN AIRE, SECTOR 2**

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	61	602.175	8.133.674		0,412471	31	3,207	0,096757
Mayo	47	887.794	16.639.663	31.663.568	0,356342	36	2,69	1,085926
Julio	51	879.943	16.999.851	81.587.939	0,420954	23	2,845	1,325479
Noviembre	123	1.988.385	18.276.895	93.257.834	0,332069	21	2,767	1,164449
Enero	156	1.981.303	18.308.265	146.179.725	0,369549	21	2,766	0,674230

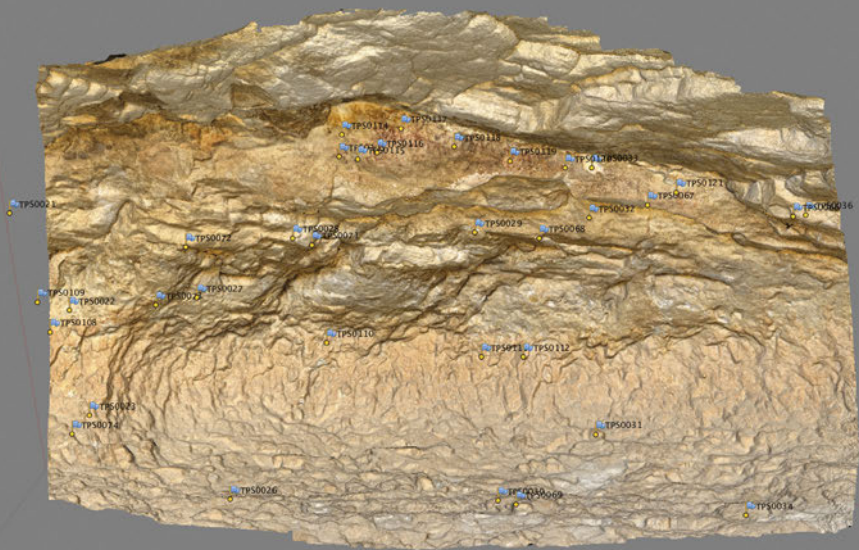
En lo referente a la comparación entre los modelos realizados en febrero y mayo en el panel 2 no se aprecian diferencias significativas. La distribución estadística de los puntos sigue una curva de distribución normal, de la que se deduce la presencia de muy escaso ruido en los modelos. Las escasas zonas en las que el campo escalar indica una variación se deben a zonas cubiertas en sólo uno de los modelos.

En el caso de la comparación entre los modelos de mayo y julio (Fig. 112), se aprecian dos zonas de diferencia con pérdida de soporte. Se sitúan en la zona de pendiente bajo el sector derecho del panel 1, todas ellas por debajo del nivel de las pictografías. Las pérdidas tienen un volumen importante; el primero tiene unas dimensiones aproximadas de 7,3 x 4,1 x 2,6 cm, unos 77 cm<sup>3</sup> (Fig. 113), y el segundo mide 9,8 x 5,2 x 9,4, unos 479 cm<sup>3</sup> (Fig. 114). Ignoramos la causa de estos desprendimientos, pero la fragilidad de la roca de este abrigo es considerable, como se aprecia fácilmente por la erosión que presenta el techo y visera de la cavidad, pero también los estratos inferiores a las zonas que conservan pictografías.

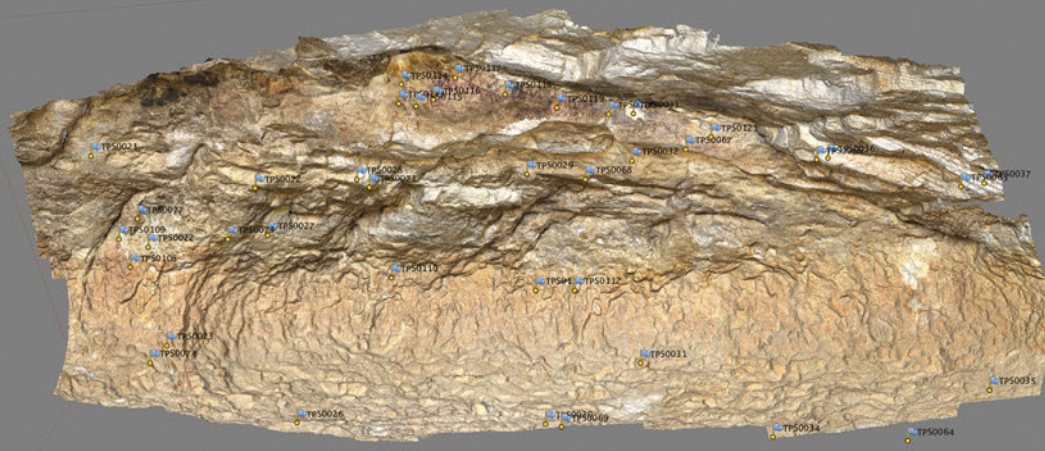
La aproximación entre los modelos correspondientes a julio 2013 y noviembre 2013 del sector 2 del Abrigo del Buen Aire I es muy precisa. Su RMS es de 0,0031. La distancia media entre estos modelos es de 0,0016 y su desviación estándar es de 0,0026. La prueba del  $\chi^2$  indica que la mayor parte de los puntos siguen una distribución normal y que, por tanto, el nivel de ruido es despreciable. Durante este período se ha observado una pérdida de soporte de grandes dimensiones en la plataforma del abrigo, lejos de la zona que conserva las pictografías (Fig. 115). Las dimensiones de la misma son aproximadamente de 330x130x120 mm, con un volumen de 5,14 cm<sup>3</sup>.

Entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 también se ha conseguido una buena aproximación, reflejada en el RMS de 0,0030. La distancia media entre ambos es de 0,0020 y la desviación estándar es de 0,0093. Al igual que en casos anteriores la prueba del  $\chi^2$  señala una distribución normal de la mayor parte de los puntos y un nivel de ruido muy bajo.

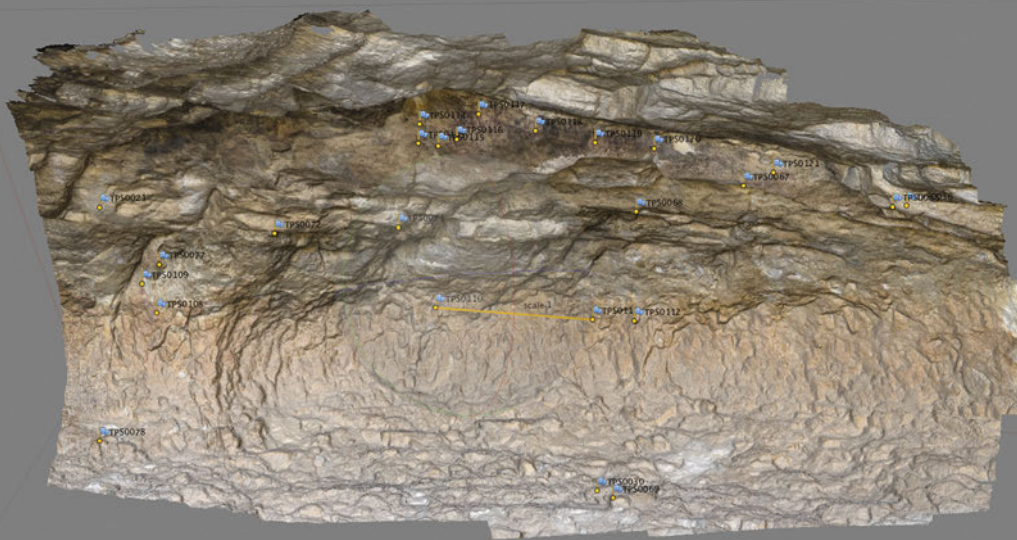
En este período se pueden apreciar dos cambios entre ambos modelos 3D (Fig. 116). La más importante corresponde a la colocación en su ubicación original del fragmento de roca que se había desprendido y que se identificó como pérdida de soporte en el período julio 2013 a noviembre 2013 (Fig. 118). Esa operación la realizamos durante la documentación de enero con anterioridad a iniciar la toma de fotografías para fotogrametría de objeto cercano. A su lado se ha identificado otra pérdida mucho más pequeña, lo que resalta la inestabilidad y fragilidad de la que adolece este sector del abrigo.



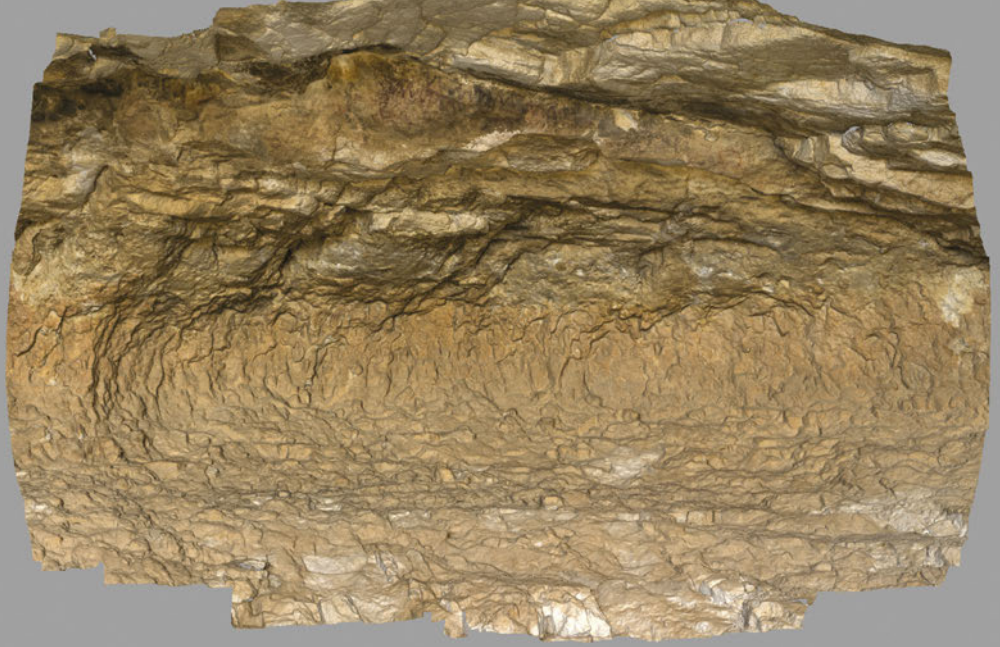
FEBRERO 2013



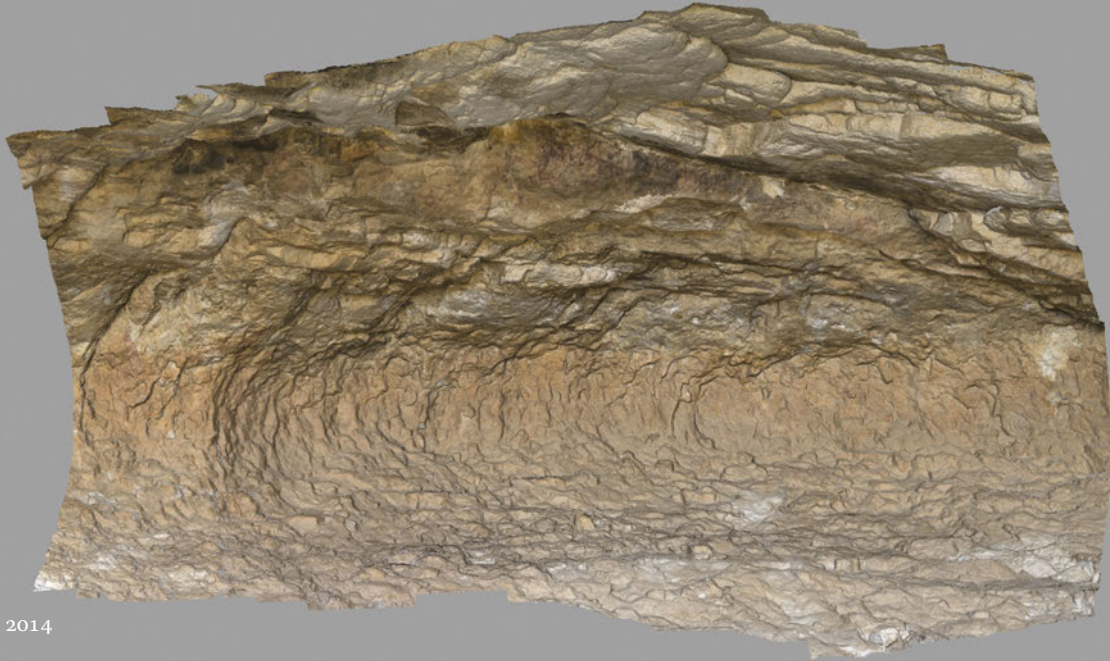
MAYO 2013



JULIO 2013



NOVIEMBRE 2013



ENERO 2014

Figura 111. Modelos tridimensionales del sector 2 del abrigo del Buen Aire I, incluyendo el sector derecho del panel 1 y el panel 2, a lo largo del proyecto. © J.F. Ruiz.

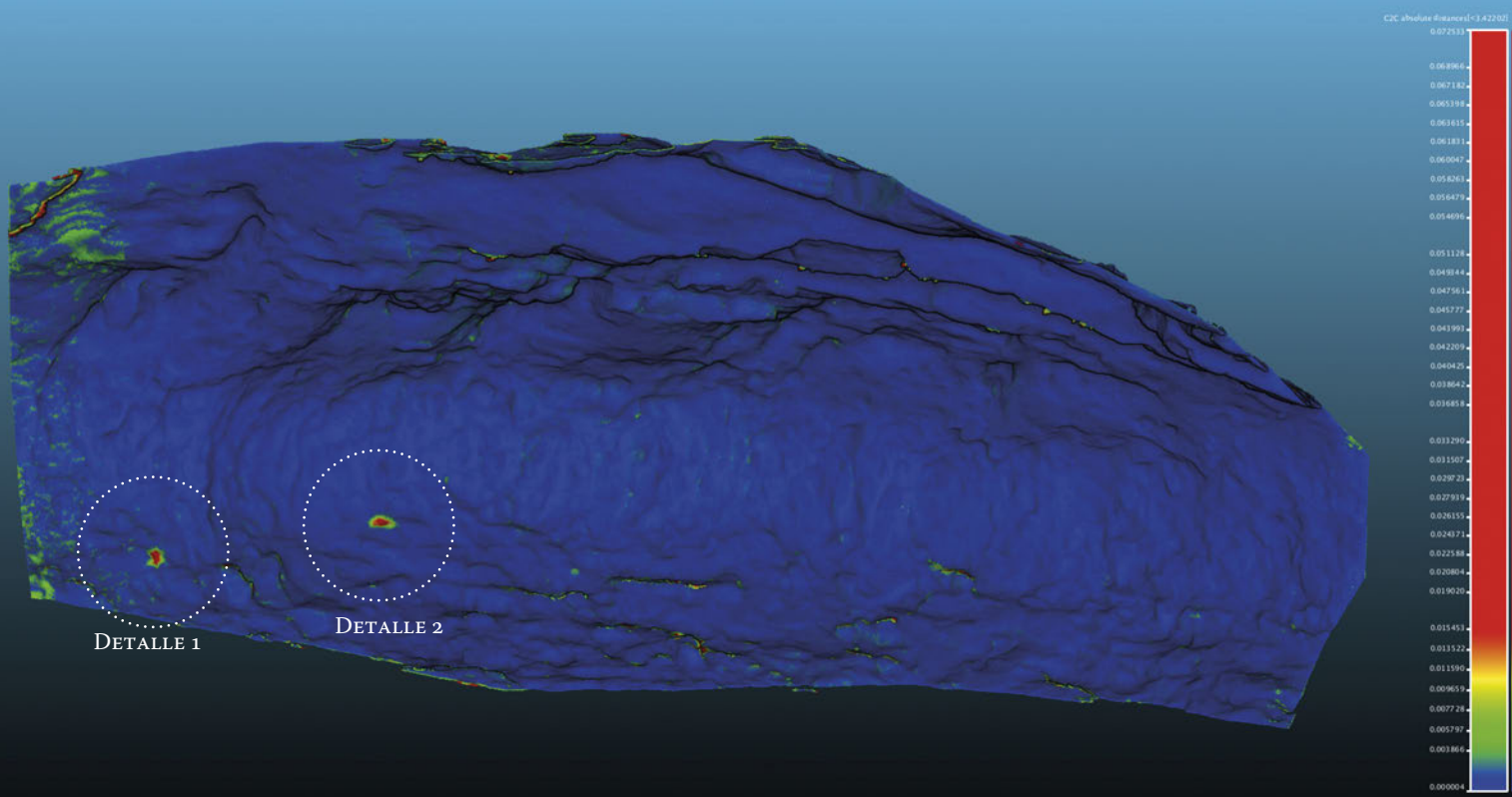
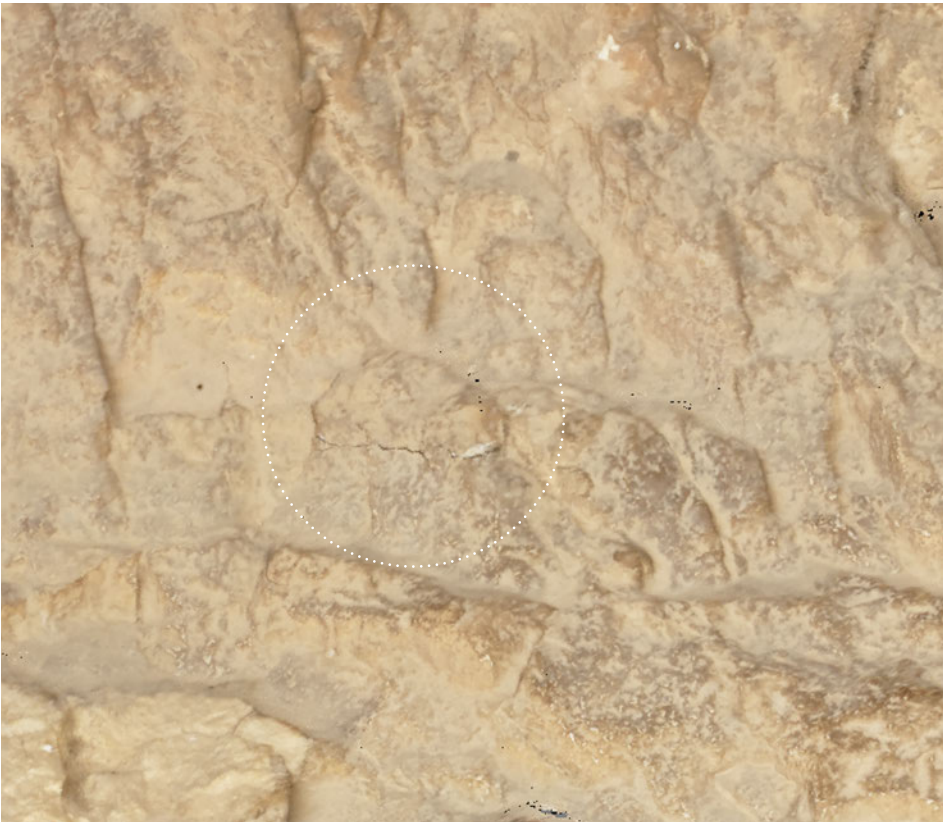


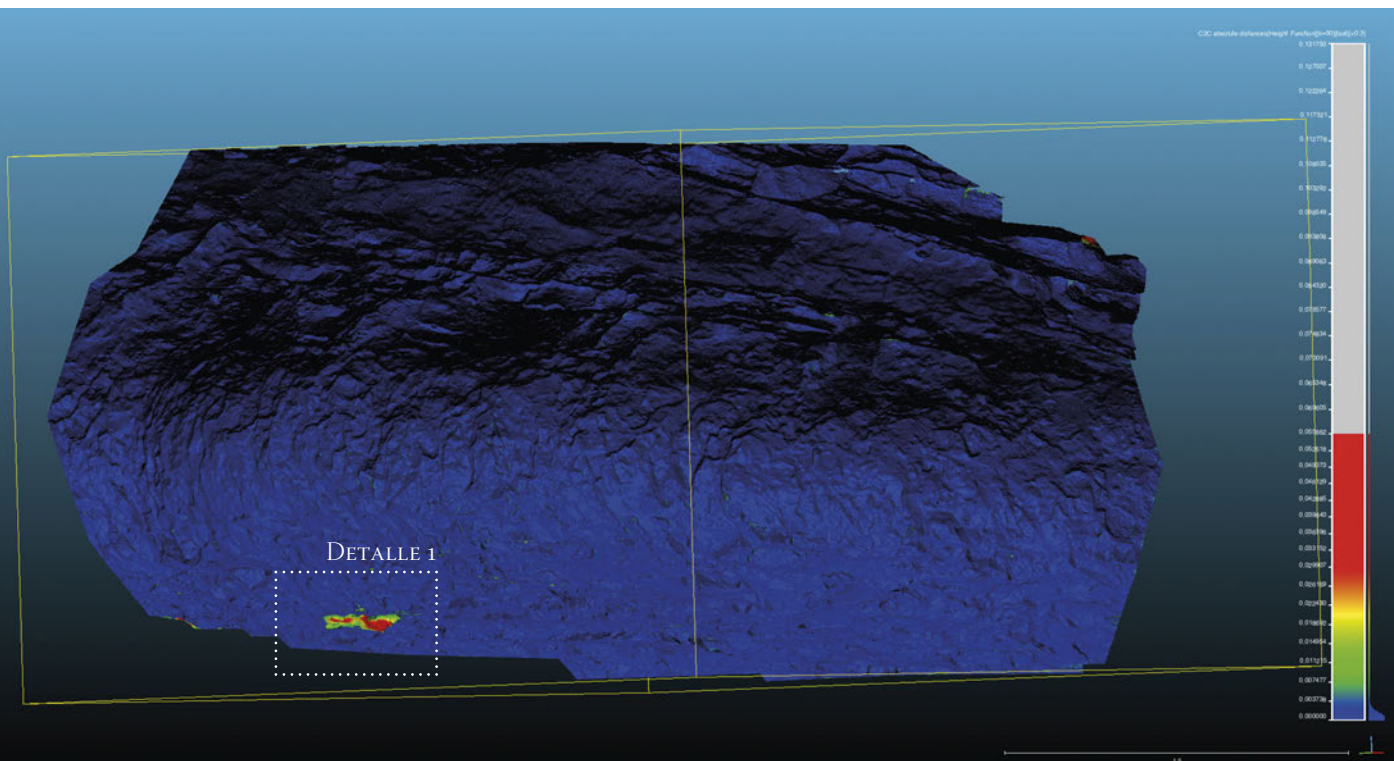
Figura 112. Comparativa entre los modelos de mayo y julio del sector 2 del abrigo del Buen Aire I. © J.F. Ruiz

Figura 113. Comparación mayo 2013 (izda.) y julio 2013 (dcha.) en la que se aprecia el cambio detectado en el detalle 1. © J.F. Ruiz

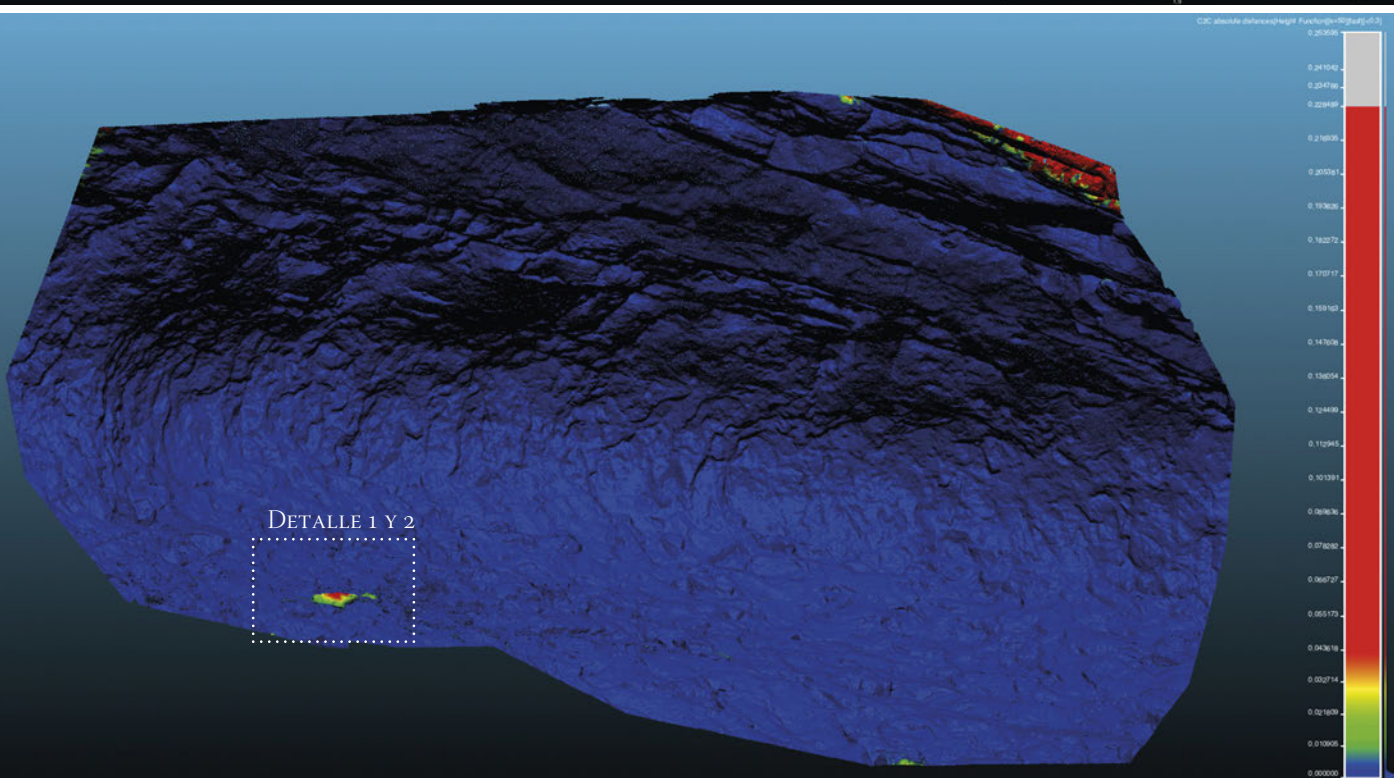


114

Figura 114. Detalle 2 del sector 2 del abrigo del Buen Aire I. Arriba se observa la posición de un bloque de roca presente en el modelo de mayo, que se ha perdido en el modelo del mes de julio, abajo. © J.F. Ruiz.



115

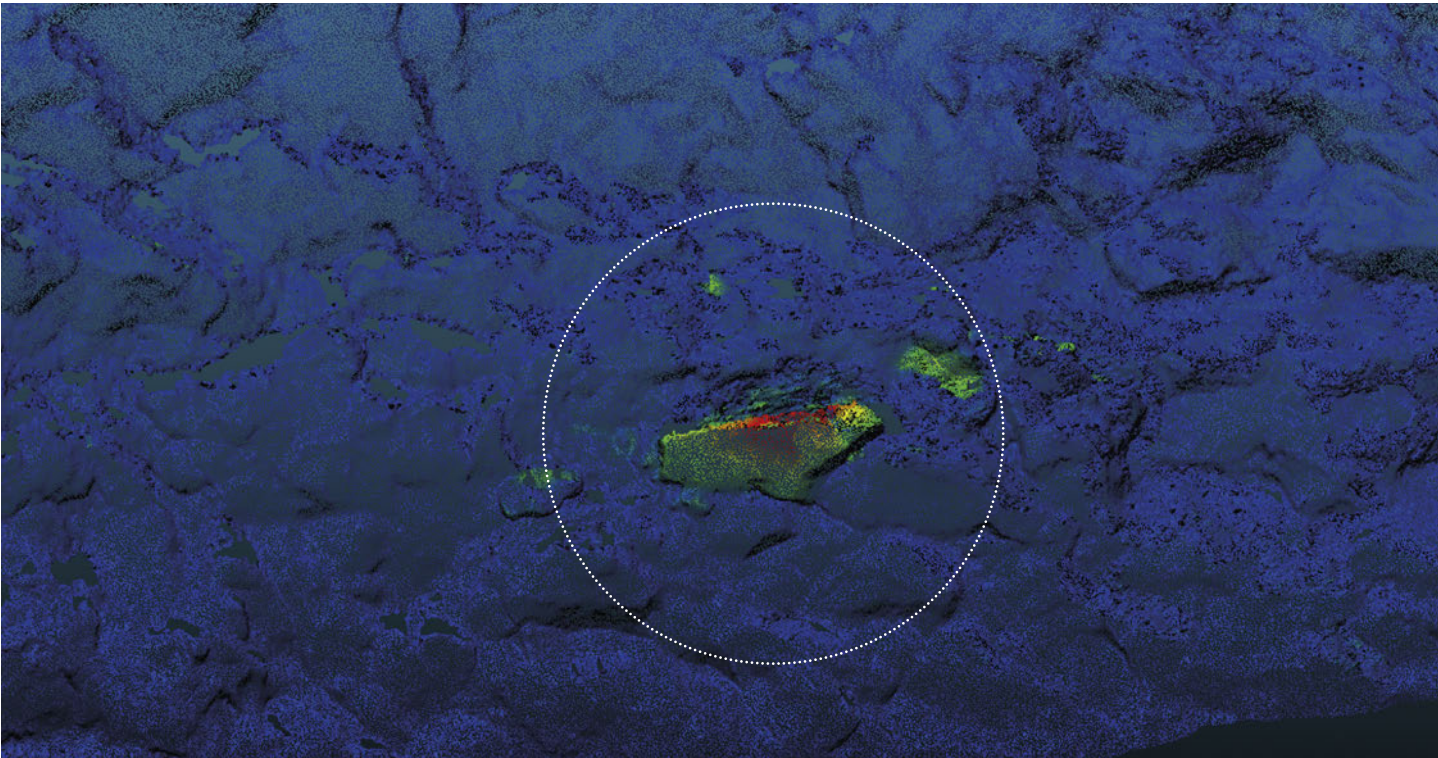


116

Figura 115. Comparación entre los modelos de julio y noviembre de 2013 del sector 2 del Abrigo del Buen Aire I. © J.F. Ruiz

Figura 116. Comparación entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 del sector 2 del Abrigo del Buen Aire I. © J.F. Ruiz





117  
118

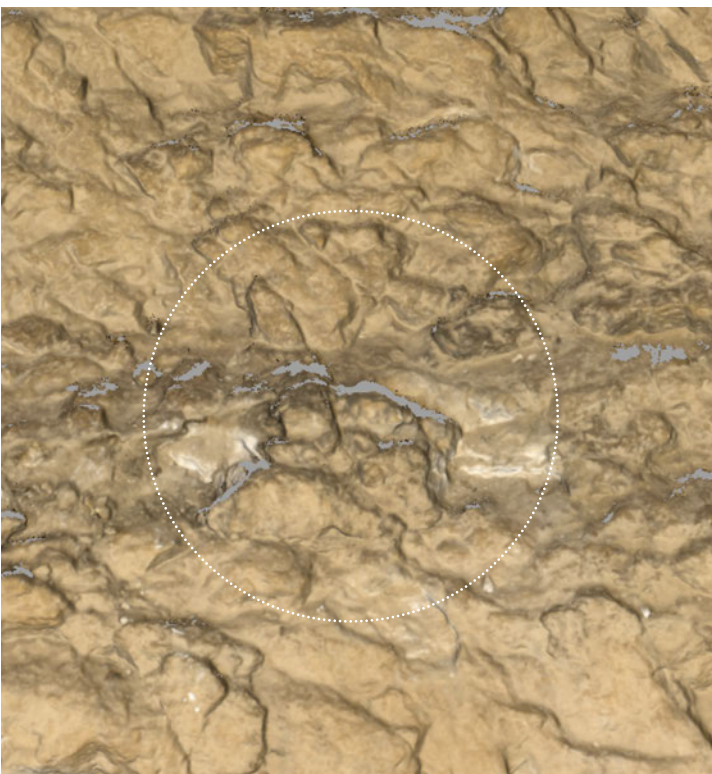
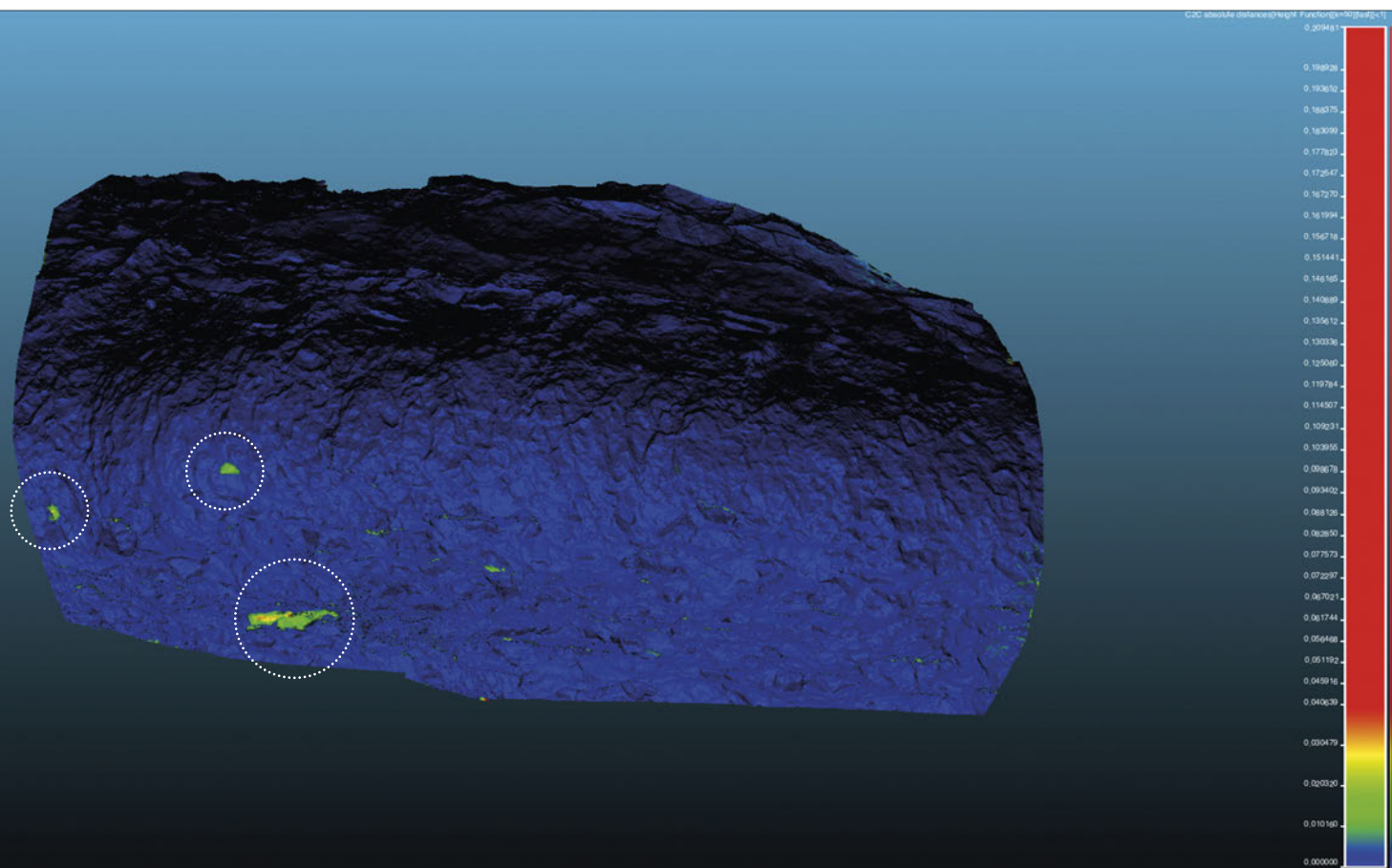


Figura 117. Detalle 1, situado en la base del abrigo, de la comparación noviembre 2013-enero 2014 en este abrigo. © J.F. Ruiz.

Figura 118. Zona del detalle 1 en noviembre 2013, en la que se aprecian los cambios de coloración causados por la caída del bloque de piedra (izda.) y en enero 2014 tras reponer los bloques caídos en su lugar de origen (dcha.). © J.F. Ruiz



119

#### 4.1.1.3. Detección de cambios volumétricos globales en el abrigo del Buen Aire I

En definitiva, en el Abrigo del Buen Aire I se han observado procesos de deterioro durante gran parte del periodo de monitorización, que afectan en exclusiva al panel 1. En éste se han detectado varias pérdidas de soporte de reducidas dimensiones, una de ellas relativamente cerca de pictografías, mientras que la base del panel 2 sigue mostrando los mismos signos de debilidad estructural apreciados anteriormente. Por otro lado, la suciedad acumulada en este abrigo se hace patente en las modificaciones que han sufrido la disposición de las telarañas, probablemente como consecuencia de la acción del viento.

Por último, hemos verificado la capacidad de detección de cambios volumétricos de *Cloud-Compare* sobre periodos de tiempo más prolongados. Para ello se han usado modelos 3D de febrero 2013 y de enero 2014, del sector 2 de este abrigo.

La comparación entre los modelos de esas fechas del panel 2 del Abrigo del Buen Aire I (Fig. 119) ha producido un acoplamiento correcto, con un RMS de 0,0030. La distancia media entre los modelos es de 0,0019 y la desviación estándar de 0,0035. En este caso se documentan a la perfección las alteraciones sufridas por el soporte, con pérdida de fragmentos de tamaño considerable, sobre todo en la base de la zona izquierda. Este tipo de deterioros del panel, son muy fácilmente detectables a través de comparaciones volumétricas efectuadas en periodos de tiempo medios y largos.

Figura 119. Comparación entre los modelos 3D de febrero 2013 y enero 2014 del sector 2 del Abrigo del Buen Aire I. © J.F. Ruiz

### 4.1.2. Fotografía gigapíxel

La comparación se ha realizado con el calco disponible (Mateo, 2005), en las dos fases del proyecto. En el panel 1, se aprecia una concordancia casi absoluta entre lo observable mediante las técnicas de descorrelación de imagen aplicadas y la reproducción.

Las diferencias puntuales se observan en el motivo 15-16, en las que podrían existir líneas de mayor longitud a las registradas. En la parte derecha del panel se aprecian multitud de restos de pintura, como indica el propio Mateo en su publicación, que debido a su escasa entidad no fueron incluidos en el calco. El tratamiento *DStretch*, tampoco permite identificar elementos significativos, aunque si una multitud de restos que demuestran que este panel ha sufrido un proceso de alteración considerable desde hace mucho tiempo.

Sin embargo, en el panel 2 si se observan discrepancias de mayor calado. Entre las figuras 87 y 88 se distingue una retícula de trazos más finos que los de dichas figuras, que parece estar superpuesta a la figura 88. También se observan unas líneas negras, que parecen insinuar una figura humana de grandes dimensiones, infrapuestas a la figura 86. A la derecha del panel, se aprecian restos, similares a los dientes de sierra, muy mal conservados.

En la segunda fase se volvió a constatar que las figuras del sector derecho del panel 1 presentan mayores problemas de conservación. Este es el caso, por ejemplo de la figura 75, un cuadrúpedo levantino, en el que la extensión de pigmento recogida en el calco parece claramente superior a la apreciable en la fotografía gigapíxel. No podemos afirmar cual es la causa, pero se plantean dos hipótesis al menos: pérdida de pigmento por descamación, o formación de una costra blancuzca que oculta las zonas rojas de la pintura.

En el caso del panel 2, aparte de las diferencias destacadas en la primera memoria, hay que resaltar que el área pigmentada a la izquierda del motivos 86 parece mayor, lo que podría corresponder a un área con restos de pintura muy lavados. El grueso de motivos presentan un problema de visualización por la densidad de la costra negruzca que los cubre.

Finalmente, se debe mencionar que también existen restos de pictografías de estilo levantino en el área inmediata a la puerta de acceso al abrigo, que no parecen haber sido documentados con anterioridad.

#### ABRIGO DEL BUEN AIRE I. FASE 1

Panel	1, sector izquierdo	1, sector centro	1, sector derecho	2
Fecha	03/07/2013	03/07/2013	03/07/2013	03/07/2013
Autor	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
Dimensiones pixeles (h x v)	32072 x 20534	24072 x 13998	33854 x 12997	28862 x 9751
Proyección	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	Hammer
Fotografías usadas	88	48	91	55
Cámara	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D
Objetivo	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM
Autor <i>DStretch</i>	Elia Quesada	Elia Quesada	Elia Quesada	Elia Quesada
Transformación	flat 5+ LDS 10+ 25°+ HSL sat 0.8/lum. 1.1	cb+ flat 5 +lxx. LDS (10)+ hue shif 15°+ hsl sat 0.8+flat 5	lds(10)+flat 5+ hue shift 24°+ adj. Col.(sat.0.8)+ hsl(lum.1.1)	lds(10)+cb

**ABRIGO DEL BUEN AIRE I. FASE 2**

<b>Panel</b>	1, sector izquierdo	1, sector centro	1, sector derecho	2
<b>Fecha</b>	10/11/2013	10/11/2013	28/01/2014	28/01/2014
<b>Autor</b>	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
<b>Dimensiones pixeles (h X v)</b>	26167 x 14221	19680 x 13361	39795 x 12618	29538 x 10570
<b>Proyección</b>	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	Hammer
<b>Fotografías usadas</b>	63	49	72	50
<b>Cámara</b>	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D
<b>Objetivo</b>	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM
<b>Autor DStretch</b>	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
<b>Transformación</b>	LDS 10, 19°, Auto contrast, Flatten 20, HSL sat 0.85 lum 1.1	LDS 10, 23°, Flatten 20, Auto contrast	Flatten 20, auto contrast, LDS 15, 36°, HSL sat 0.8 lum 1.1	LDS 10, 36°, Auto contrast, HSL sat 0.8 lum 1.1



Figura 120. Fotografía panorámica gigapíxel del paisaje en el que se enclavan el abrigo del Buen Aire I, y el abrigo del Buen Aire II.  
© E. Quesada





Figura 121. Fotografía panorámica gigapixel del sector izquierdo del panel 1 del abrigo del Buen Aire I, fase 1. © J.F. Ruiz.



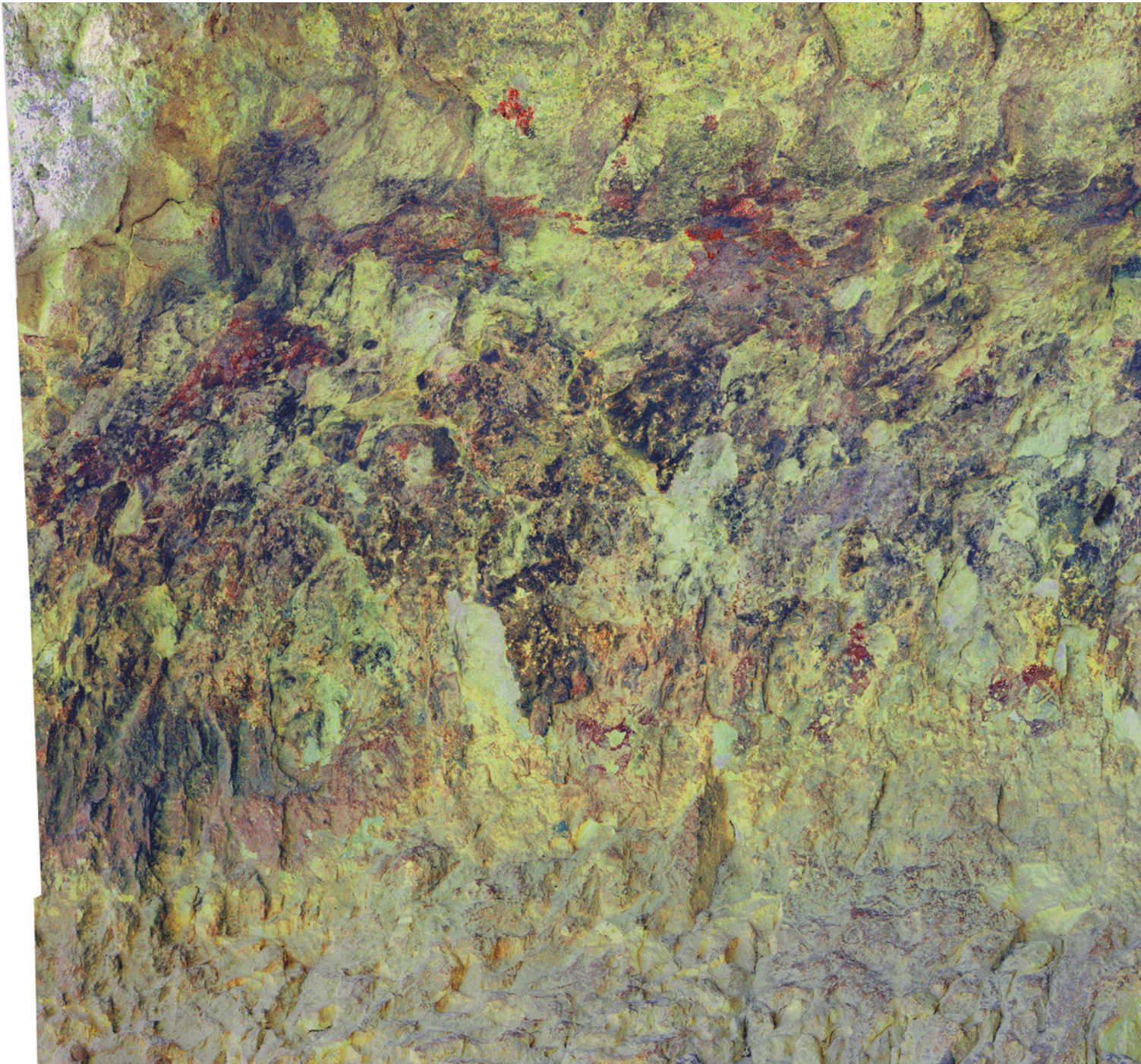
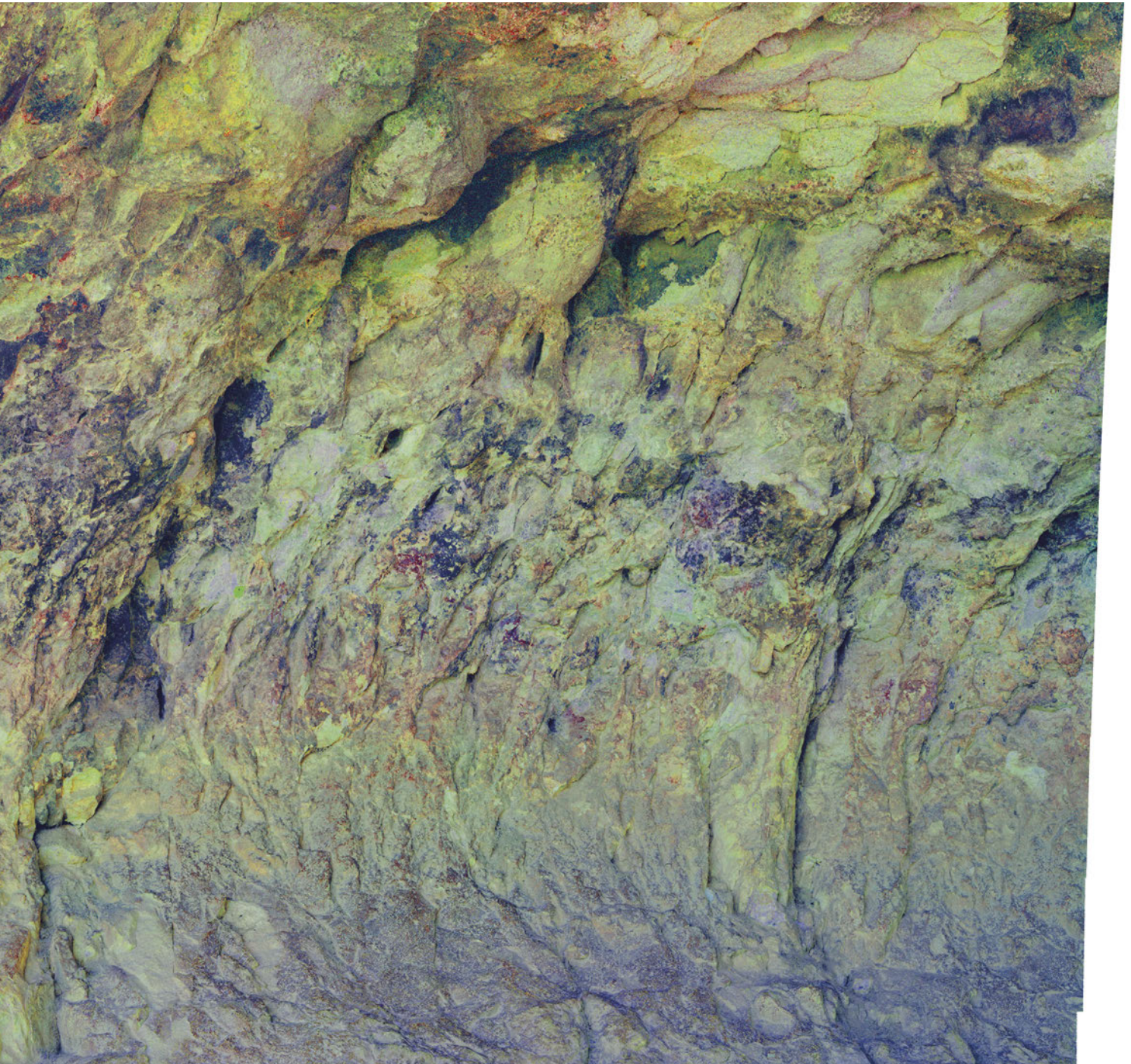


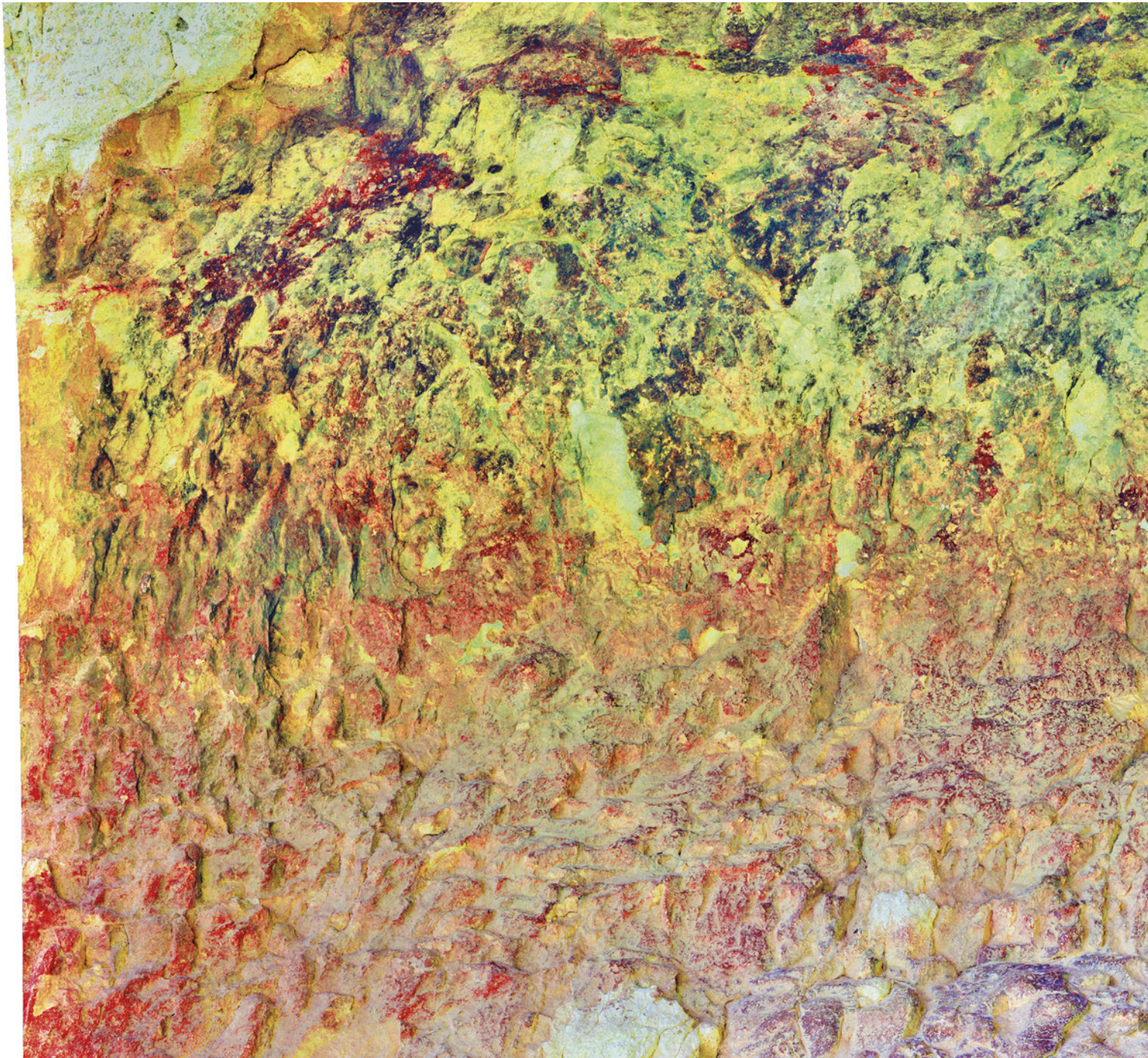
Figura 122. Gigapíxel de la fase 1 transformada mediante *DStretch* y comparación con los calcos realizados por Mateo (2005).  
© E. Quesada





122





123



Figura 123. imagen gigapíxel de la fase 2 transformada mediante DStretch y comparación con los calcos realizados por Mateo (2005).  
© J.F. Ruiz

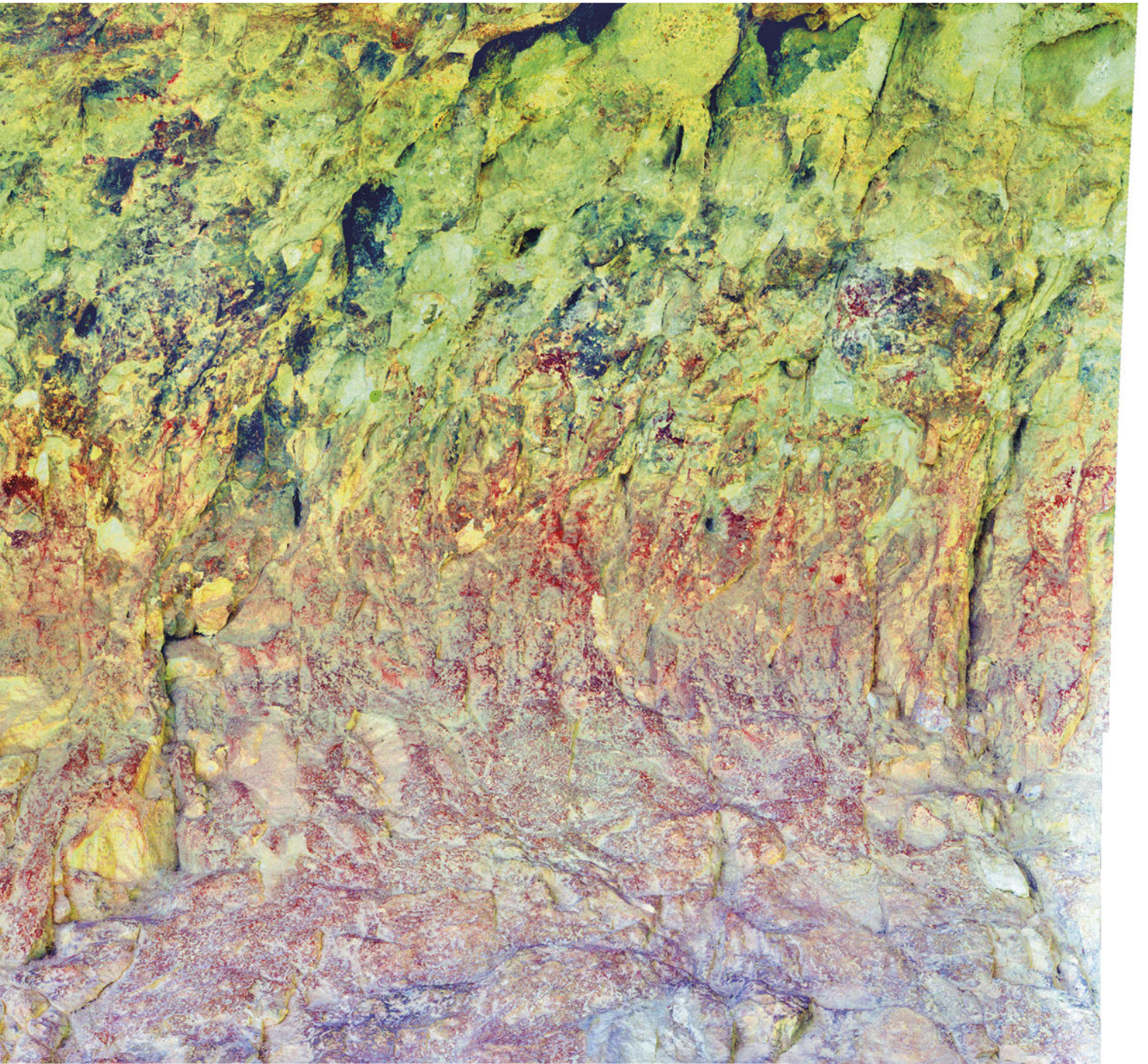
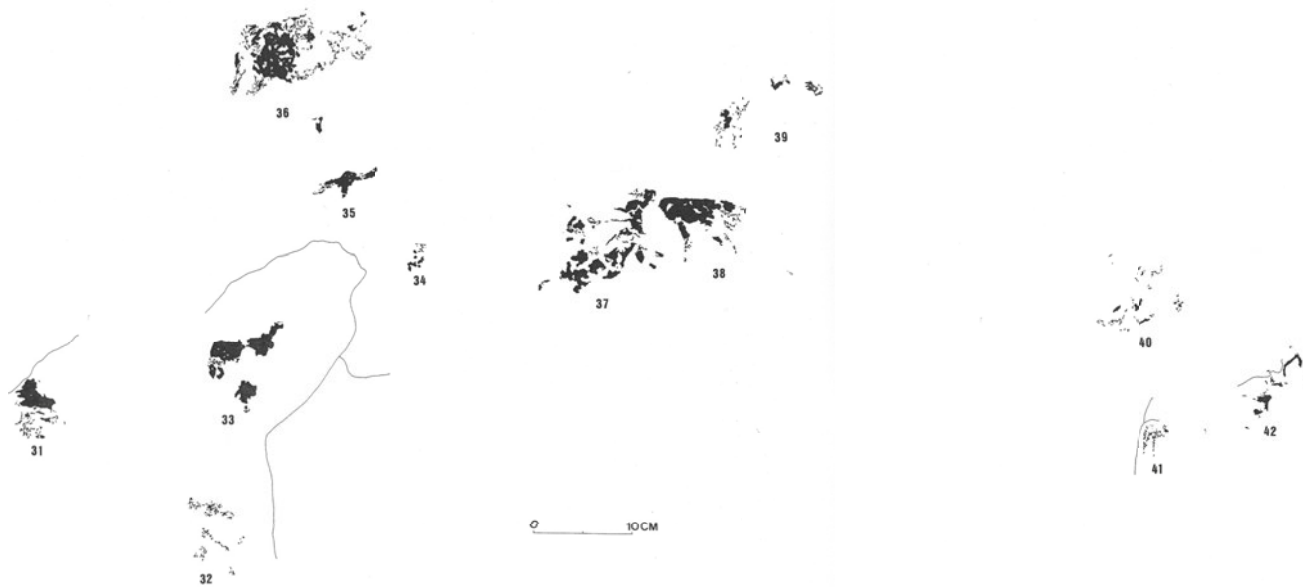
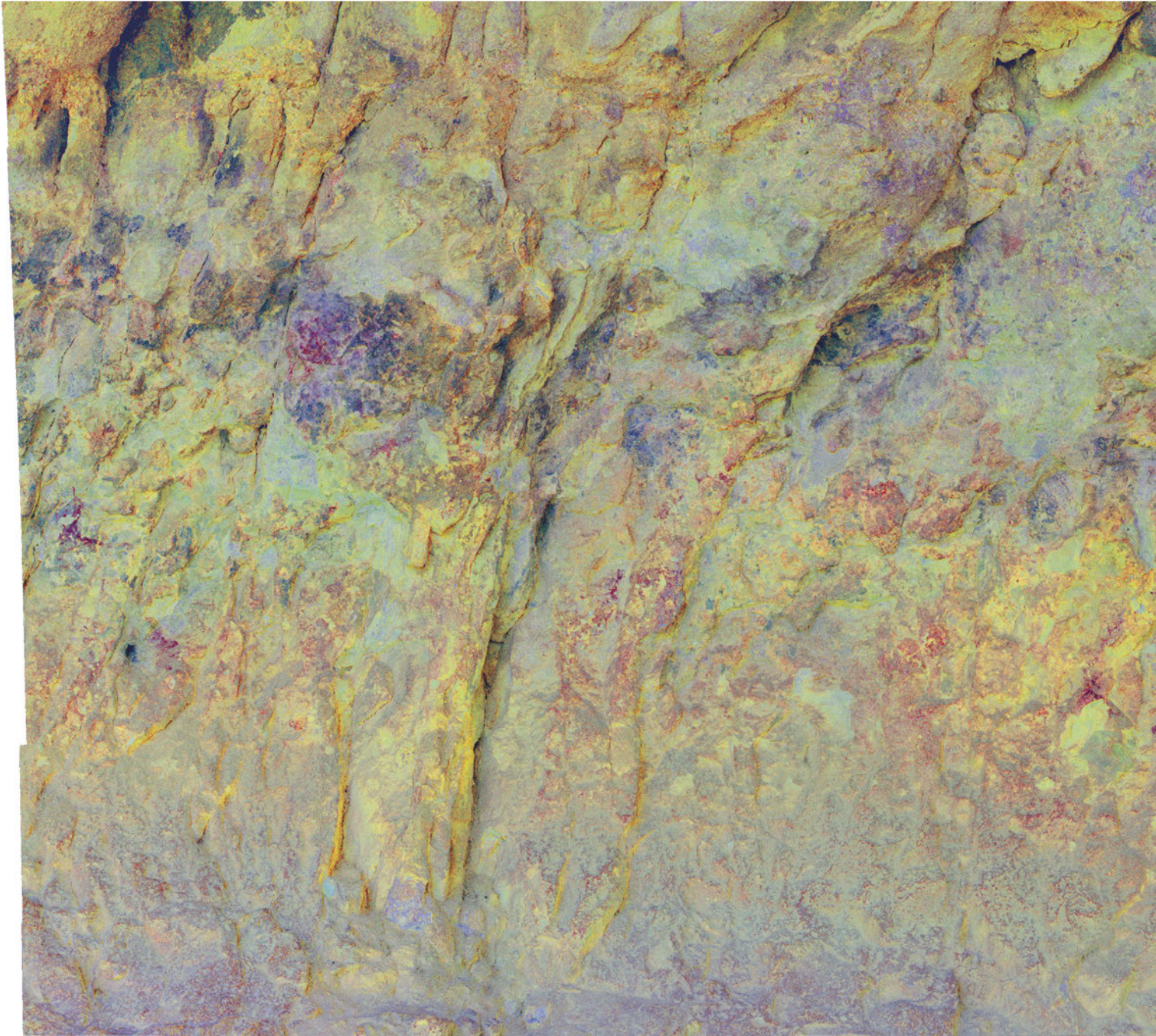


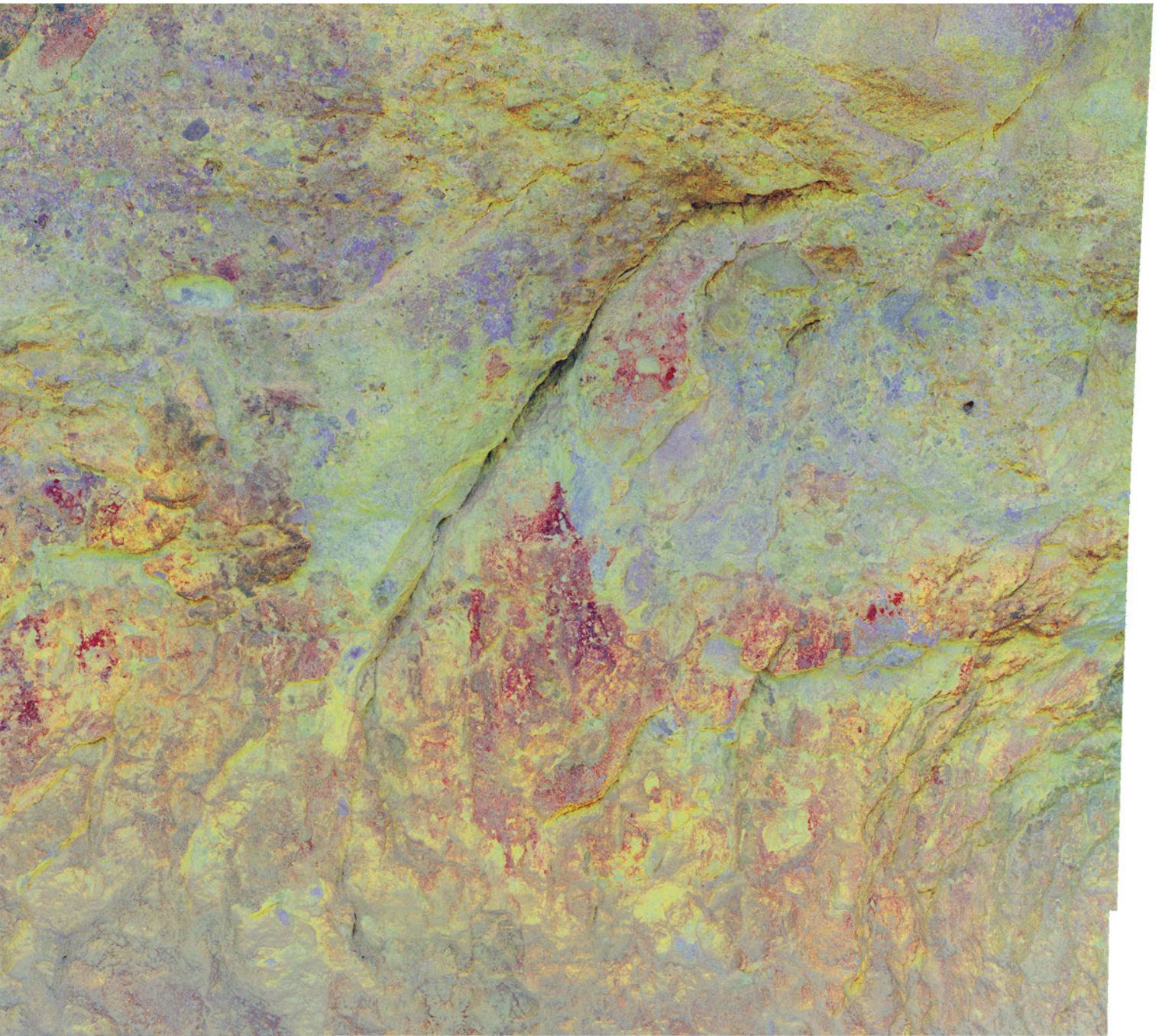


Figura 124. Fotografía panorámica gigapíxel del sector central del panel 1 del abrigo del Buen Aire I, fase 2. © J.F. Ruiz.

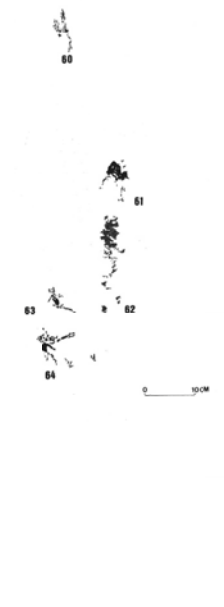
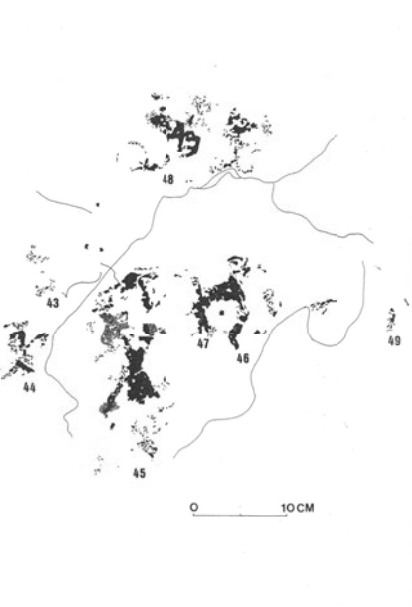
Figura 125. *Página siguiente*: Panorámica del sector central del abrigo, fase 1, tratada mediante *DStretch* y comparación con los calcos elaborados por Mateo (2005). © E. Quesada

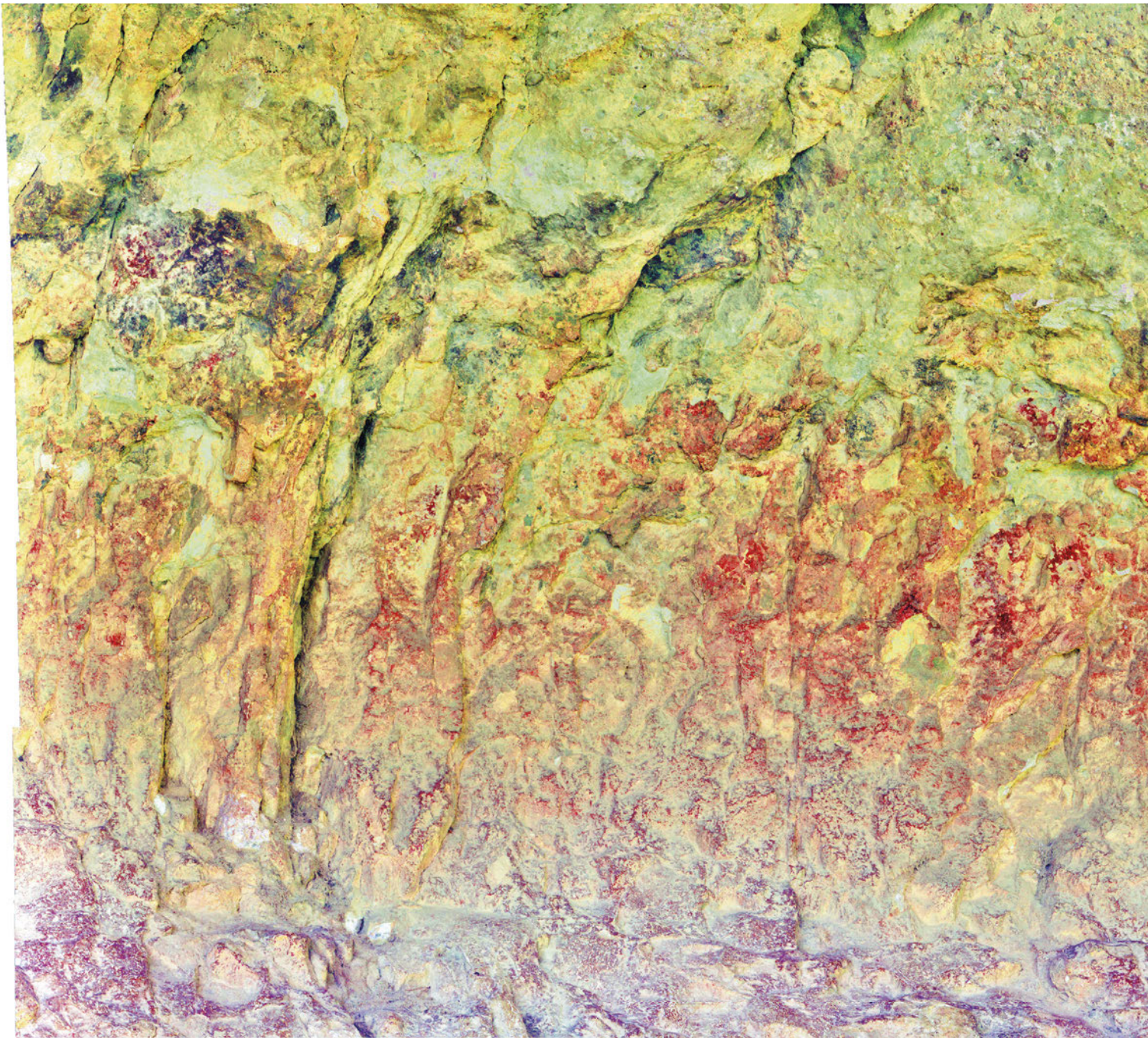




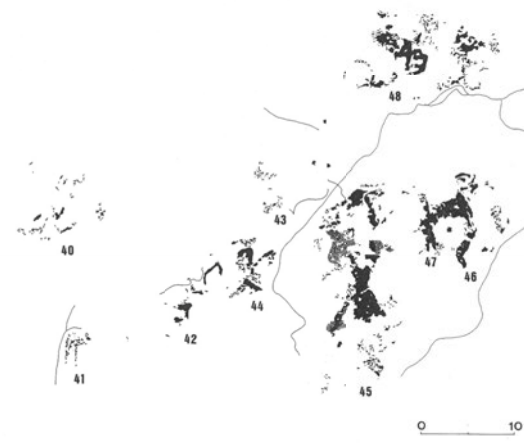


125



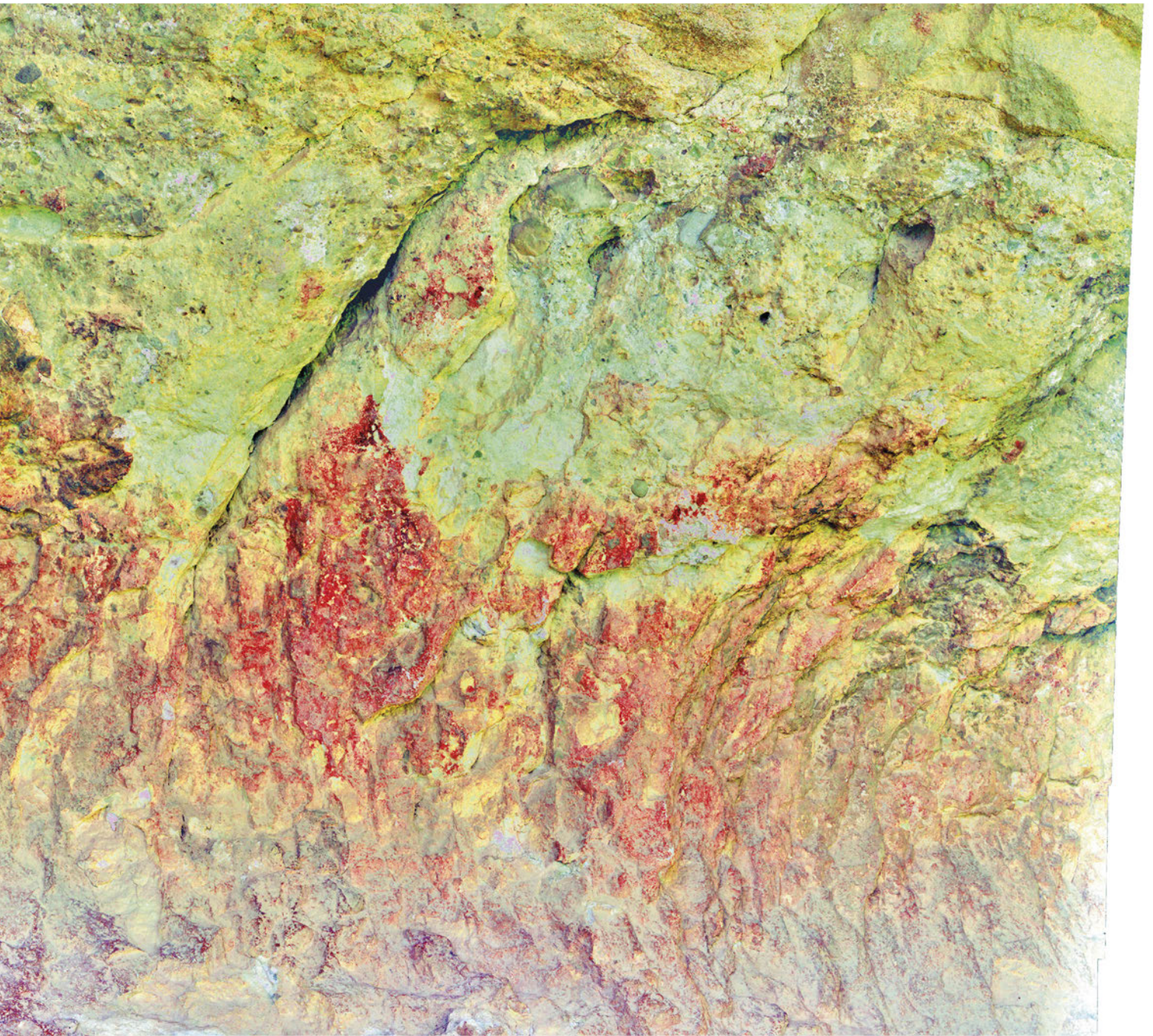


0 10CM



0 10





126



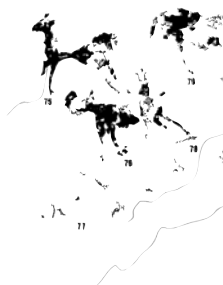
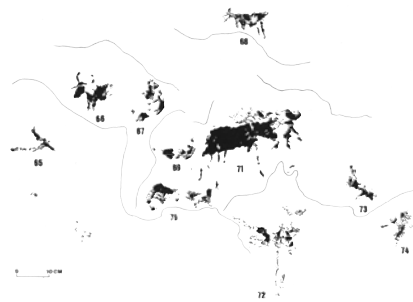
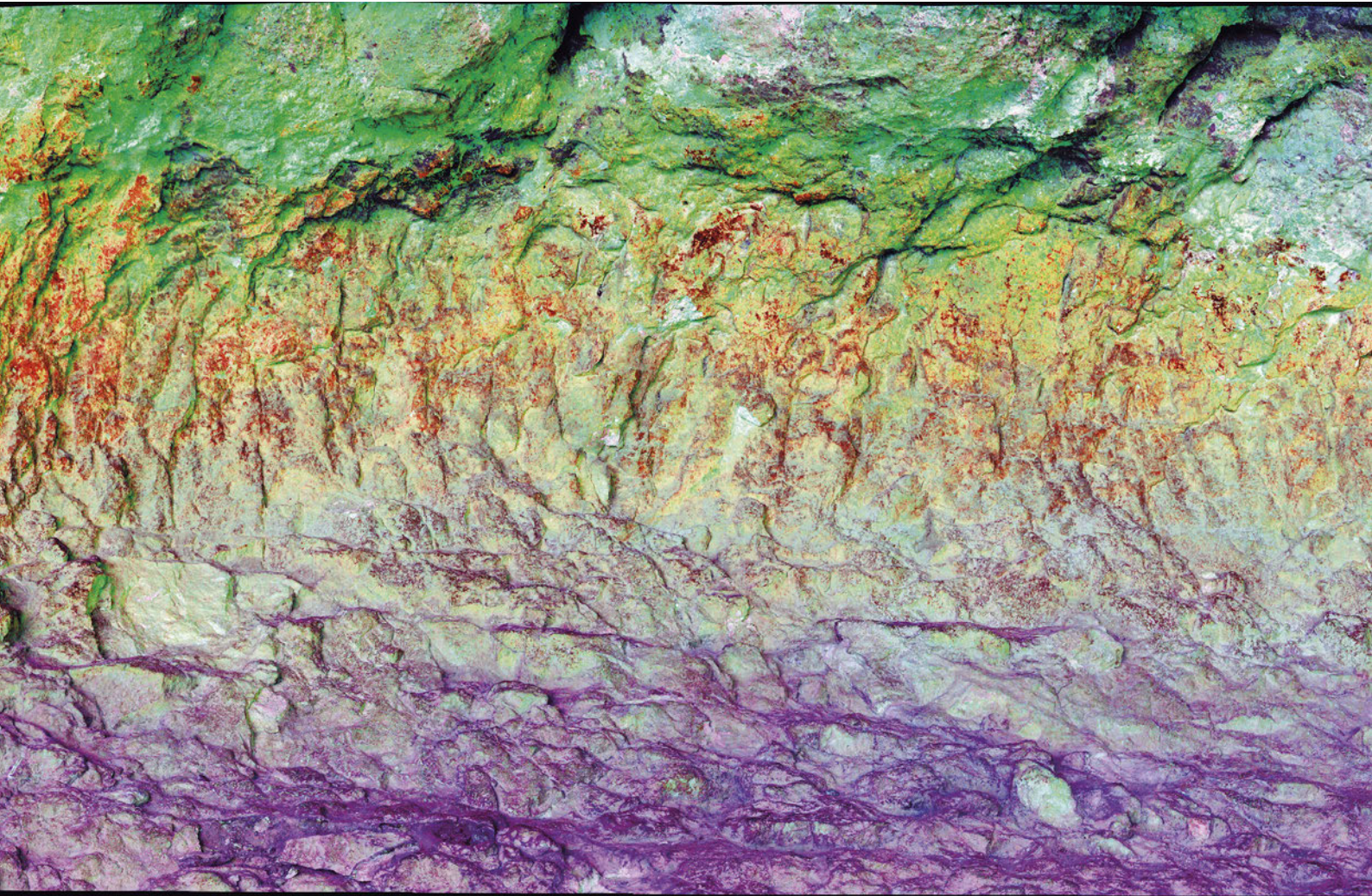


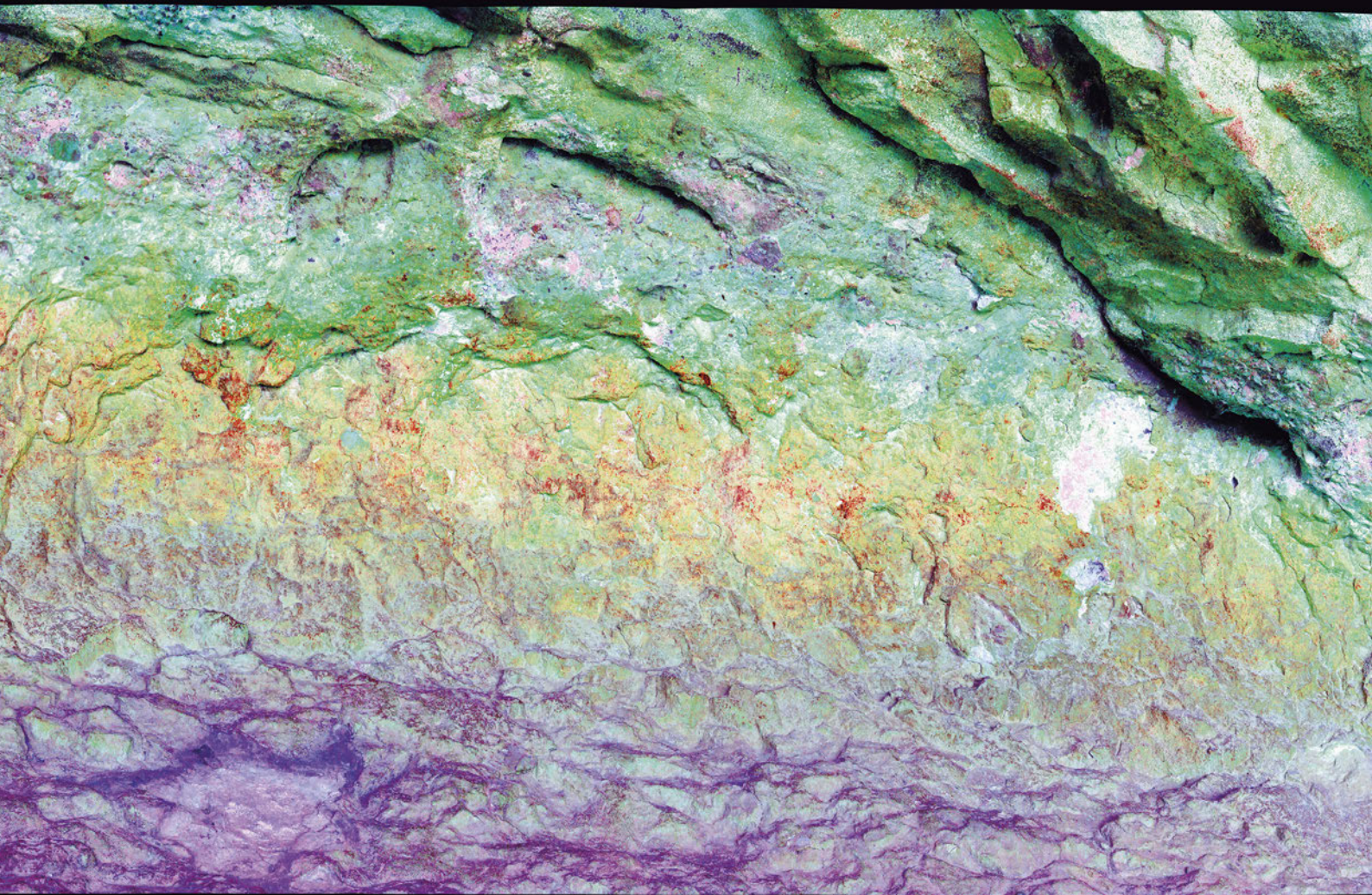
127

Figura 126. Pág. anterior: panorámica del sector central del abrigo, fase 2, tratada mediante DStretch y comparación con los calcos elaborados por Mateo (2005). © J.F. Ruiz

Figura 127. Fotografía panorámica gigapixel del sector derecho del panel 1 del abrigo del Buen Aire I. © J.F. Ruiz



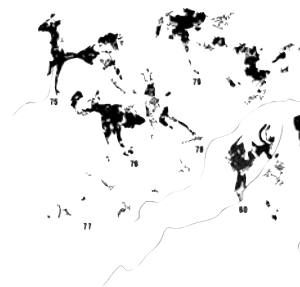
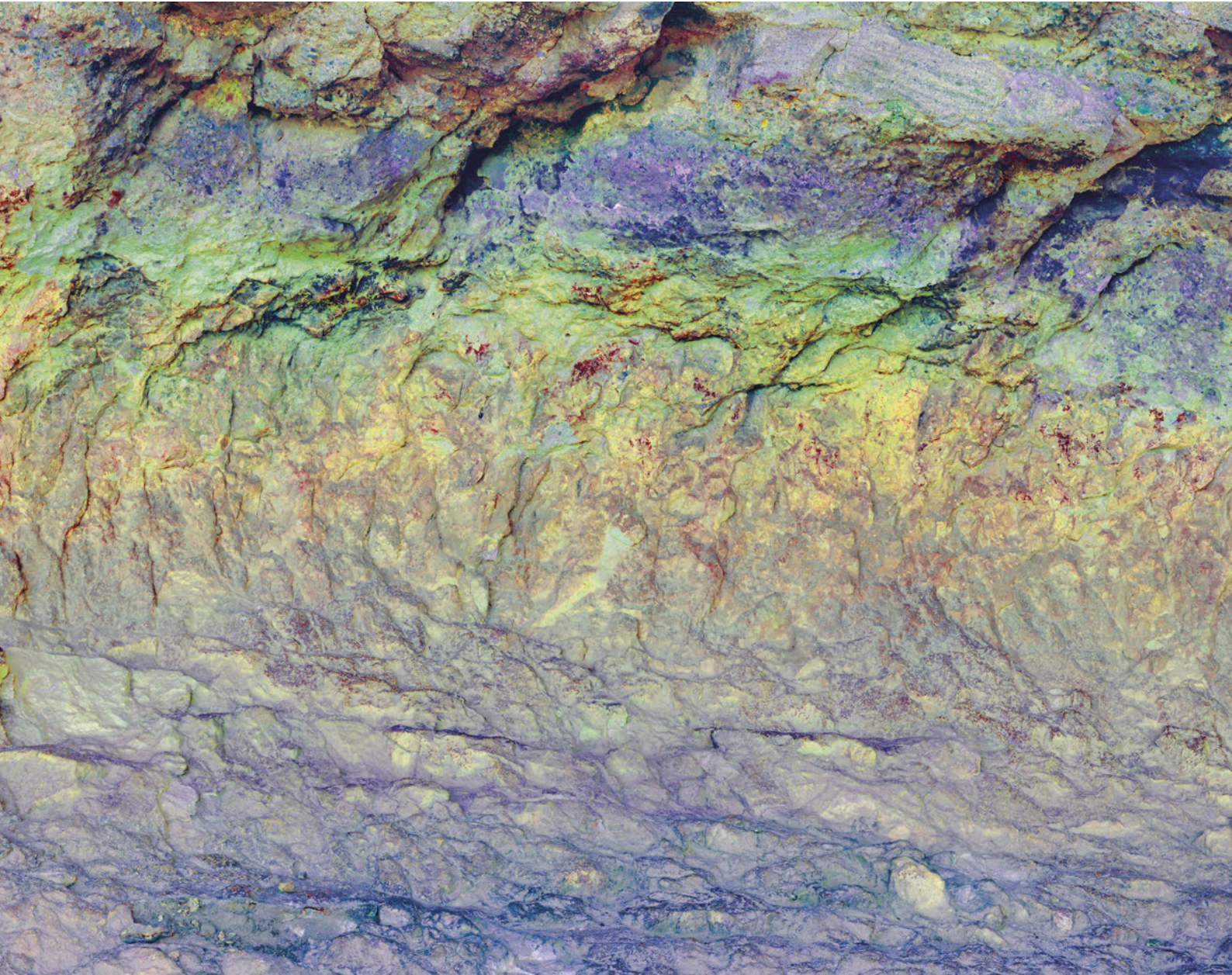


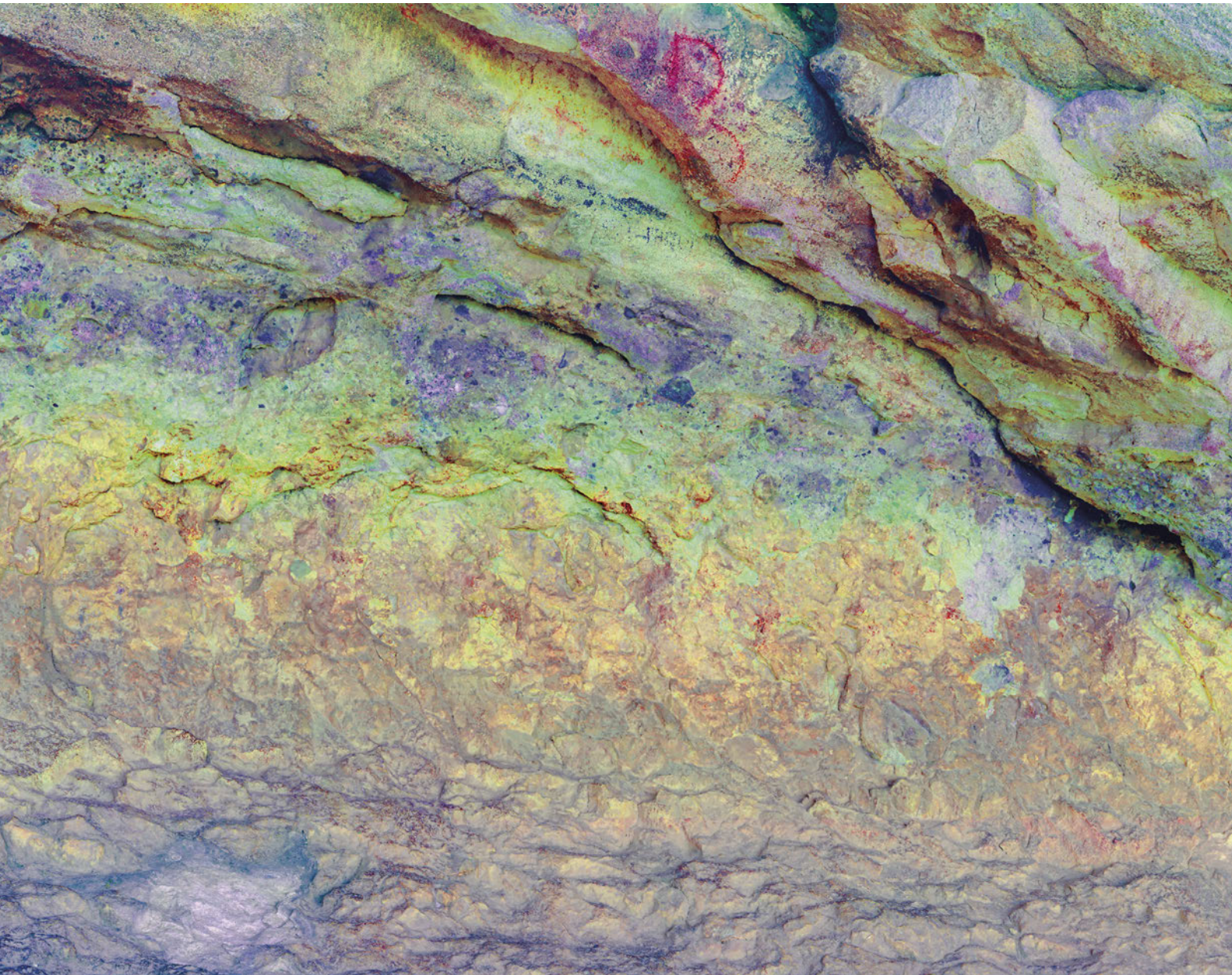


128



Figura 128. gigapíxel del sector derecho del abrigo, fase 1, tratada mediante *DStretch* y comparación con los calcos elaborados por Mateo (2005). © E. Quesada





129



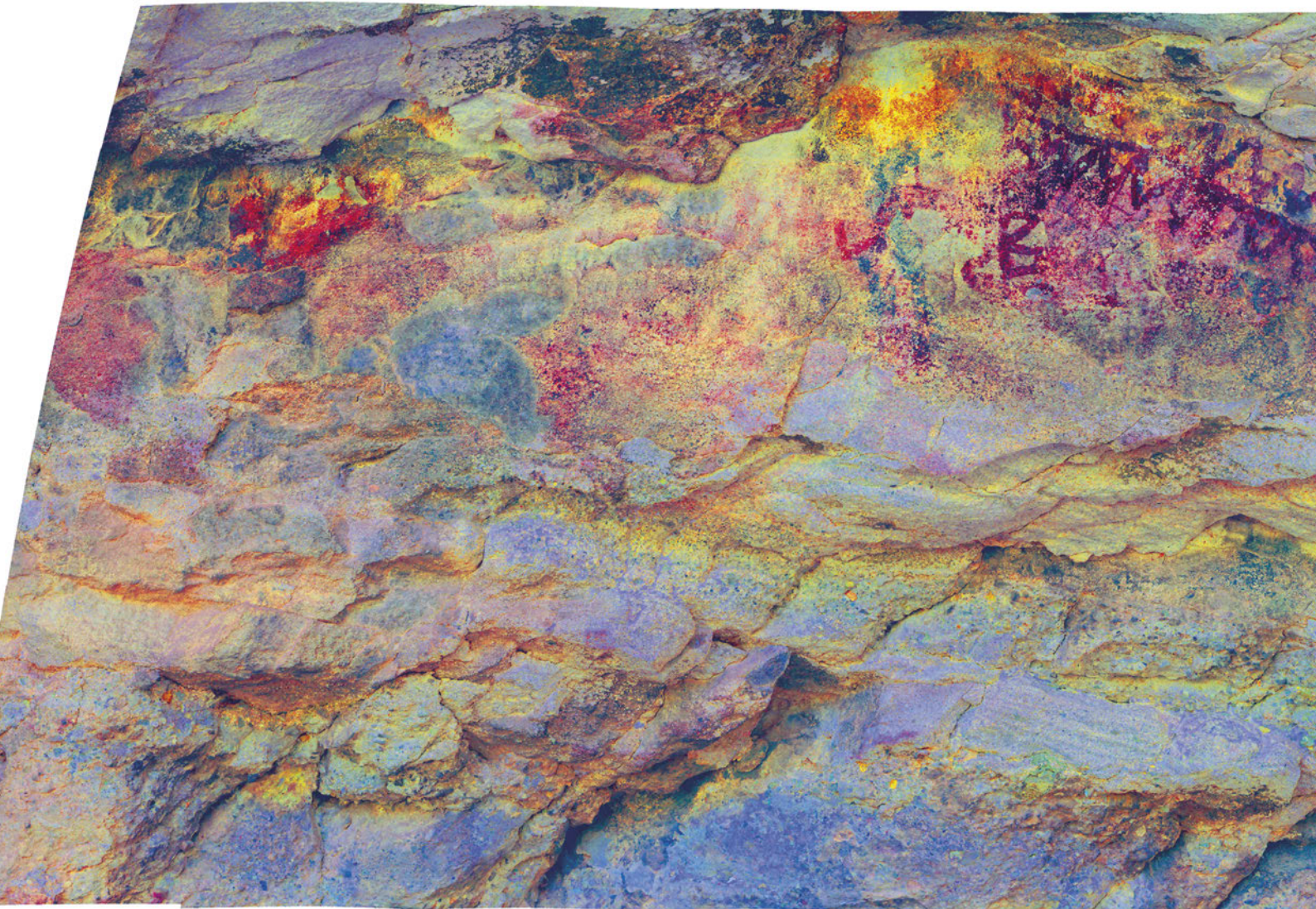
Figura 129. Gigapíxel del sector derecho del abrigo tratada mediante DStretch, fase 2, y comparación con los calcos elaborados por Mateo (2005). © J.F. Ruiz







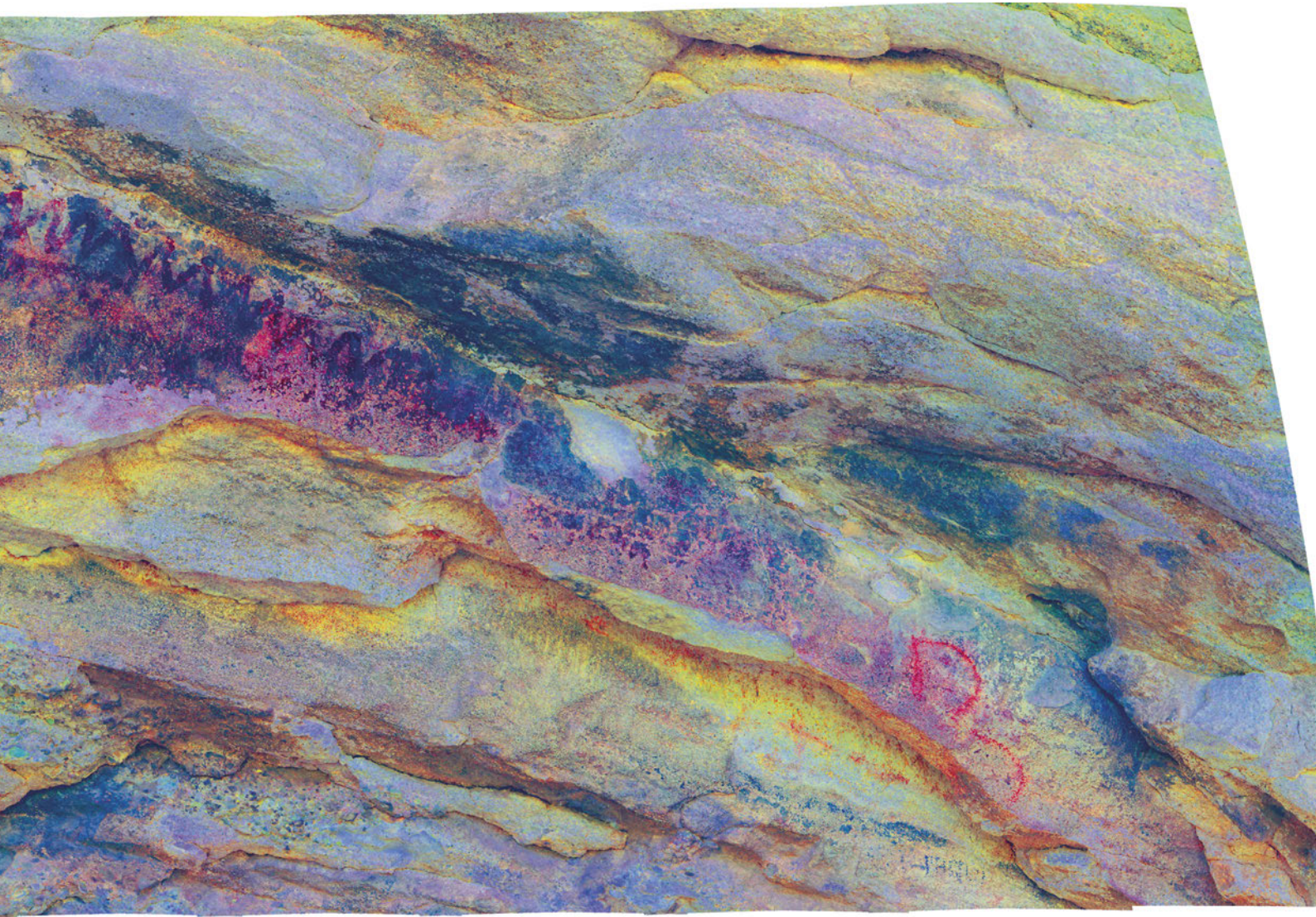
Figura 130. Fotografía panorámica gigapíxel del panel 2 del abrigo del Buen Aire I, fase 1.  
© J.F. Ruiz.



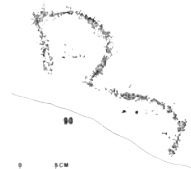
131



Figura 131. Panorámica del panel 2 del abrigo (fig. 142) tratada mediante *DStretch* y comparación con los calcos elaborados por Mateo (2005). © E. Quesada



89



90

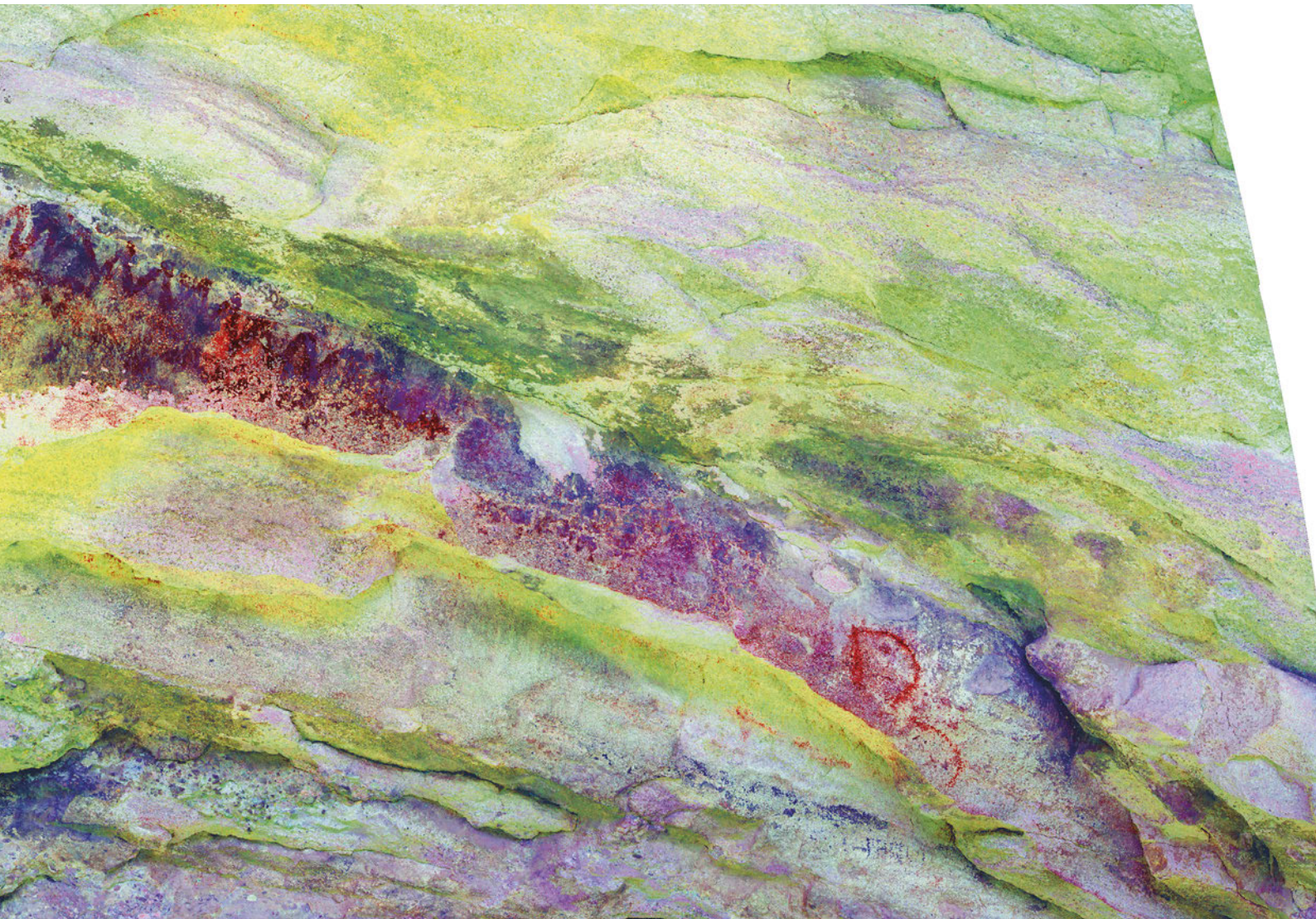




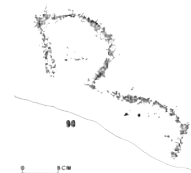
132



Figura 132. Panorámica del panel 2 del abrigo, fase 2, tratada mediante DStretch y comparación con los calcos elaborados por Mateo (2005). © J.F. Ruiz



0 25 M



0 1CM

### 4.1.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico

En lo que respecta al panel 1 de la cavidad, las formas de alteración más frecuentes son las que se engloban en el grupo 1 (modificaciones superficiales). En este sentido, se observan: a) variaciones cromáticas (p.e. pátinas por palpación en las proximidades de las pinturas) ; b) depósitos (p.e. depósitos superficiales - deposición de material particulado sobre el panel – y depósitos de sales - eflorescencias y subeflorescencias); c) costras (p.e. presencia de coladas calcíticas tanto en el panel como a los pies del mismo). Asimismo, se documentan formas propias de los grupos 2 y 3 tales como disyunciones (p.e. separación de escamas y placas) y rupturas (p.e. fisuras). La presencia de humedades se hace más evidente en la parte media de la cavidad. Hemos documentado fisuras y grietas de gran calibre, así como importantes desconchados (2,4 cm<sup>2</sup>) aunque la separación de escamas es predominante (15%) en la superficie total.

Por su parte, en el panel 2 se denotan unas variaciones cromáticas muy acusadas (p.e. recubrimiento de color amarillo-anaranjado cubriendo la parte superior del mismo y presencia generalizada de un recubrimiento negruzco), así como la presencia de depósitos de sales (p.e. eflorescencias) en la parte media del panel. El proceso de descamación aún está activo en este panel (se aprecian escamas) lo que está ocasionando la desfiguración de las pinturas. Además se identifican manchas de palpación directa sobre las pinturas.

#### 4.1.3.1. Contexto geológico

El abrigo del Buen Aire se encuentra en el monte Peñarrubia, entre el “Barranco del Buen Aire” y “Puntal Casa Quemada” y entre la sierra de la Cingla y la sierra de Grajas. La montaña se alza 907 m sobre el nivel del mar y unos 300 m respecto a la planicie circundante.

A los depósitos que lo conforman se les atribuye una edad comprendida entre el Serravaliense y el Tortoniense inferior. Los autores del mapa geológico de la Hoja de Ontur (IGME, Mapa Geológico de España, Hoja 844) (Fig. 133) definen la formación como “Biocalcarenitás” y la describen como una

unidad constituida por calizas bioclásticas, más o menos arenosas, con cambios laterales de facies (a lo largo de la sierra de la Cingla se observan cambios laterales a niveles conglomeráticos masivos, a secuencias granocrecientes de calizas bioclásticas y de ahí a margas blancas).

En el estudio paleontológico los autores de la hoja han identificado abundantes restos de foraminíferos bentónicos (p.e. *Globorotalia gr. acostaensis*, *Globorotalia gr. menardi*, *Globigerinoides aff. sacculifer*, *Orbulina universa*, *Globorotalia aff. scitula*, *Elphidium crispum*), pelecípodos, briozoos, algas rodofíceas y equinidos, entre otros.

El ambiente de deposición de estos materiales es esencialmente litoral.



Esta formación presenta una fuerte influencia de terrígenos, manifestada por el alto porcentaje de granos de cuarzo que alberga, y desde el punto de vista petrológico podría definirse como un grainstone-rudstone (según Dunham, 1962).

#### 4.1.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial

Se han seleccionado un total de cuatro muestras de los productos de alteración del abrigo del Buen Aire para su descripción químico-mineralógica detallada teniendo en cuenta sus características organolépticas y su localización (Tabla 5).

La observación de las muestras mediante la lupa y microscopio óptico polarizado (anexos 3-6)<sup>10</sup> nos ha permitido describir con detalle la textura y morfología de los cuatro tipos de recubrimientos. En este sentido, cabe decir que existe una gran variedad tanto a nivel de estratigrafía de las secciones como a nivel composicional. BA001 y BA003 corresponden a recubrimientos estratiformes, es decir, que se trata de recubrimientos con estructura multicapas, más específicamente de estructuras estromatolítica con distintas fases de crecimiento. En BA003 la sucesión de capas es muy amplia (se han identificado hasta 5 capas) que presentan distinta composición y textura, lo que sugiere la presencia de mecanismos de formación diversos. BA004 y BA005 presentan una apariencia y sucesión de capas más sencilla y bastante similar.

La observación y análisis SEM-EDX de las superficies de las costras BA001 y BA003 (anexos 3-4)<sup>11</sup> nos permite identificar la presencia de pequeñas partículas dispersas de óxidos metálicos (hierro (Fe), zinc (Zn) y titanio (Ti) en su mayoría), además de sugerir la presencia de sílice [SiO<sub>2</sub>] –cuarzo– y aluminosilicatos (atribuida a la aportación externa de partículas) y la presencia de sulfato cálcico [CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O] –yeso– (lo que sugiere que se está dando un proceso de sulfatación).

Adicionalmente, en BA001 se ha detectado la presencia de partículas de forma esférica. Según la morfología (partículas esféricas con la superficie lisa) y la composición (aluminio-silicatadas cálcicas) de las mismas podemos clasificarlas como esférulas de incendios tipo J (Aires Barros, 2001).

En lo que se refiere a la muestra BA004 y BA005 (anexos 5-6)<sup>12</sup>, dadas la similitudes comentadas anteriormente, solo se ha procedido al análisis de una de las muestras. Así, la observación y análisis de la superficie de la muestra BA004 ha permitido identificar la presencia masiva de cristales de yeso así como algunas trazas de silicio (Si), aluminio (Al) y magnesio (Mg). Cabe destacar que en el análisis EDX del soporte de dicha muestra también se ha detectado la presencia de calcio (Ca) y azufre (S) – probablemente yeso –, lo que indicaría que el proceso de sulfatación está empezando a afectar en profundidad y explicaría la presencia acusada de escamas sobre el panel.

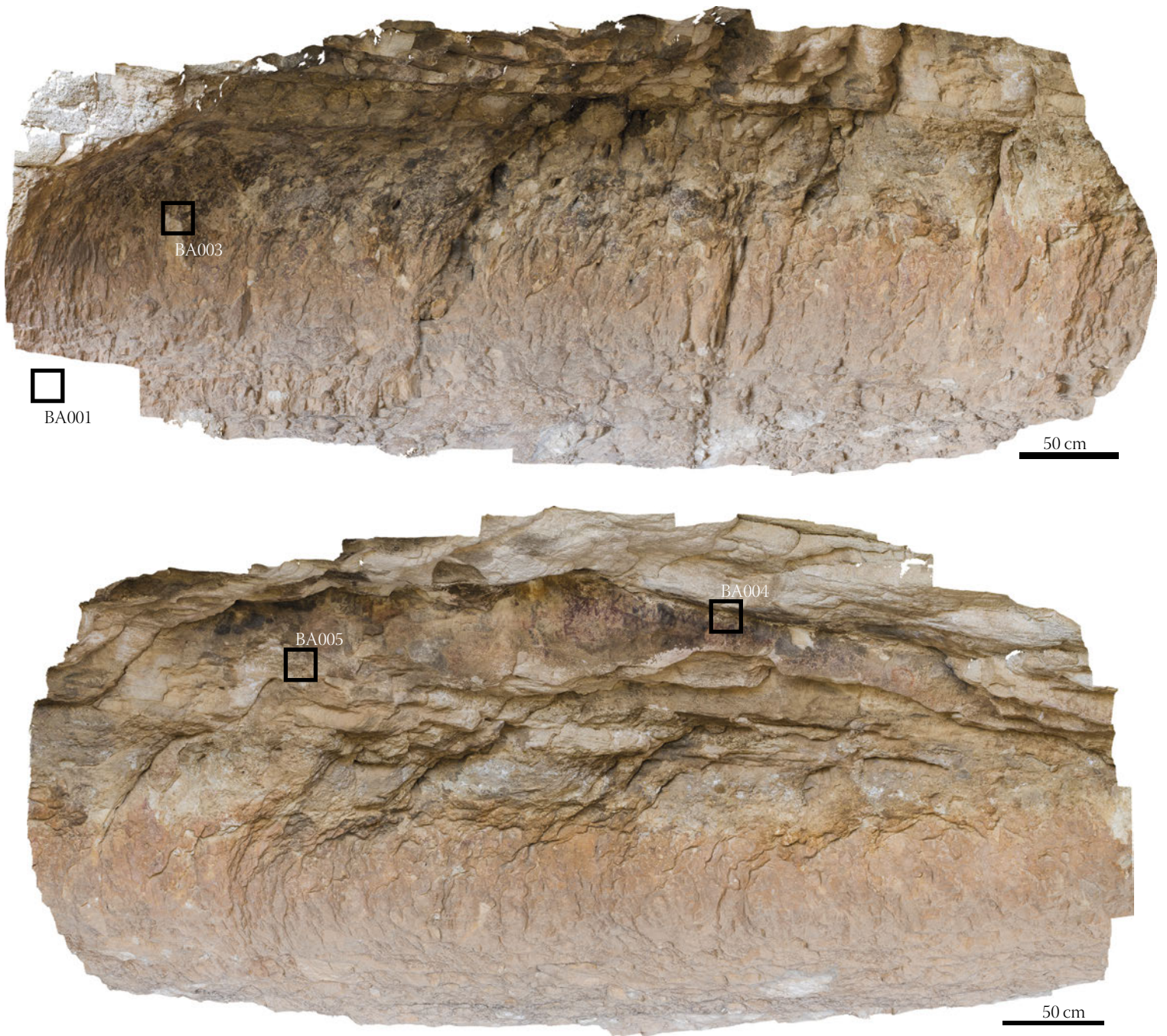
.....

<sup>10</sup>. Disponible en la versión digital, descargable en <http://www.cuadernosdearterupestre.es/arterupestre/libro4D.pdf>

<sup>11</sup>. Disponible en la versión digital, descargable en <http://www.cuadernosdearterupestre.es/arterupestre/libro4D.pdf>

<sup>12</sup>. Disponible en la versión digital, descargable en <http://www.cuadernosdearterupestre.es/arterupestre/libro4D.pdf>

Figura 133. Mapa geológico de los alrededores del Abrigo del Buen Aire (modificado de Mapa Geológico de España, Hoja 844 IGME). En amarillo aparecen los materiales correspondientes a la formación que compone el abrigo.



134

Figura 134. Localización de los puntos de muestreo sobre las ortofotos generadas con PhotoScan Pro del sector 1 (arriba) y del sector 2 (abajo) del abrigo del Buen Aire I. © J.F. Ruiz.

Figura 135. Microfotografía in situ de la zona de muestreo BA001. © À. Pitarch.

Figura 136. Microfotografía a la lupa de la muestra BA001. © À. Pitarch.

Figura 137. Microfotografía in situ de la zona de muestreo BA003. © À. Pitarch.

Figura 138. Fotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra BA003. © À. Pitarch

Los resultados preliminares de los análisis químico-mineralógicos realizados sobre las muestras del Abrigo del Buen Aire ponen de relieve que las modificaciones superficiales que presenta dicha cavidad responden a la intervención de diversos factores donde se superponen mecanismos de crecimiento de organismos de distinta índole y/o mecanismos de degradación puramente físico-químicos.



TABLA 5. RELACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS DEL ABRIGO DEL BUEN AIRE I

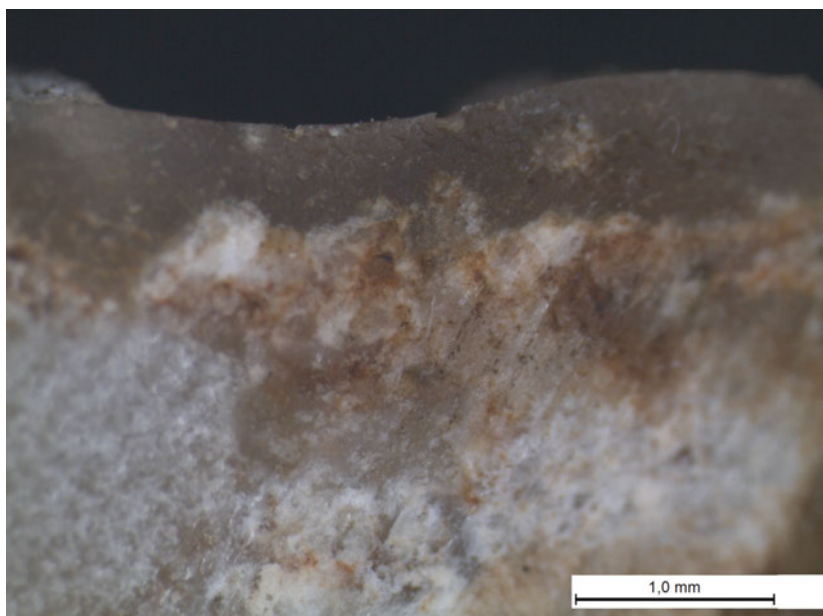
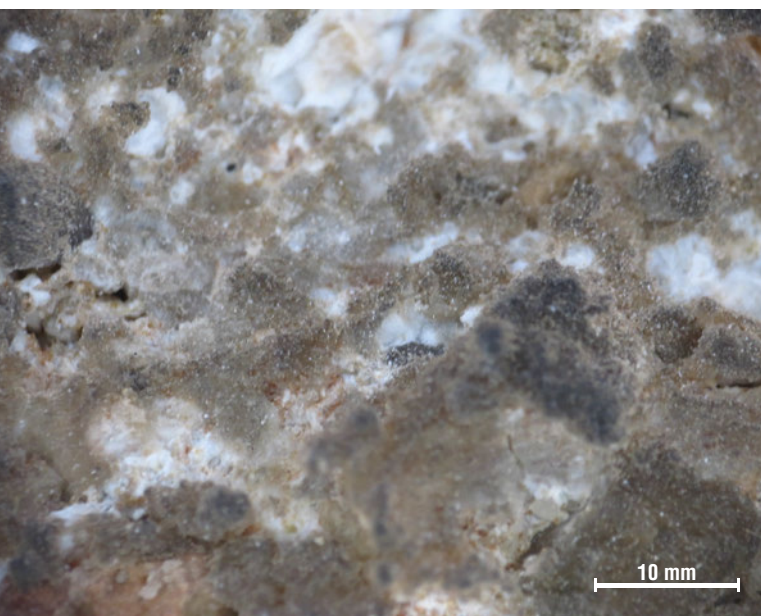
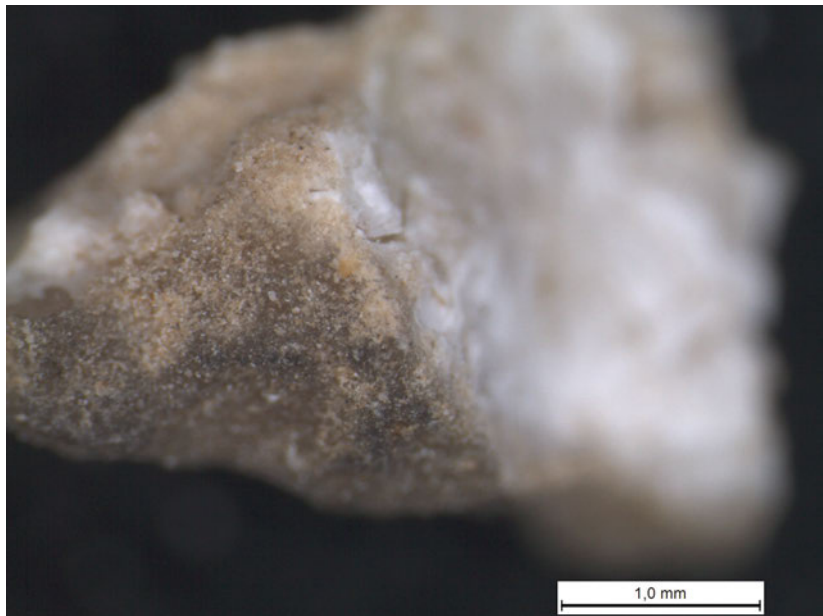
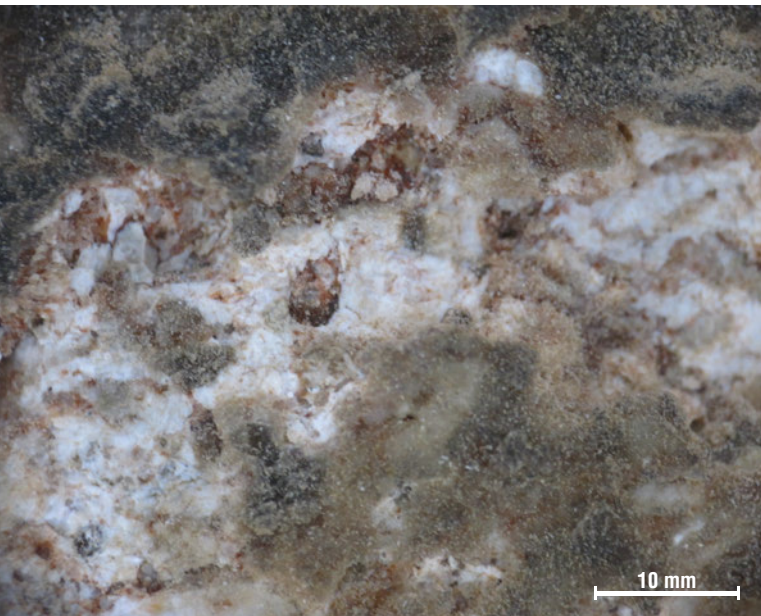
Referencia	Fotografías	Descripción
BA001	Figura 135 Figura 136 Anexo 3	RECUBRIMIENTO ANARANJADO  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color anaranjado, de poco grosor, muy compacto y con buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> franja media, a la derecha del abrigo.
BA003	Figura 137 Figura 138 Anexo 4	RECUBRIMIENTO GRIS  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color grisáceo, con un grosor considerable y poca adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> franja superior negruzca (encima de las pinturas).
BA004	Figura 139 Figura 140 Anexo 5	RECUBRIMIENTO NEGRA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color negruzco, de poco grosor y poca adherencia con el sustrato (proceso de descamación).  <u>Localización:</u> franja superior negruzca (encima de las pinturas del panel 2).
BA005	Figura 141 Figura 142 Anexo 6	RECUBRIMIENTO NEGRA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color negruzco, de poco grosor y poca adherencia con el sustrato (proceso de descamación).  <u>Localización:</u> techo; parte central del abrigo.

135 136



137 138

139 140



141 142

#### 4.1.4. Análisis químicos

Figura 139. Microfotografía in situ de la zona de muestreo BA004. © À. Pitarch.

Figura 140. Fotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra BA004. © À. Pitarch.

Figura 141. Microfotografía in situ de la zona de muestreo BA005. © À. Pitarch.

Figura 142. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra BA005. © À. Pitarch.

Con el objetivo de complementar las técnicas de análisis de imagen para la detección de cambios y alteraciones que se hayan podido producir en las diferentes pictografías, soporte rocoso y/o patinas correspondientes al Abrigo del Buen Aire, se realizaron diferentes análisis in situ. Las localizaciones de los puntos donde se han realizado los citados análisis han sido seleccionados teniendo en cuenta dos importantes aspectos, por un lado el interés del panel y en pictografías seleccionadas previamente por su estado de conservación así como por sus características.

En junio de 2013 y enero del 2014 en el panel del Abrigo del Buen Aire han sido llevados a cabo más de 58 análisis mediante EDXRF y más de 36 medidas in situ por espectroscopia Raman.

De manera adicional, se realizaron medidas por espectroscopia Raman sobre muestras de eflorescencias desprendidas de la superficie del abrigo haciendo uso de equipo de laboratorio con la finalidad de caracterizar cada una de las eflorescencias encontradas en el abrigo de Buen Aire.

#### 4.1.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF)

Los resultados de las campañas de análisis realizadas en junio de 2013 y enero de 2014 aparecen en las Fig. 144 y 145, a partir de los análisis realizados mediante el espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil en el Abrigo del Buen Aire (Fig. 143). Cada uno de los datos asociados a diferentes zonas de medida se ofrece como media de tres determinaciones en el mismo punto de análisis, con el fin de obtener datos representativos. En la citada figura aparece también representada en forma de barras, la desviación estándar asociada a las tres citadas medidas. En las Figs. 146-149 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante EDXRF.

Como se ha indicado anteriormente la determinación de los elementos presentes se realiza de manera semicuantitativa (aproximación del valor de concentración en cada punto de medida del panel del abrigo), es decir, únicamente se considera válida para comparar diferentes puntos en un mismo panel dentro del abrigo.

Salvo en contadas ocasiones, en los análisis realizados no se detectaron elementos minoritarios (aquellos que están en concentraciones menores al 5%) y el resto de elementos detectados por debajo del 1% se obviaron, dada la incertidumbre de la medida. Como era de esperar, tanto en la campaña de análisis realizada en junio de 2013 como en la de enero de 2014, únicamente dos elementos aparecen como elementos mayoritarios, el calcio (Ca) y el hierro (Fe).

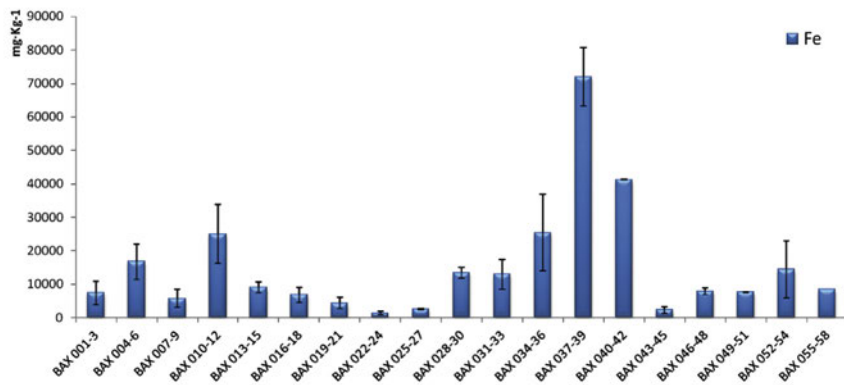
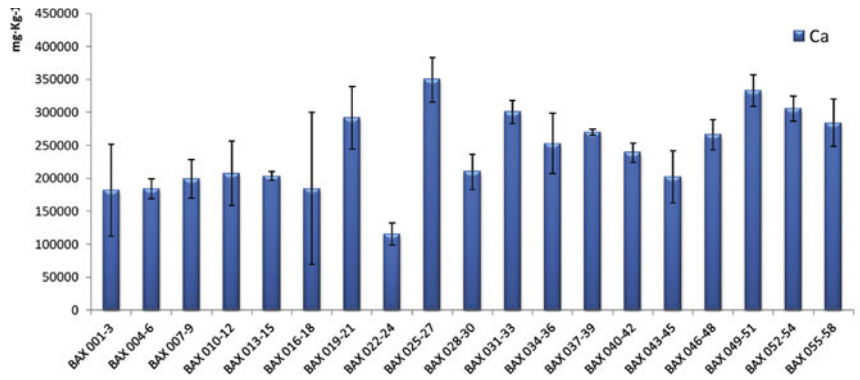
El calcio aparece como elemento mayoritario en todo el Abrigo Buen Aire, los elevados niveles de concentración nos están indicando que se trata de un soporte calcáreo. Esta hipótesis se confirma por los resultados del análisis Raman, donde se identifica calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) como compuesto principal del soporte rocoso donde están cada uno de las pictografías. El calcio proviene de la roca madre aunque no se puede descartar la presencia de otros compuestos en forma de pátina como veremos en los resultados relativos a la espectroscopia Raman (e.j. yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y/o whewellita ( $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )).

Comparando los valores encontrados en distintas zonas del panel del Abrigo del Buen Aire se pueden apreciar diferencias en las concentraciones de calcio y hierro (ver Tabla 6). En todos los puntos se encontró una mayor concentración de calcio con respecto al hierro, lo que sugiere, en aquellos puntos donde se ha medido la pictografía, que la capa de pigmento es muy fina, que puede existir pérdida de granos de pigmento, etc.

Para el caso del calcio, al igual que en la campaña de junio 2013, en la mayoría de los puntos medidos se encuentran valores entorno a 200000 mg/kg. Una vez más, es el punto (BAX022-24), el que presenta valores significativamente más bajos de concentración de Ca. En dicho punto, se apreciaba la presencia de eflorescencias (sales que precipitan en la superficie), en este caso, tal vez algún sulfato, carbonato o nitrato de sodio o potasio y por eso la concentración de calcio aparece más baja. Por otro lado, en los puntos donde la concentración de calcio es



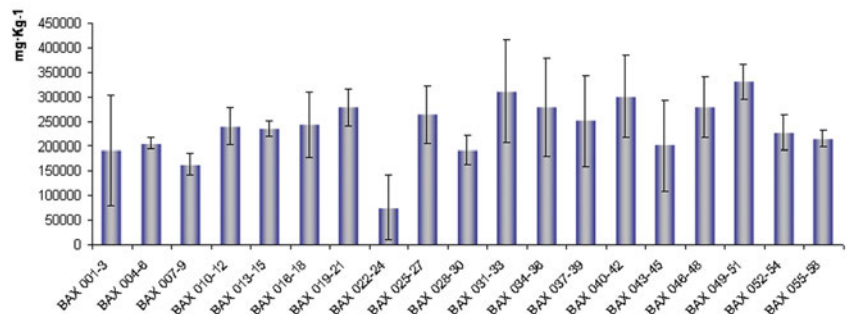
143



144

145

Ca (mg/Kg)



Fe (mg/Kg)

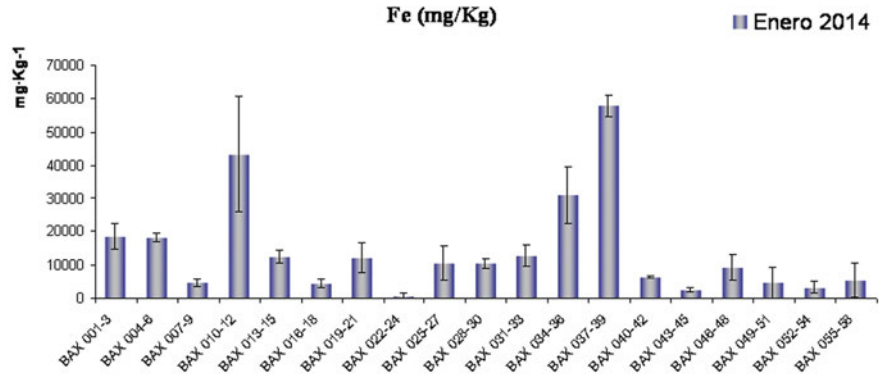


Figura 143. Recogida de datos con EDXRF en el panel 2 del Abrigo del Buen Aire I. © S. Fernández.

Figura 144. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio (Ca) y de hierro (Fe) encontradas en los diferentes puntos analizados localizados en la campaña de Junio 2013 en el abrigo del Buen Aire I. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estándar de los valores encontrados en cada una de las tres lecturas realizadas en cada punto de medida. © S. Fernández.

Figura 145. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro encontradas en los diferentes puntos analizados localizados en la campaña de Enero 2014 en el Abrigo del Buen Aire. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto de medida. © S. Fernández.

**TABLA 6. VALORES DE CONCENTRACIÓN MEDIA EN MG-KG<sup>-1</sup> DEL CALCIO (Ca) Y HIERRO (Fe) Y TRES VECES LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIDAS REALIZADAS EN LOS DIFERENTES PUNTOS ANALIZADOS EN LAS CAMPAÑAS DE JUNIO 2013 Y ENERO 2014 DEL ABRIGO DEL BUEN AIRE I**

Código del análisis	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14	Fe(mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Fe(mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14
BAX 001-3	182015 ± 698320	192488 ± 112487	7380 ± 3520	18515 ± 3796
BAX 004-6	184490 ± 15115	205125 ± 11990	16710 ± 5220	18117 ± 1257
BAX 007-9	198830 ± 29305	162942 ± 21698	5740 ± 2690	4647 ± 1146
BAX 010-12	207660 ± 48660	240481 ± 39093	24950 ± 8830	43309 ± 17578
BAX 013-15	203307 ± 6590	235318 ± 16099	9058 ± 1595	12439 ± 1971
BAX 016-18	184440 ± 115190	243017 ± 66451	6759 ± 2300	4369 ± 1267
BAX 019-21	291800 ± 47470	279349 ± 37792	4350 ± 1775	12134 ± 4370
BAX 022-24	115990 ± 17025	75966 ± 65124	1345 ± 480	780 ± 848
BAX 025-27	350115 ± 33850	263750 ± 58563	2530 ± 180	10533 ± 4975
BAX 028-30	209980 ± 26685	191908 ± 29411	13430 ± 1550	10464 ± 1406
BAX 031-33	300530 ± 17810	311008 ± 104811	12935 ± 4510	12843 ± 3275
BAX 034-36	252990 ± 46160	279873 ± 99908	25400 ± 11420	31015 ± 8589
BAX 037-39	269925 ± 4390	251157 ± 93360	71945 ± 8760	57856 ± 3230
BAX 040-42	239375 ± 14740	300240 ± 84538	41290 ± 10840	6470 ± 262
BAX 043-45	202485 ± 39095	201226 ± 92558	2270 ± 950	2530 ± 690
BAX 046-48	266330 ± 22290	279198 ± 63308	7765 ± 980	9243 ± 3769
BAX 049-51	333570 ± 24245	331039 ± 34954	7550 ± 2310	4664 ± 4762
BAX 052-54	306010 ± 18975	227646 ± 36359	14370 ± 8550	3272 ± 1820
BAX 055-58	284290 ± 35600	215166 ± 17900	8385 ± 4340	5497 ± 5143

mayor que 200000 mg/kg se podría decir que puede ser debido a tener una capa más gruesa y/o compacta de incrustación.

En cuanto a la comparativa de valores obtenidos para el calcio en cada zona de medida (tres medidas por cada punto de análisis) para ambas campañas (junio 2013 y enero 2014), en nueve de los diecinueve puntos de medida (tres medidas por cada), la variación de concentración comparando los valores de junio 2013 y enero 2014 es inferior al 10%, por lo que se encontraría dentro de la propia incertidumbre de medida, e indicaría que en dichas zonas la concentración de calcio no ha variado entre ambas campañas (Fig. 150). En cinco puntos de medida el porcentaje de la variación de concentración entre ambas campañas resulta ser negativo (entre -11 y -25%). Estos puntos corresponden a BAX004-6, BAX010-12, BAX013-15, BAX016-18, BAX040-42. El signo negativo asociado quiere decir que en dichas zonas, la concentración de calcio obtenida en junio 2013 es superior a la obtenida en los análisis realizados en la campaña de enero 2014. Algunas de estas zonas de medida se realizaron en zona de pigmentación roja (BAX004-6, BAX010-12 y BAX016-18), por lo tanto, pudiera ser que en los análisis de junio 2013, en el spot de enfoque se haya tomado una mayor porción del pigmento (Fe), haciendo por lo tanto que respecto a la composición total, la concentración de calcio sea inferior en los análisis realizados en la campaña de junio 2013. El punto de medida BAX013-15 se centra en una superficie irregular. Pudiera ser que en los análisis realizados en la campaña de enero 2014, el posicionamiento del cabezal de medida no fuera el mismo, debido a las irregularidades de la superficie, obteniéndose así las mediciones a diferentes ángulos, influyendo por lo tanto en el



146

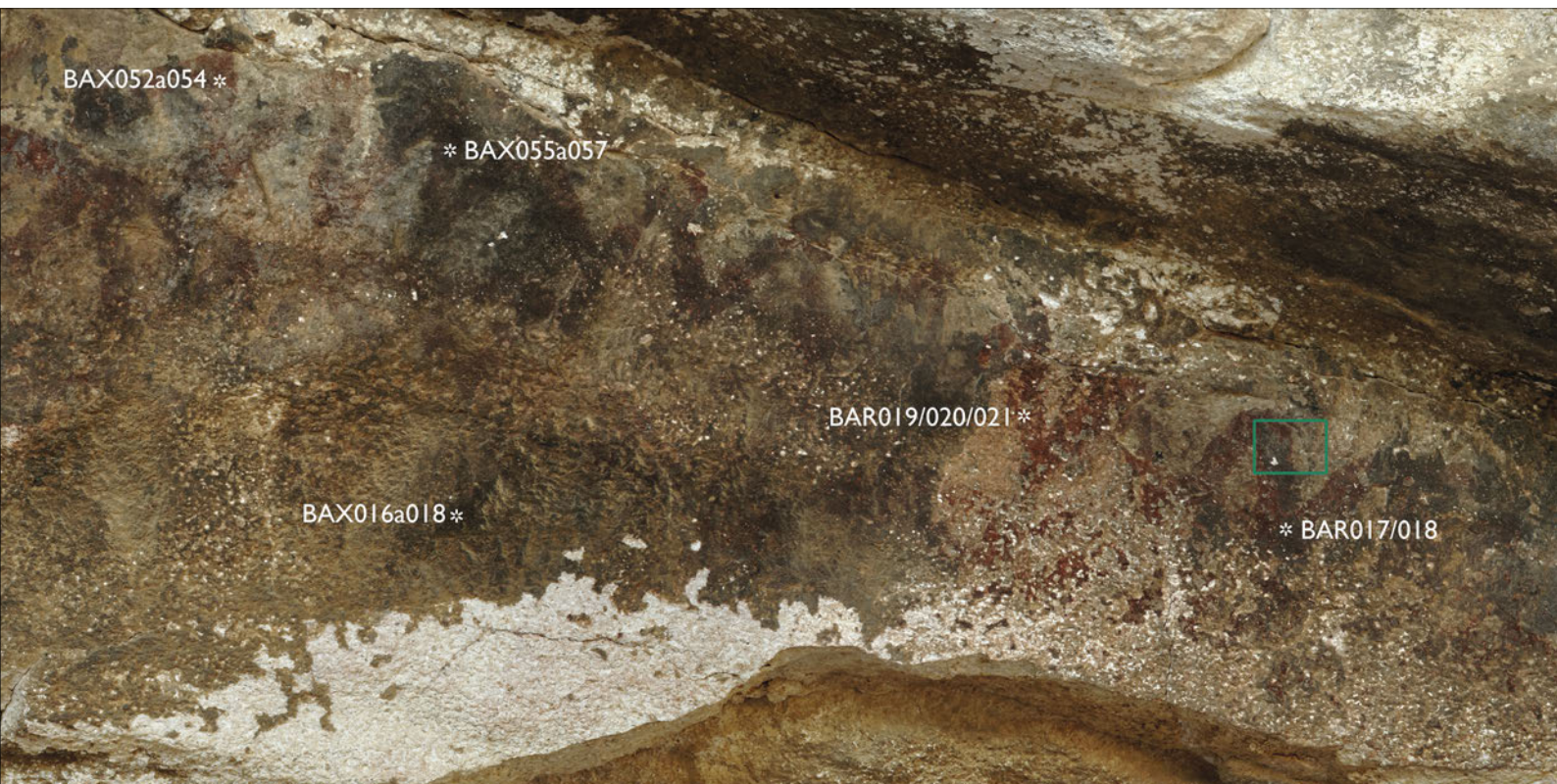
Figura 146. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código BAXnnn-*nnn*) y Raman (código BARnn) en el sector izquierdo del panel 1 del abrigo del Buen Aire I. Los recuadros verdes corresponden a lugares de los que se han tomado microfotografías © J.F. Ruiz.



Figura 147. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código BAXnnn-*nnn*) y Raman (código BARnn) en el sector central del panel 1 del abrigo del Buen Aire I. © J.F. Ruiz







149



Figura 148. Fotografías de detalle con la ubicación de los puntos de medida EDXRF (código BAXnnn-*nnn*) y Raman (código BARnn) en el panel 2 del abrigo del Buen Aire I. Los recuadros verdes corresponden a lugares de los que se han tomado microfotografías. © J.F. Ruiz.

Figura 149. Fotografías de detalle con la ubicación de los puntos de medida EDXRF (código BAXnnn-*nnn*) y Raman (código BARnn) en el panel 2 del abrigo del Buen Aire I. Los recuadros verdes corresponden a lugares de los que se han tomado microfotografías. © J.F. Ruiz.

resultado semi-cuantitativo final. El punto de medida BAX040-42 muestra una gran costra, la cual pudiera atenuar la presencia de calcio en las mediciones de enero 2014.

Por otro lado, en otras cinco zonas de medida (BAX007-9, BAX022-24, BAX025-27, BAX052-54 y BAX055-58), la concentración de calcio resulta ser inferior en las medidas tomadas en la campaña de análisis de enero 2014 (la zona que muestra un mayor descenso se encuentra en torno al 34% de variación de la concentración con respecto a las medidas de junio 2013). En dichas zonas de medida, tanto en la campaña de junio 2013 como en la campaña de enero 2014 se identificaron sales cristalizadas en superficie (eflorescencias) que contenían calcita (carbonato de calcio), yeso (sulfato de calcio di-hidratado) y whewellita (oxalato de calcio monohidrato). Estas sales poseen calcio en su estructura, el hecho de que en la campaña de enero 2014 se detectara una menor concentración en las cinco zonas indicadas puede deberse a un proceso de disolución de parte de la totalidad de las sales cristalizadas que existían en junio 2013. Puede que en enero de 2014, el porcentaje de sales cristalizadas que contienen calcio en su estructura disminuyera, influyendo por tanto en el resultado final de calcio.

En lo que respecta al hierro, su presencia en el abrigo es debida a dos fuentes. Por un lado, tendríamos el hierro que pueda encontrarse formando parte de silicatos de la propia roca madre, arcillas o aquel que pueda llegar al panel del abrigo por escorrentía. Por otro, el hierro

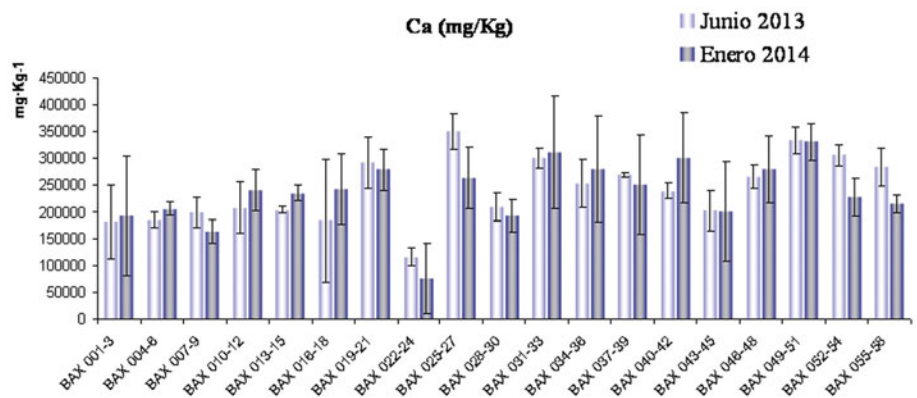


Figura 150. Concentración media ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) de calcio encontradas en los diferentes puntos analizados localizados en la campaña de junio 2013 (azul claro) y de enero 2014 (azul oscuro) en el Abrigo del Buen Aire I. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto de medida. © S. Fernández.

150  
151

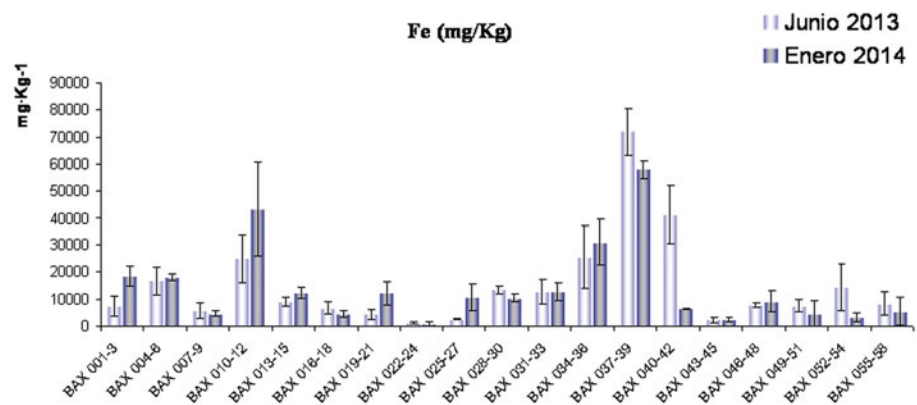


Figura 151. Concentración media ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) de hierro encontradas en los diferentes puntos analizados localizados en la campaña de junio 2013 (azul claro) y de enero 2014 (azul oscuro) en el Abrigo del Buen Aire I. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto de medida. © S. Fernández.

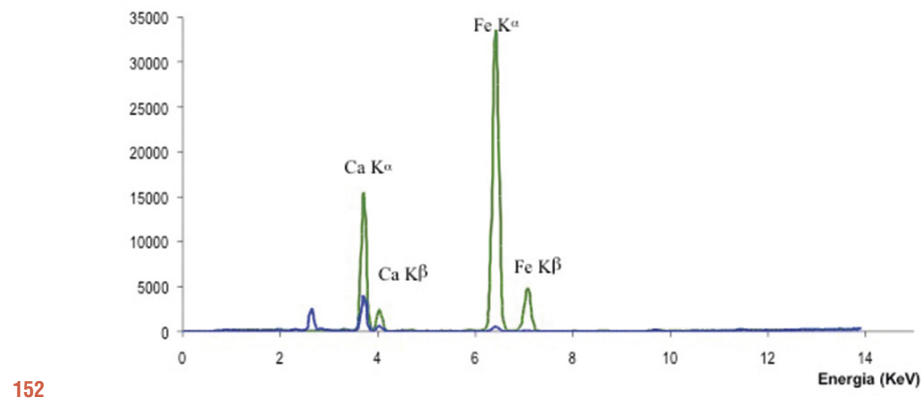
que compone el pigmento utilizado en las pictografías, su mayor o menor concentración se debe al diferente espesor de la capa pictórica existente. Estas diferencias encontradas pueden observarse en dos espectros de EDXRF encontrados en dos puntos de medida del panel del abrigo (Fig. 152).

Para el caso del hierro, en la campaña de enero 2014 se identificaron más puntos de medida con valores máximos de concentración (Fig. 151). Estos puntos de mayor concentración de hierro en el siguiente orden corresponden a BAX037-39, BAX010-12, BAX001-3, BAX004-6, BAX034-36, BAX31-33, BAX13-15, BAX19-21, BAX25-27 y BAX28-30. Es necesario remarcar que para los puntos de medida BAX010-12, BAX31-33, BAX13-15, BAX19-21, BAX25-27 y BAX28-30, el incremento de concentración de hierro en dichos puntos de medida con respecto a los valores de junio 2013 es de entre 16-22 %.

La gran mayoría de los diez puntos de medida mencionados anteriormente donde se han encontrado las mayores concentraciones de hierro corresponden a motivos pictóricos rojos. Es necesario remarcar que algunas de las restantes medidas también se han realizado sobre otros puntos de las pictografías rojas y los valores encontrados son algo menores. Los menores valores de concentración media encontradas en los demás puntos de medida pueden ser debidos a dos motivos bien distintos. El primero de ellos es su estado de conservación, o a la presencia de alguna pátina, por ejemplo, oxalato de calcio (identificada por espectroscopia Raman, leer apartado correspondiente). Si el estado de conservación de la pictografía no es óptimo, la capa pictórica es menor y por lo tanto la concentración media de hierro encontrada también lo es. También tendremos menor concentración si se encuentra encima de la capa pictórica una pátina de oxalatos. El tamaño del área de medida de la pistola EDXRF respecto a la superficie pictórica objeto de análisis, el cual se ha mencionado anteriormente también puede tener influencia en este resultado.

Aparte de puntos de medida en los que la concentración de hierro aumenta, también existen algunos puntos en los que la concentración de hierro disminuye con respecto a los valores de la campaña de junio 2013. Estos puntos son el BAX040-42 (en torno al 84% respecto de la campaña de junio 2013) y el BAX52-54 (en torno al 77% respecto de la campaña de junio 2013). Las intensidades de señal obtenidas para cada uno de los elementos y por extensión sus concentraciones, dependen de varios factores inherentes a la técnica, como ya se ha descrito. Por ejemplo, el tamaño del área de medida de la pistola XRF (9 mm) con respecto a la superficie pictórica objeto de análisis puede influir. Lo ideal es que la superficie del área de medida del cabezal de la pistola esté completamente cubierta por pigmento, en cuyo caso la señal obtenida (correspondiente al hierro presente en el pigmento) podrá aumentar, por ejemplo, en función del espesor de la capa de pigmento, ya que los rayos X tienen dicha capacidad de penetración. Sin embargo, puede haber casos en los que el área de medida es mayor a la superficie cubierta por pigmento, en cuyo caso, la señal del hierro disminuye a pesar de que en dicho análisis se mide también la concentración de hierro correspondiente a la roca madre, dando finalmente un valor medio entre lo existente en la roca madre y en la capa pictórica. Atendiendo a esto, puede que moviéndonos unos pocos milímetros, el spot de enfoque sea ligeramente diferente.

Una vez comentados los resultados obtenidos mediante fluorescencia de rayos X, y las variaciones obtenidas entre las dos campañas de análisis es necesario recordar que el objetivo del presente proyecto de investigación es ver si se presentan variaciones en la composición química de los abrigos objeto de estudio a lo largo del tiempo. Todo ello con objeto de posibilitar la



152

identificación de alteraciones debidas al ciclo natural, aparición de patinas, cambios de coloración del soporte o de las pictografías presentes, aparición de fracturas, pérdidas de soporte o figuras, etc. Por ello los análisis del presente estudio se realizaron con una diferencia temporal de ocho meses y coincidiendo con estaciones del año contrarias, es decir, los primeros análisis fueron realizados en junio del año 2013 coincidiendo con el verano (época de sequía, mayor temperatura y menor humedad) y los últimos análisis fueron realizados en invierno (época con menor temperatura y mayor humedad) del presente año (enero 2014).

Si se comparan los resultados de ambas campañas de análisis (Fig. 150-151) tanto para el caso del calcio como para el hierro se puede llegar a la conclusión de que no hay diferencias significativas entre la concentración encontradas en los distintos puntos de análisis en este pequeño transcurso de tiempo a pesar de las diferentes condiciones climáticas en que han sido realizados los análisis químicos. Casi todos los valores de concentración de la campaña de junio 2013 y enero 2014 en el mismo punto/zona de análisis aparecen siempre dentro del intervalo de confianza de la concentración encontrada. En el caso de aquellas zonas en las que no aparecen dentro del intervalo de confianza, se ha ofrecido la pertinente justificación en párrafos anteriores.

Esto pone de manifiesto que el protocolo/procedimiento de análisis químico expuesto en el presente proyecto es apropiado para las condiciones existentes en los abrigos objeto de estudio.

A modo de conclusión final de este apartado resaltar el hecho de que en el Abrigo del Buen Aire no se han encontrado diferencias respecto a composición química en estos últimos meses. A la vista de los resultados, se recomendaría repetir los análisis según la metodología expuesta de forma repetitiva en un margen temporal mayor que seis meses. Por ejemplo se podría aplicar la metodología repitiéndola cada año. Este programa de monitorización permitiría conocer el estado real de conservación con el paso del tiempo.

#### 4.1.4.2. Resultados Espectroscopia Raman

El análisis Raman es una medida superficial (el láser no es penetrante como ocurre con los rayos X), la fluorescencia nos puede dar una idea de la existencia de una patina, que en ocasiones puede llegar a cubrir toda la superficie del pigmento. Frecuentemente, la fluorescencia se debe a la presencia de arcillas que proceden de procesos de esorrentía que llegan a cubrir los paneles pictóricos. El resultado del fenómeno de fluorescencia es que el espectro pierde su línea base (toma pendiente) y alcanza valores de intensidad Raman falsos, porque la mayor parte es

Figura 152. Espectros EDXRF comparativos del material soporte (línea de color azul) y de uno de los análisis en un pictograma (línea de color verde) ambos análisis realizados in situ en enero del 2014 en el Abrigo del Buen Aire I. © S. Fernández.

fluorescencia, que no aporta información para la caracterización del pigmento y además son intensidades tan elevadas que el detector puede llegar a saturarse (no ofrece lectura fiable).

Por todo ello, a pesar de observarse un motivo pictórico, a veces no se obtiene ninguna señal Raman característica que nos permita identificar el pigmento si la capa de arcillas es lo suficientemente homogénea que no deja pigmento visible al haz incidente. Puede ocurrir también que dicha pátina no exista, pero que junto con los granos de pigmento estén presentes otros compuestos que generen también dicho fenómeno de fluorescencia. En este segundo caso los problemas observados se pueden paliar, aunque no siempre con buenos resultados, de dos formas: (i) utilizando un láser de distinta energía y (ii) aplicando el láser sobre la superficie a analizar durante un tiempo antes de realizar la medida, de forma que el fluoróforo (la molécula fluorescente) llega a eliminarse (*photobleaching*) y por tanto, deja de dar una señal que distorsiona el espectro Raman.

La primera opción no es aplicable en este caso porque el equipo portátil que se utilizó en la campaña tanto de junio del 2013 como de enero 2014 dispone de un único láser de 785 nm que es la opción más común de espectrómetros de laboratorio (Fig. 153). La segunda opción se probó, pero no se obtuvo ninguna mejora, probablemente debido a la existencia de una pátina superficial que no dejaba pigmento accesible en superficie para su medida o que enmascaraba la señal Raman por completo.

En las Figs. 146-149 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante Raman (ver correlación de numeración con descriptiva de cada zona en la Tabla 7).

Al igual que en junio del 2013 en esta nueva campaña de análisis, se pudo observar de nuevo que hay zonas de pátina que están compuestas básicamente, al igual que la roca madre, por calcita (ver Tabla 7 y el espectro característico de la Fig. 154), y también se identificaron en esta campaña, al igual que en la de junio 2013, yeso (sulfato de calcio di-hidrato) y whewellita (oxalato de calcio mono-hidrato). Recordar que la presencia de costras de whewellite se encuentra frecuentemente en la superficie de rocas, muros y monumentos como resultado de la actividad metabólica de líquenes, hongos, bacterias y microbios que colonizan la superficie de los materiales pétreos (Krumbein et al., 2003; Tournié et al., 2011; Ravindran et al., 2013). Este tipo de microorganismos son capaces de excretar ácido oxálico, el cual puede reaccionar con el sustrato calcáreo provocando la formación de cristales de oxalato de calcio. Este tipo de costras se detectan frecuentemente en abrigos rocosos con pinturas prehistóricas.

En lo que respecta a la presencia de yeso, esta sal de sulfato de calcio se identifica con frecuencia en abrigos rocosos tanto en base arenisca como calcárea dado que la lluvia puede disolver los sulfatos presentes en los suelos colindantes. Dicho sulfato solubilizado puede moverse y penetrar en los poros de la roca y cristalizar en forma de yeso por evaporación del agua. El yeso en presencia de agua podría volver a solubilizarse y reprecipitar, el cambio de volumen generado provoca una constante tensión en el poro de la roca, pudiendo así provocar fenómenos de desconchamiento, delaminado o fisuras.

Remarcar la posible presencia de nitratos en las sales cristalizadas en superficie (eflorescencias) en forma de nitrato de calcio con cuatro aguas de hidratación (nitrocalcita)/nitrato de potasio (niter) y nitrato de sodio. La posible presencia de nitratos se identificó en una única medida (BAR27, ver Tabla 8).

**TABLA 7. COMPUESTOS ENCONTRADOS EN DIFERENTES ZONAS DE MEDIDA CORRESPONDIENTES A LOS DOS PANELES DEL ABRIGO DEL BUEN AIRE I**

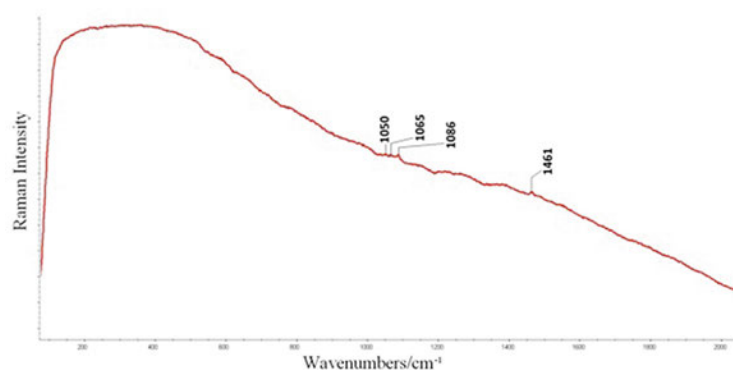
Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]		Compuestos identificados
	junio 2013	enero 2014	
BAR1	1086	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR2	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR3	1007, 1462	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
BAR4	1007, 1463, 1486	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
BAR5	224, 294, 410	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia (BAR5, BAR5bis, BAR5bis2)	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
BAR6	229, 293, 406	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ),
BAR7	1008	590	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado); 590 (sin coincidencia con patrones conocidos)
BAR8	1009	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
BAR9	1462, 1486	552, 828	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado); 552, 828 (sin coincidencia con patrones conocidos)
BAR10	1006	552	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado); 552 (sin coincidencia con patrones conocidos)
BAR11	1006	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
BAR12	1008	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
BAR13	280, 1085	-	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR14	280, 1086	280, 1086	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR15	1008, 1086	-	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR16	412, 1007	1007	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
BAR17	1464	1007, 1465	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado); Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
BAR18	1460	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
BAR19	1464, 1490	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
BAR20	1462	1085, 1461	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado); Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR21	1006, 1086	-	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR22	1464	1461, 1491	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
BAR23	1464	1464	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
BAR24	1460, 1487	1086, 1462, 1487	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado); Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR25	1461	212, 282, 1086, 1463, 1486	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado); Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
BAR26	1461	1462, 1487	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
BAR27	1006, 1085, 1463, 1488	1050, 1065, 1086, 1462	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado); posible nitrocalcita (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O)/niter (KNO <sub>3</sub> ), Posible NaNO <sub>3</sub>
BAR28	1086, 1465	1007, 1085, 1461, 1491	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado), Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
BAR29	-	-	
BAR30	1096	-	Carbonato

En esta campaña, y debido a la elevada fluorescencia, no se obtuvo señal Raman característica de las zonas donde se encontraban las pictografías rojas. Por lo tanto, a pesar de que existen motivos pictóricos visibles en el panel, por razones técnicas inherentes a la técnica que se ve fuertemente influenciada por la presencia de pátinas superficiales, no ha sido posible determinar la composición molecular del pigmento, aunque por los resultados de EDXRF se constata la presencia de hierro, y además en la campaña de junio 2013 se pudieron determinar bandas Raman asociadas al pigmento rojo hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ).

Además de las medidas in situ Raman también se realizaron medidas adicionales con instrumentación de laboratorio sobre eflorescencias desprendidas tomadas en la campaña de enero 2014 (ver imagen de las eflorescencias en Fig. 256 junto con un espectro Raman representativo de las mismas). En la Tabla 9 se muestran las asignaciones Raman de dichas eflorescencias. En dichas eflorescencias se identificó la posible presencia de carbonato de calcio y magnesio, yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y cristalizaciones de thenardita/sal de Epson ( $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{MgSO}_4$ ) 1:1 asignadas a la banda  $984\text{ cm}^{-1}$  en los espectros (Zhang y Chan, 2002).



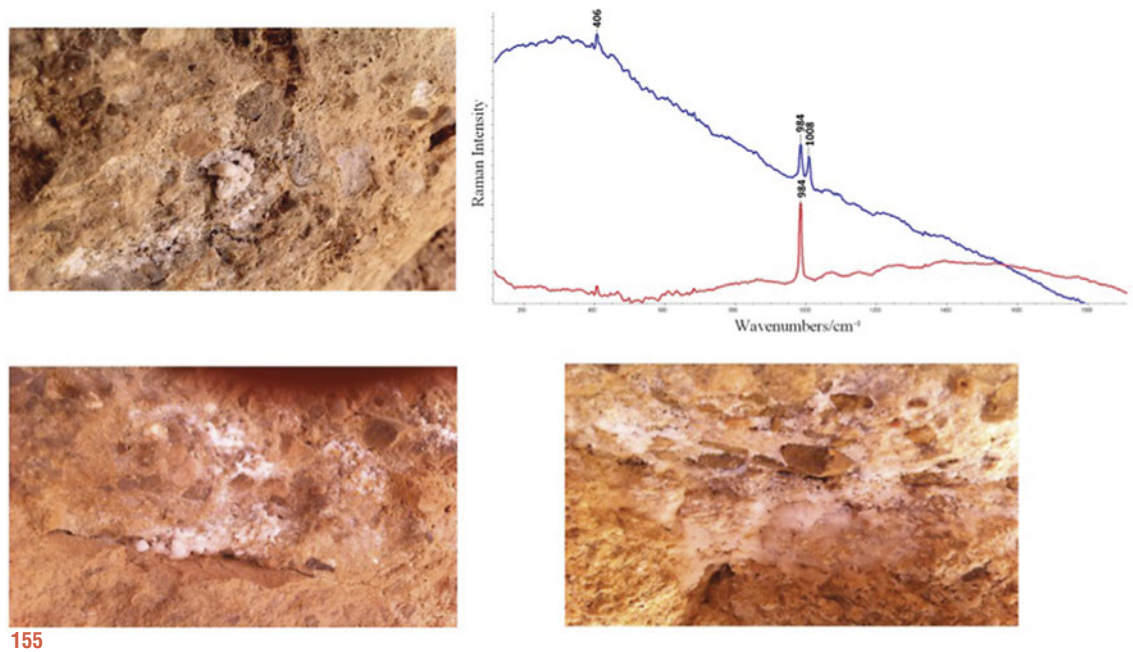
153



154

Figura 153. Análisis realizados con el espectrómetro Raman portátil innoRam® de B&W-TEK INC. en el Abrigo del Buen Aire I en enero de 2014. © S. Fernández.

Figura 154. Espectro Raman característico del Abrigo del Buen Aire I mostrando las bandas principales de nitrocalcita/niter (1050), nitrato de sodio (1065), calcita (1086) y whewellitita (1461) obtenidos en enero de 2014. © S. Fernández



#### 4.1.5. Conclusiones de la monitorización del Abrigo del Buen Aire I

El abrigo, abierto en estratos de calcarenitas y calizas de algas del Mioceno, presenta una acumulación generalizada de polvo, aunque esta es especialmente notable en la parte inferior del panel 1, lo que entorpece la visibilidad del conjunto. Además, la frecuente presencia de eflorescencias como el yeso, está generando la aparición de procesos de descamación y fisuración, como las que se observan en gran parte del panel, y especialmente sobre muchas de las pictografías. Sería recomendable proteger estos paneles de la humedad ya que constituye su mayor problema de conservación.

Además hemos apreciado la presencia de superficies muy patinadas, que pueden tener origen orgánico como las costras de *whewellita* y *weddellita* identificadas, y que son producidas por bacterias, microbios y líquenes. A nivel de conservación estos depósitos multilaminares actúan como un barniz protector, pero, al mismo tiempo, son producidas por microorganismos que alteran la superficie con los ácidos que excretan. El panel 2 presenta recubrimientos de diversas coloraciones, pero no hemos podido caracterizarlas.

Las condiciones de conservación de esta estación rupestre varían considerablemente entre el panel 1 y el panel 2, e incluso entre las diferentes áreas del panel 1. La mayor parte de las alteraciones, incluyendo pérdidas de soporte, se concentran en el panel 1, mientras que el panel 2 no presenta este tipo de problemáticas.

Las alteraciones litológicas, fundamentalmente originadas por la humedad, pueden ser el motivo principal de la fragilidad detectada. Las pérdidas de dos fragmentos de tamaño considerable en la base del panel 1 deben ser relacionadas con la inestabilidad de un soporte socavado por la actividad hídrica, siquiera como infiltración o capilaridad, ya que

Figura 155. Espectros Raman característicos de las eflorescencias desprendidas y analizadas mostrando la presencia de thenardita/sal de epsom ( $984\text{ cm}^{-1}$ ) y yeso ( $1008\text{ cm}^{-1}$ ) y fotos de dichas eflorescencias. © S. Fernández



**TABLA 8. COMPUESTOS ENCONTRADOS EN EFLORESCENCIAS DESPRENDIDAS CORRESPONDIENTES AL ÁBRIGO DE BUEN AIRE I EN LA CAMPAÑA DE ENERO 2014 MEDIANTE ESPECTROSCOPIA RAMAN**

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
BA_1_SAL_2000ms_10acc_%10	406, 984	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros)
BA_1_SAL_4000ms_10acc_%20	406, 984	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros)
BA_2_SAL_3000ms_10acc_%20	406, 984, 1095-10096	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros) Dolomita (CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , carbonato de calcio y magnesio)
BA_2_SAL_b_3000ms_10acc_%20	406, 984, 1008	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros) Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, sulfato de calcio dihidrato)
BA_2_SAL_b_6000ms_10acc_%20	406, 984, 1008	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros) Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, sulfato de calcio dihidrato)
BA_2_SAL_b_6000ms_10acc_%30	406, 984, 1008	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros) Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, sulfato de calcio dihidrato)
BA_3_SAL_10000ms_10acc_%100	392, 406, 680, 984	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros)
BA_3_SAL_b_10000ms_10acc_%100	392, 406, 680, 984	Thenardita/Sal de Epsom 1:1 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /MgSO <sub>4</sub> (sulfato de sodio y sulfato de magnesio ambos anhidros)

no por escorrentía directa. La presencia ocasional de fauna superior (identificada por sus excrementos) puede ser la responsable de que los fragmentos de roca, fracturados por los procesos descritos, acaben cayendo del panel. Son estas mismas zonas en las que se han detectado cambios volumétricos de consideración los que presentan eflorescencias salinas y una frecuencia muy elevada de yeso en los análisis químicos.

Las pictografías presentan zonas con pérdidas de escamas muy superficiales y una intensa patinación, pero no hemos registrado ninguna pérdida de fragmentos de las mismas durante el período analizado.

En lo que respecta al panel 2 las formas y procesos de alteración no son tan numerosos y las acreciones también son más simples.

Por último, sería recomendable realizar un nuevo calco o reproducción del panel 2 atendiendo a las figuras no identificadas anteriormente y con el objetivo de conseguir una mejor definición del complejo motivo principal.

## 4.2. Cañiaca del Calar II

### 4.2.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos

A lo largo de las 5 campañas del proyecto se han realizado modelos de detalle del panel con pinturas (Fig. 157-158) y modelos de la cavidad completa. Los modelos usados para el análisis volumétrico 4D fueron realizados con *PhotoScan Pro*, mientras que los de la cavidad completa lo fueron con *VisualSFM*; *PhotoScan Pro* no ha generado modelos apropiados con los mismos conjuntos de imágenes con los que *VisualSFM* ha podido reconstruir un modelo coherente (Fig. 156) de la cavidad completa.

#### CAÑIACA DEL CALAR II

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	65	1.193.720	15.169.690		0,171754	50	3,964	1,155806
Mayo	69	1.456.126	15.066.178		0,134466	44	2,699	0,582763
Julio	51	879.943	21.182.921	220.057.790	0,420954	23	2,845	1,325479
Noviembre	143	2.907.140	21.759.923	257.949.289	0,140748	43	2,618	0,135222
Enero	150	2.141.565	21.999.999	235.689.422	0,150145	46	2,488	0,343911

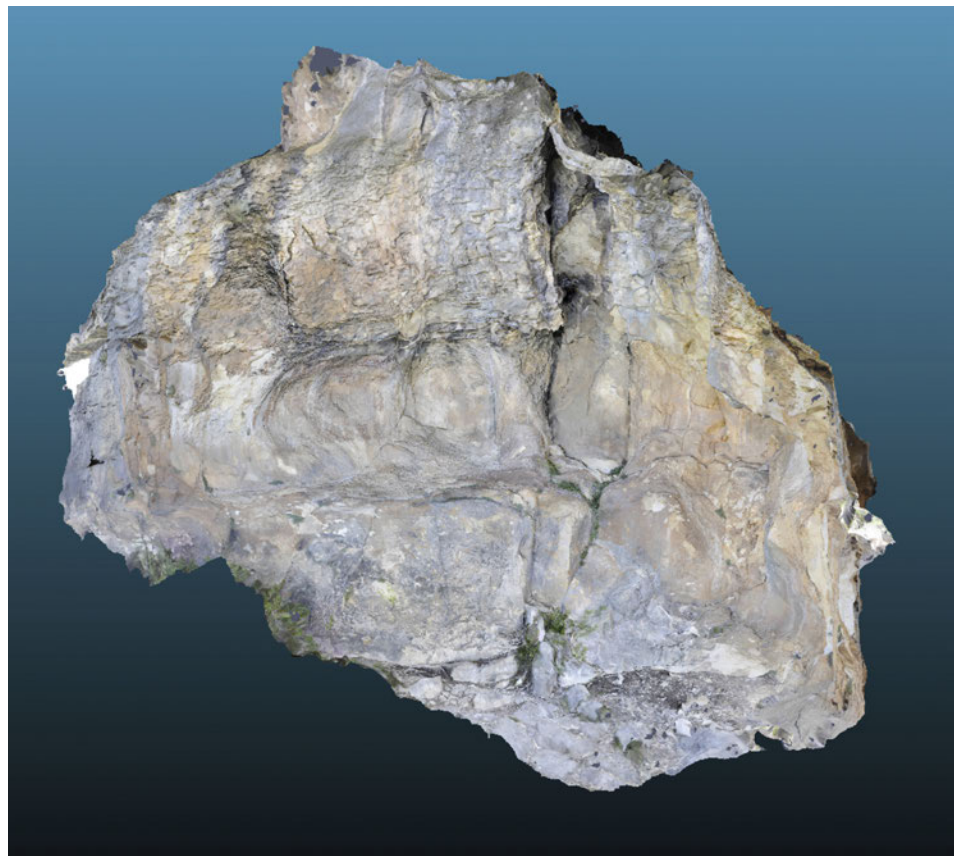
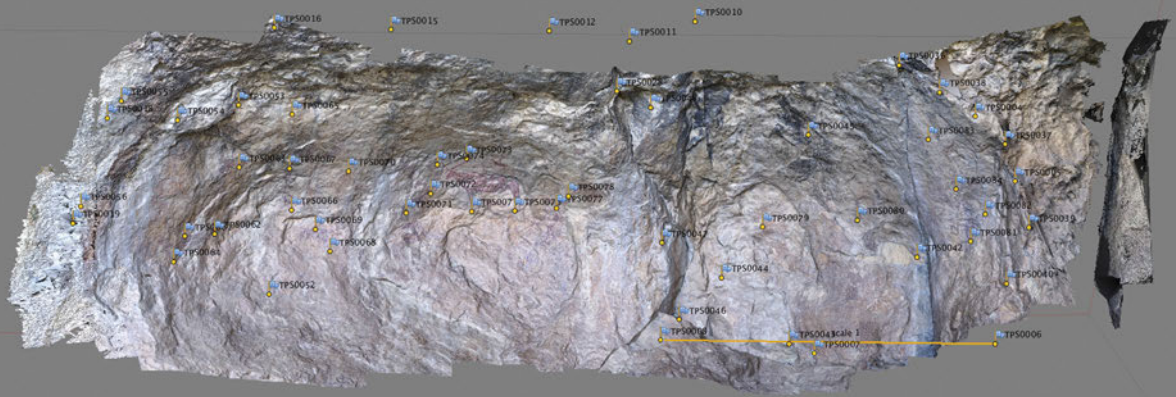
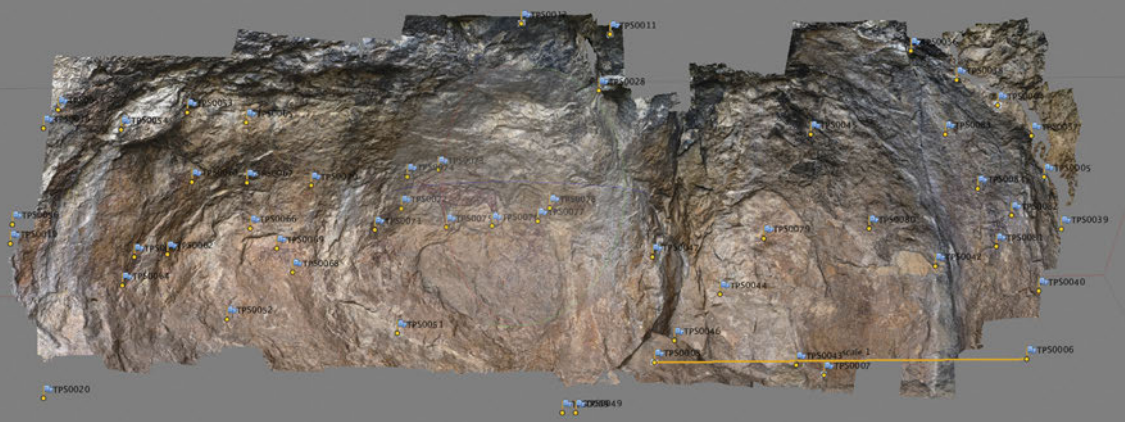


Figura 156. Modelo general de Cañiaca del Calar II correspondiente a la campaña de julio, generado mediante *VisualSFM*. © J. Pereira.

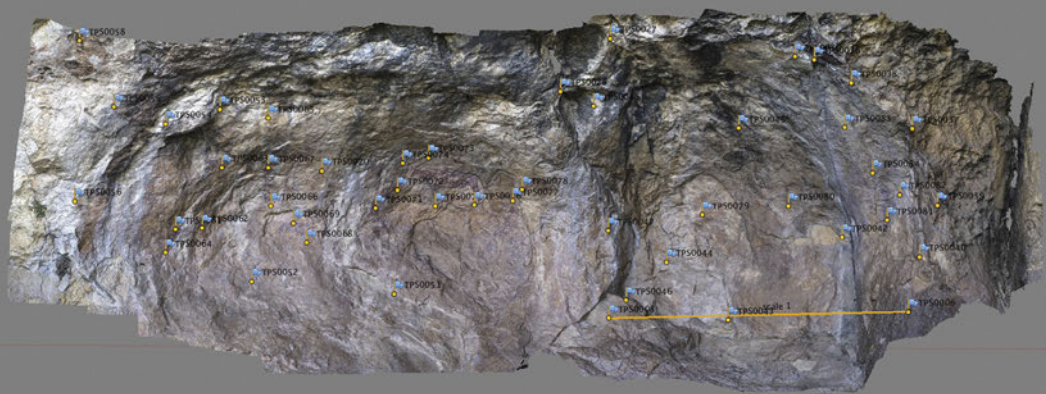
Figura 157. Modelos tridimensionales del panel pintado de Cañiaca del Calar II realizados durante las campañas de febrero a julio de 2013. © J. F. Ruiz



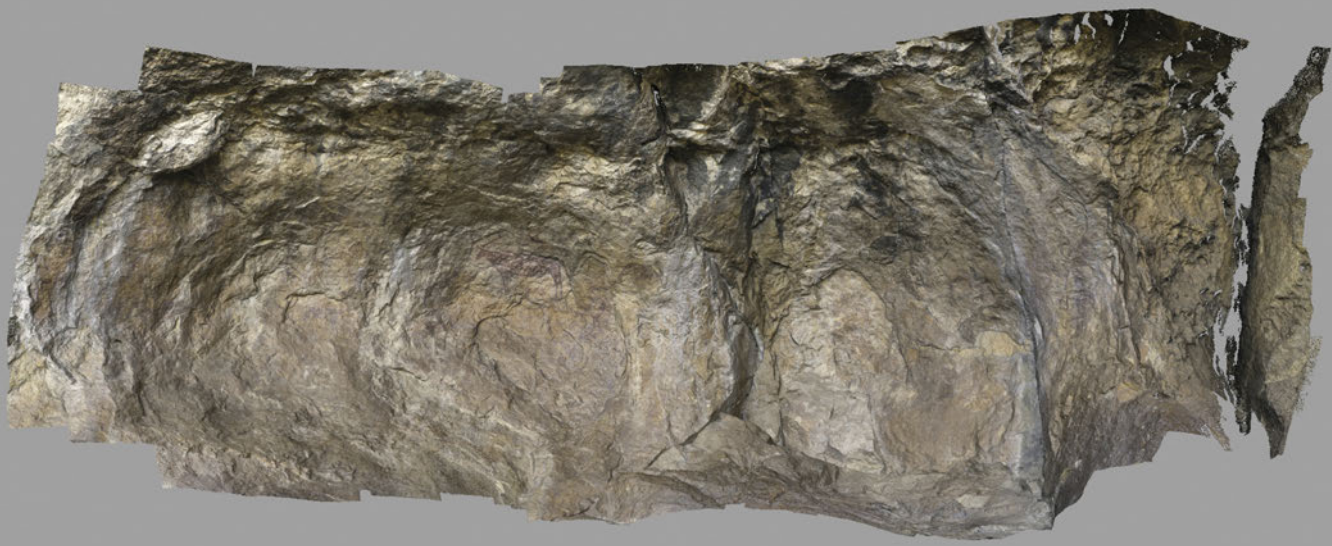
FEBRERO 2013



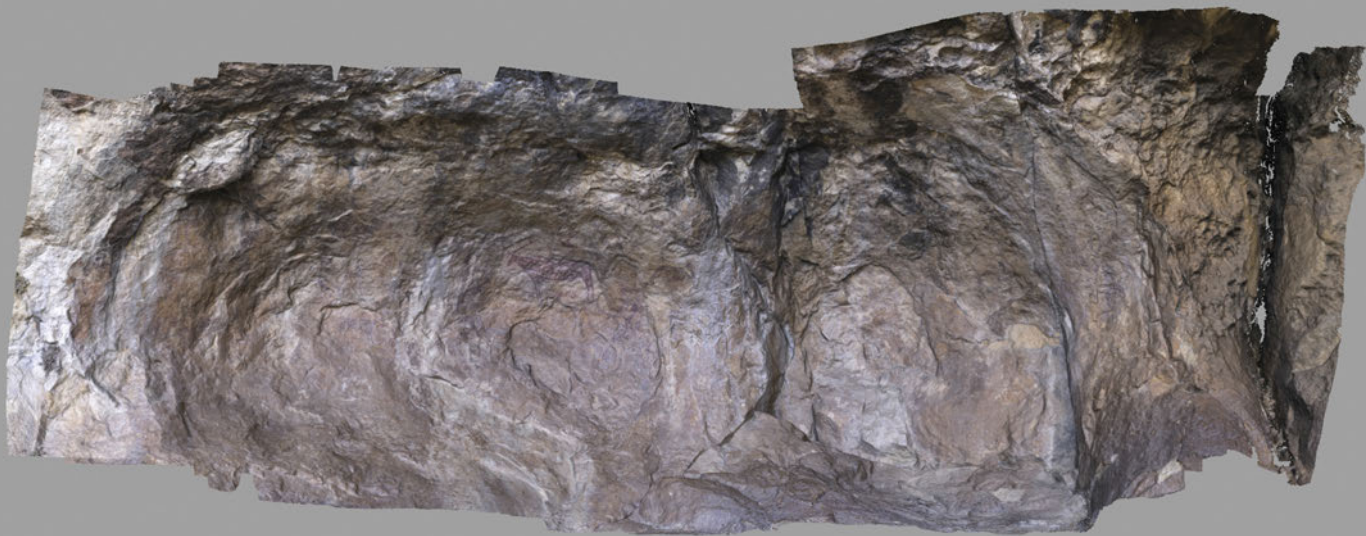
MAYO 2013



JULIO 2013



NOVIEMBRE 2013



ENERO 2014

158

**Figura 158.** Modelos tridimensionales del panel de Cañiaca del Calar II efectuados en la segunda fase del proyecto. © J.F. Ruiz.

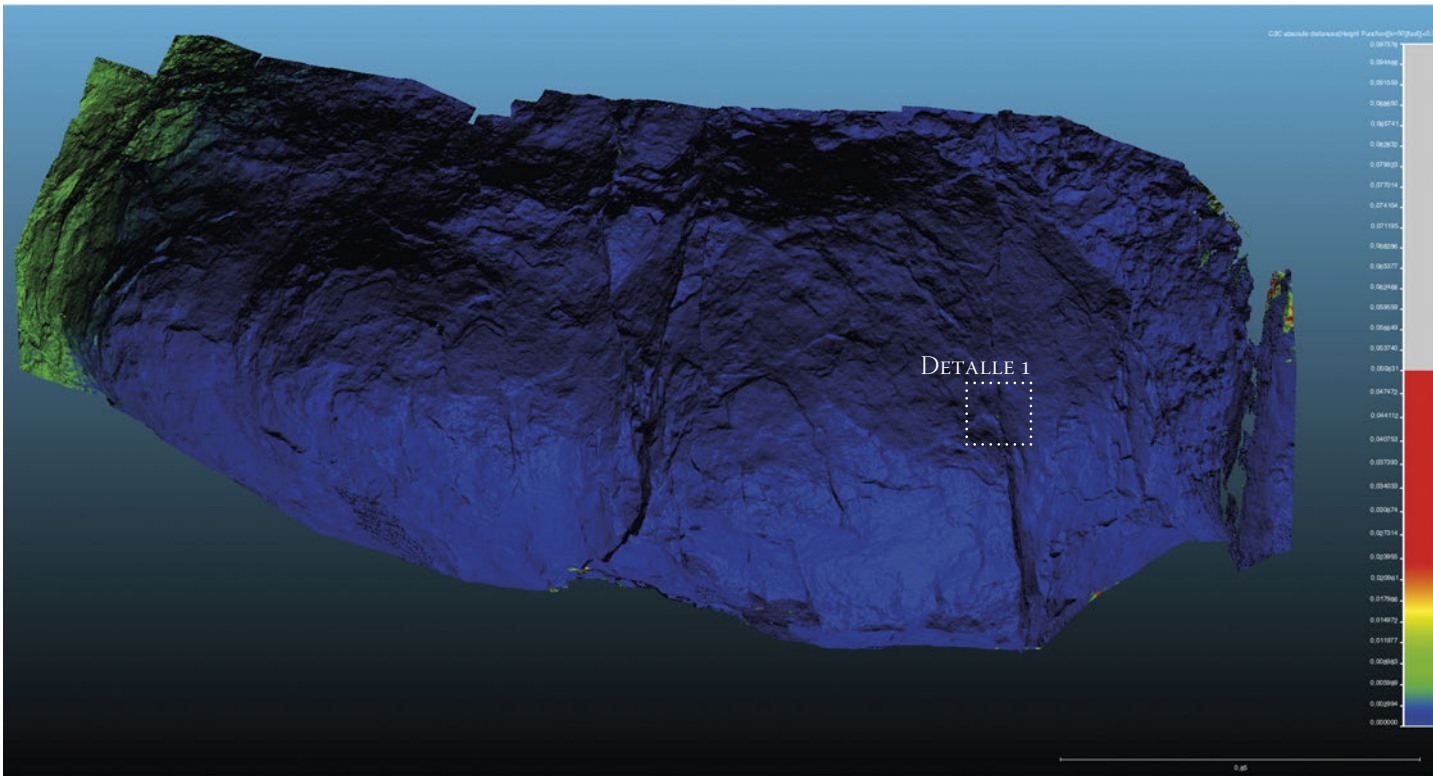
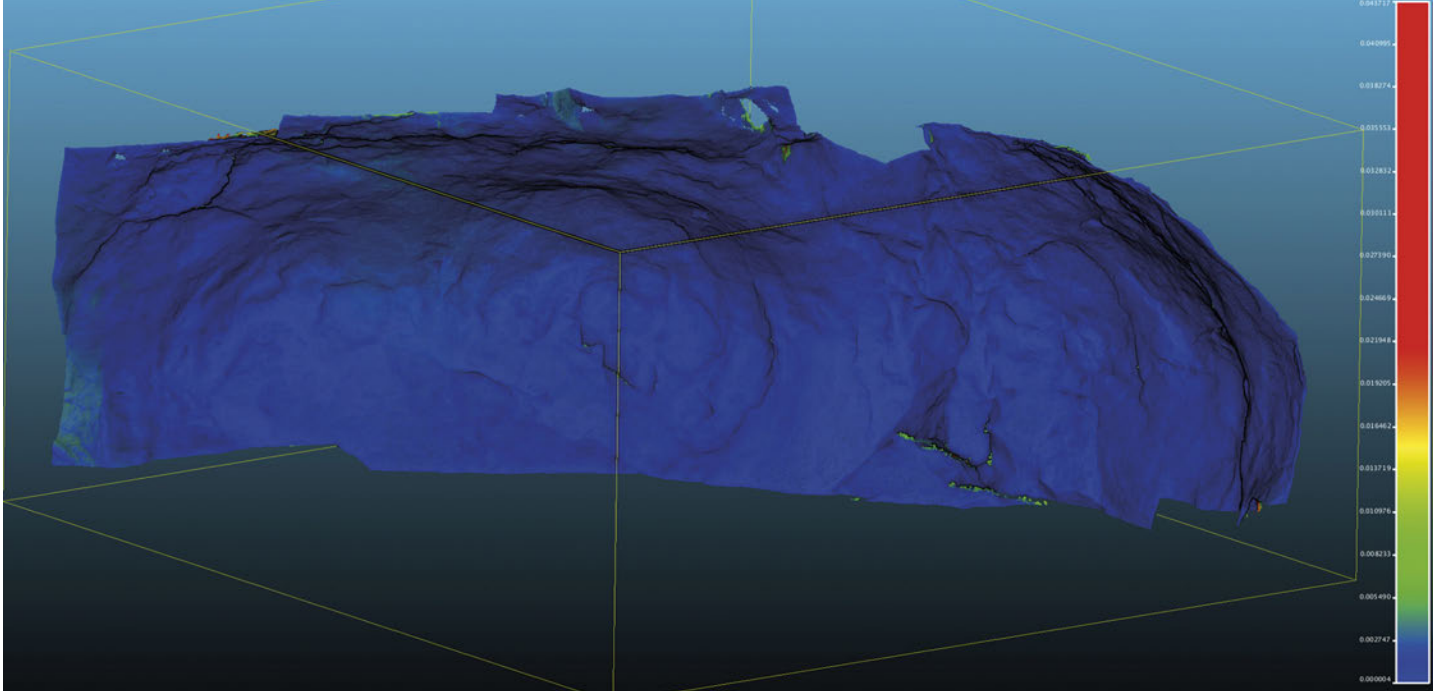
**Figura 159.** Comparación entre los modelos 3D de las campañas de mayo y julio de Cañiaca del Calar II. © J.F. Ruiz.

**Figura 160.** Comparación entre los modelos de julio y noviembre 2013 de Cañiaca del Calar II efectuada mediante *CloudCompare*. © J.F. Ruiz

La comparación entre los modelos de febrero y mayo en *CloudCompare* tan sólo se identifican modificaciones asociadas a elementos de relieve generados a partir de puntos desubicados durante la reconstrucción por *PhotoScan Pro*. El nivel de ruido estadístico es muy bajo. La distribución estadística es acorde con la normal. En consecuencia, se puede afirmar que entre ambos modelos no se detectan cambios en dicho periodo de análisis.

Por su parte, la comparación entre los modelos de mayo y julio nos indica una situación similar (Fig. 159). Las únicas zonas en las que se detectan diferencias corresponden a áreas en las que el plano del relieve quedaba oculto a las capturas fotográficas realizadas, lo que provoca que en el modelo 3D no sean reconstruidas. Las diferencias entre estas zonas se detectan con facilidad en el campo escalar. Los modelos presentan un margen de error muy bajo, como refleja la prueba de  $\chi^2$ , y el ruido identificado.

La confrontación entre los modelos de julio 2013 y noviembre 2013 se ha realizado después de un ajuste extremadamente preciso, a tenor del RMS de 0,00068 conseguido. La distancia media es de 0,0012 y la desviación estándar de 0,0030. El resultado de la prueba del  $\chi^2$  demuestra que la mayor parte de los puntos siguen una distribución normal y, en



consecuencia, que existe un nivel de ruido bajo. Durante este lapso de tiempo sólo se ha observado una modificación. En la parte derecha del panel, en el interior de la diaclasa que divide al grupo de pictografías situadas más a la derecha de la cavidad del resto del panel, se ha identificado el crecimiento de una pequeña planta, probablemente una *Sarcocapnos enneaphylla* (Fig. 160-162). Es interesante resaltar que hasta ese momento no se había detectado ninguna alteración de importancia en este panel.

Por otra parte, en la parte izquierda del modelo se observa una distancia media mayor a la existente en el resto del panel, lo que se refleja en el tono verde de la escala cromática del campo escalar. Esta diferencia no se corresponde con ninguna modificación en el abrigo.

En el caso de la comparativa entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 se observa un emparejamiento muy exacto. El RMS obtenido es de 0,0015. La distancia media es de 0,0012 y la desviación estándar de 0,0068. De nuevo la prueba del  $\chi^2$  indica



161  
162



**Figura 161.** Estado del panel de Cañica del Calar II en julio 2013, donde apenas se vislumbra el inicio del crecimiento de una planta rupícola. © J.F. Ruiz.

**Figura 162.** Situación del detalle 1 en noviembre 2013, en el que la planta que está creciendo en el plano de fractura del panel se aprecia con claridad. © J.F. Ruiz

una distribución normal y un nivel de ruido despreciable. En este caso no se ha observado ninguna variación. El crecimiento de la planta detectado en el período anterior se ha estabilizado, pero conserva las hojas, y es previsible que en primavera comience un crecimiento más acusado.

Cañica del Calar II, por tanto, no muestra signos preocupantes de deterioro en su panel pintado. El único elemento a considerar en adelante es el desarrollo de esta planta que se ha detectado durante este período. No obstante, el entorno del espacio pictórico presenta signos de diaclasado y fracturas profundas (Fig. 163-164) que deberían ser específicamente



163 164

monitorizadas para evitar cualquier tipo de posible riesgo, no sólo al arte rupestre conservado en el abrigo, sino también para los visitantes de este enclave.

#### 4.2.2. Fotografía gigapíxel

Se realizaron panorámicas gigapíxel del panel en cada campaña del proyecto, dividiéndolo en dos sectores con la intención de minimizar las distorsiones de la imagen resultante. Para el tratamiento *DStretch* se seleccionaron las correspondientes a los meses de julio y noviembre de 2013.

Los gigapanes realizados se han comparado con los calcos disponibles (Beltrán, 1972; Mateo, 2007). Los calcos son muy distintos entre sí, reflejando las distintas formas de trabajo de cada época. Aparte de las diferencias técnicas, el calco más antiguo (Beltrán, 1972) es bastante inexacto e incompleto.

La reproducción realizada por Mériac (Walker, 1971) es muy parcial, por lo que la incluimos simplemente por completar el trabajo, ya que su valor documental es limitado.

El trabajo de limpieza de la última década pudo facilitar que Mateo (2007) realizase un trabajo mucho más sistemático y preciso. Con respecto al calco de Beltrán se aprecian notables diferencias en el fotografía tratada mediante *DStretch*; no ocurre lo mismo con la reproducción más reciente, en la que no se aprecia ninguna discordancia con la imagen tratada.

Figura 163. Fisura profunda situada por encima del panel pintado de Cañica del Calar II, que dará lugar a una placa de grandes dimensiones. © E. Quesada.

Figura 164. Grieta que presenta pequeños fragmentos de roca desprendidos en la vertical del sector izquierdo del panel de Cañica del Calar II. © E. Quesada



Figura 165. Panorámica paisajística del cantil rocoso en el que se enclavan los abrigos del conjunto de Cañiaca del Calar. Concretamente el abrigo II se sitúa en la parte central de la imagen. © J.F. Ruiz







166

Figura 166. Fotografía panorámica gigapíxel del sector izquierdo de Cañica del Calar II., fase 1  
© J.F. Ruiz



## CAÑICA DEL CALAR II

<b>Panel</b>	sector izquierdo 07/13	sector izquierdo 11/13	sector derecho 07/13	sector derecho 11/13
<b>Fecha</b>	04/07/2013	12/11/2013	04/07/2014	12/11/2013
<b>Autor</b>	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
<b>Dimensiones pixeles (h x v)</b>	38248 x 14503	33615 x 18304	28215 x 22026	26267 x 18918
<b>Proyección</b>	Cilíndrica	Cilíndrica	Cilíndrica	Cilíndrica
<b>Fotografías usadas</b>	98	108	100	81
<b>Cámara</b>	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D
<b>Objetivo</b>	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM
<b>Autor DStretch</b>	Elia Quesada	Juan F. Ruiz	Elia Quesada	Juan F. Ruiz
<b>Transformación</b>	LDS (10)+ flat 5	LDS 12.5, 26°, Auto contrast, PS Sat -13	cb+LDS(12.5)+ <a href="#">adj.col</a> (cyan 0.6)+316° Hue shift+ <a href="#">adj.col</a> (sat.0.8) + hue shift ( <a href="#">lum.1.1/</a> <a href="#">sat.0.9</a> ) + 51° hue shift	LDS 12.5, 26°, Auto contrast, Flatten 20

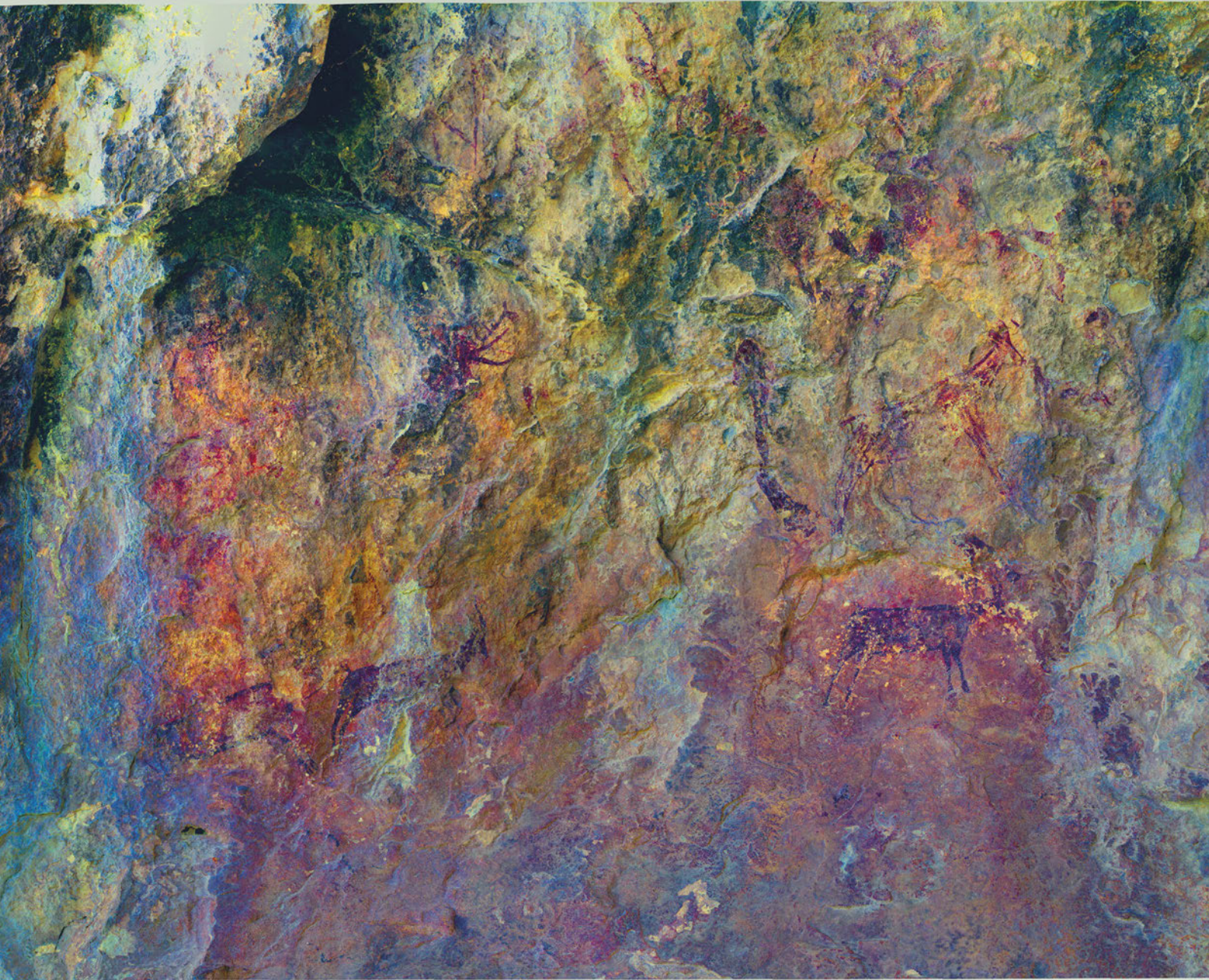


Figura 167. Panorámica del sector izquierdo de Cañica del Calar II, fase 1, tratada mediante *DStretch*. © E. Quesada



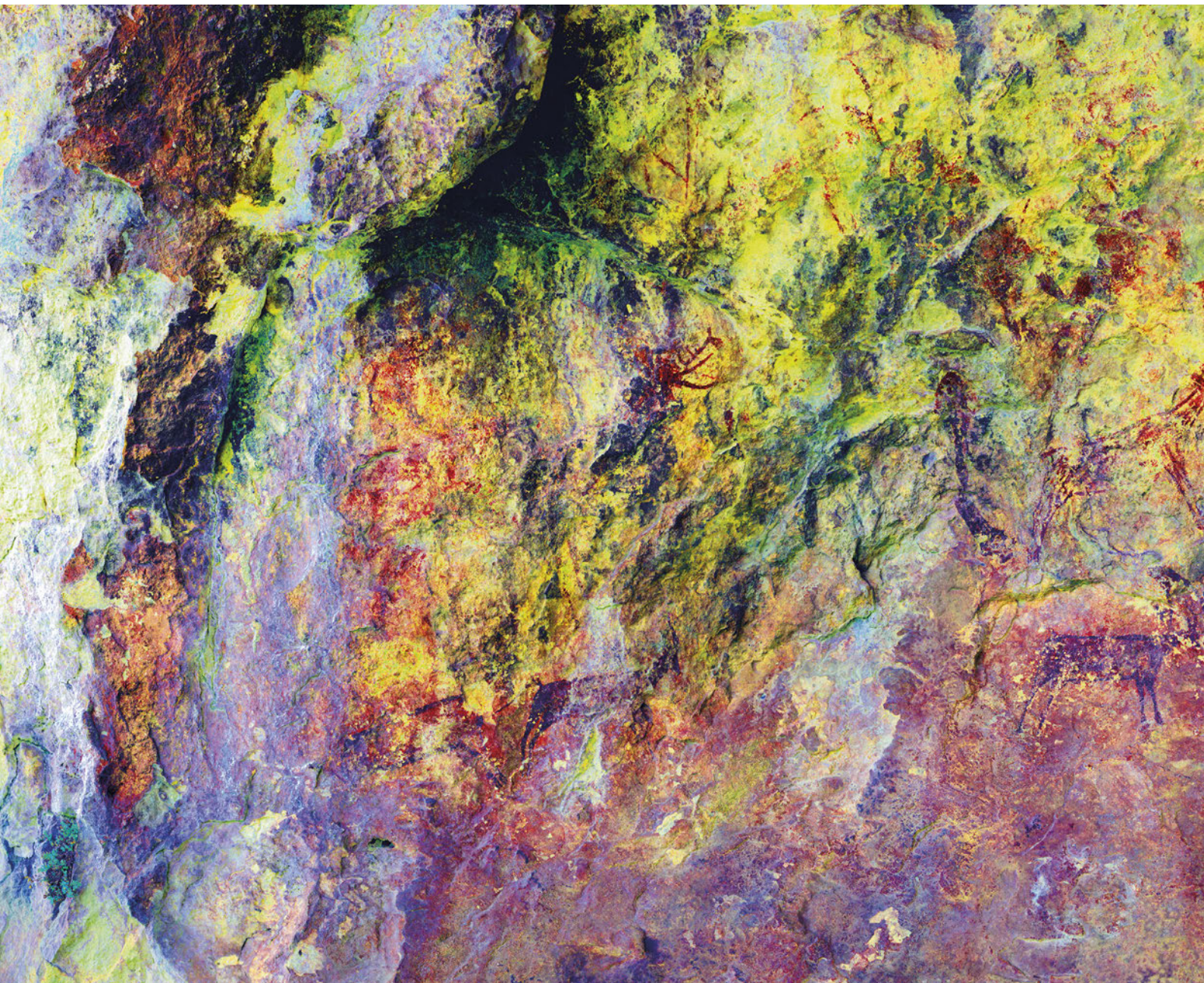


Figura 168. Panorámica del sector izquierdo de Cañica del Calar II, fase 2, tratada mediante DStretch. © J.F. Ruiz



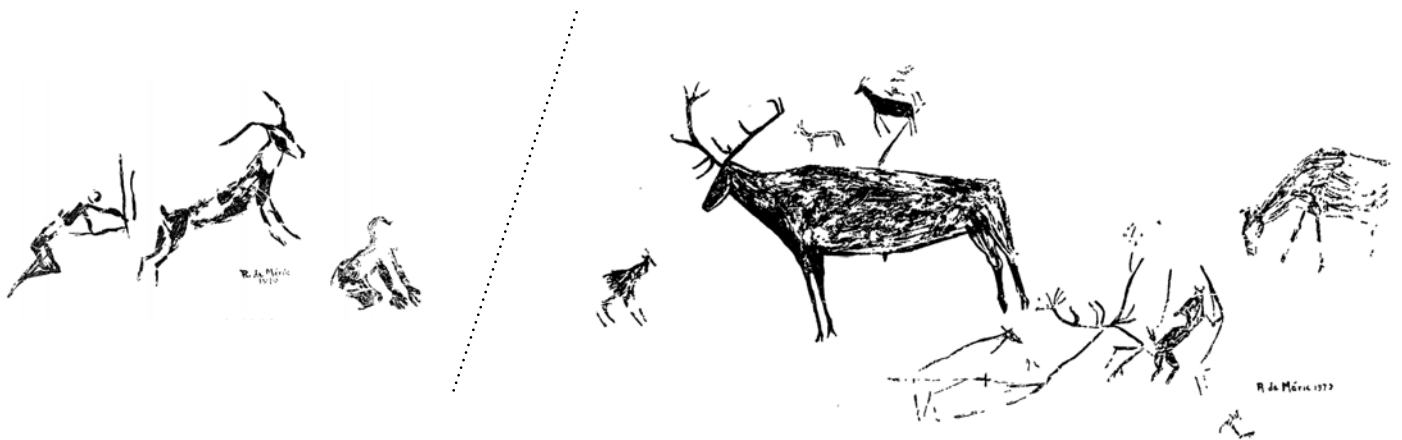








170



171



Figura 170. Calco de Cañiaca del Calar II según Beltrán (1972).

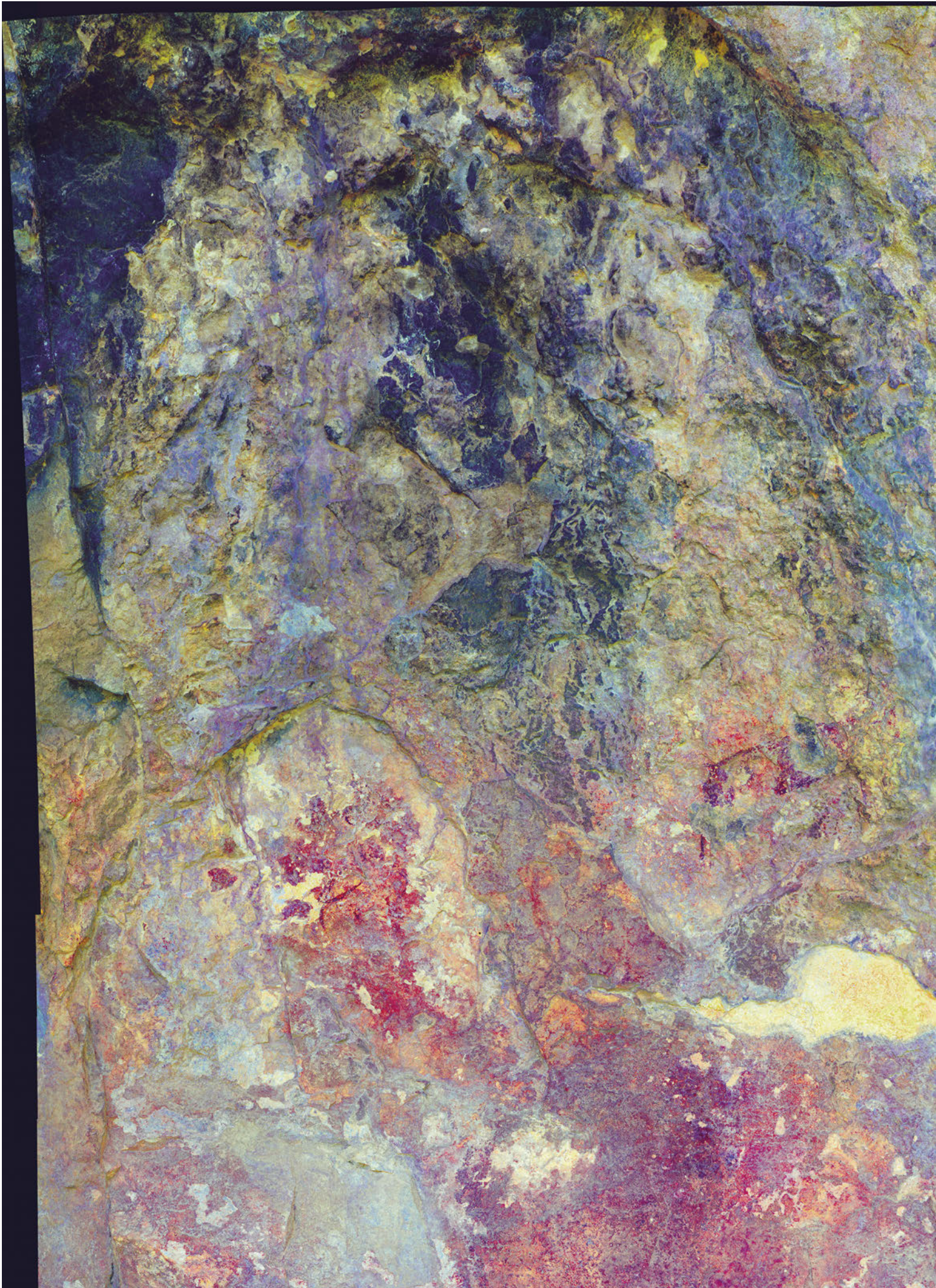
Figura 171. Calcos parciales de Cañiaca del Calar II realizados por Mériac (Walker, 1971).

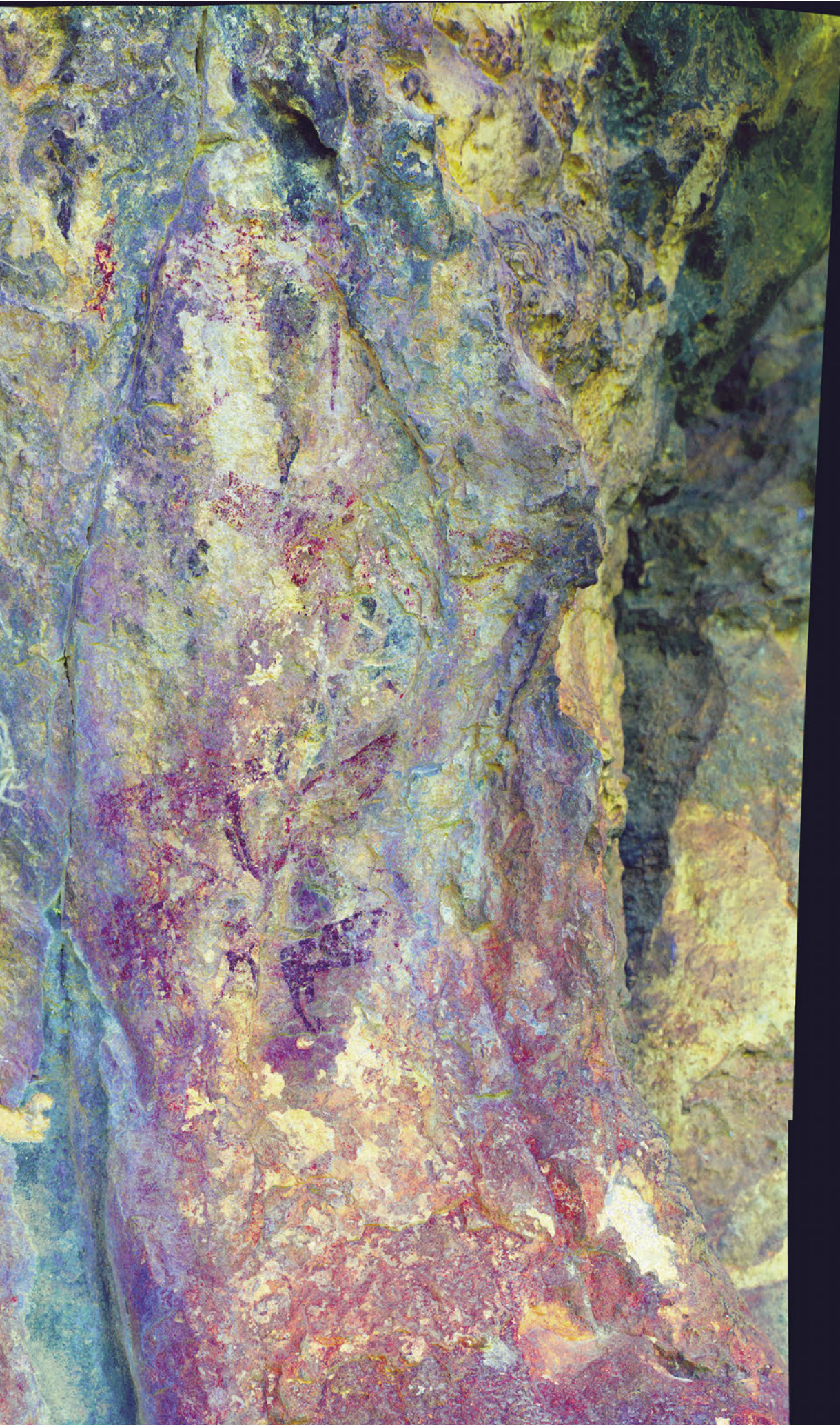




172

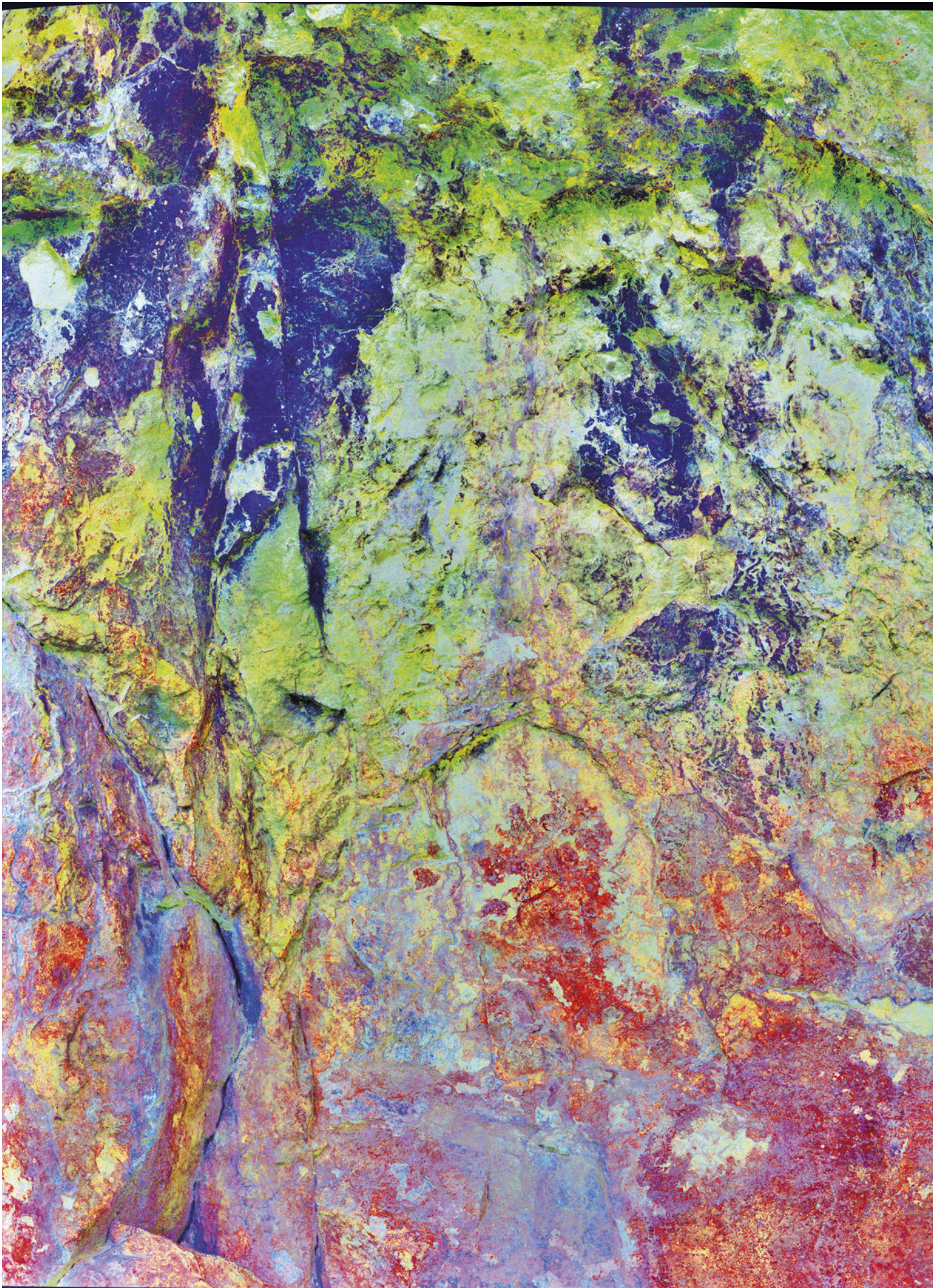
Figura 172. Panorámica gigapixel efectuada en el sector derecho de Cañica del Calar II, fase 1.  
© J.F. Ruiz





173

Figura 173. Panorámica del sector derecho de Cañica del Calar II, fase 1, tratada mediante DStretch. © E. Quesada.

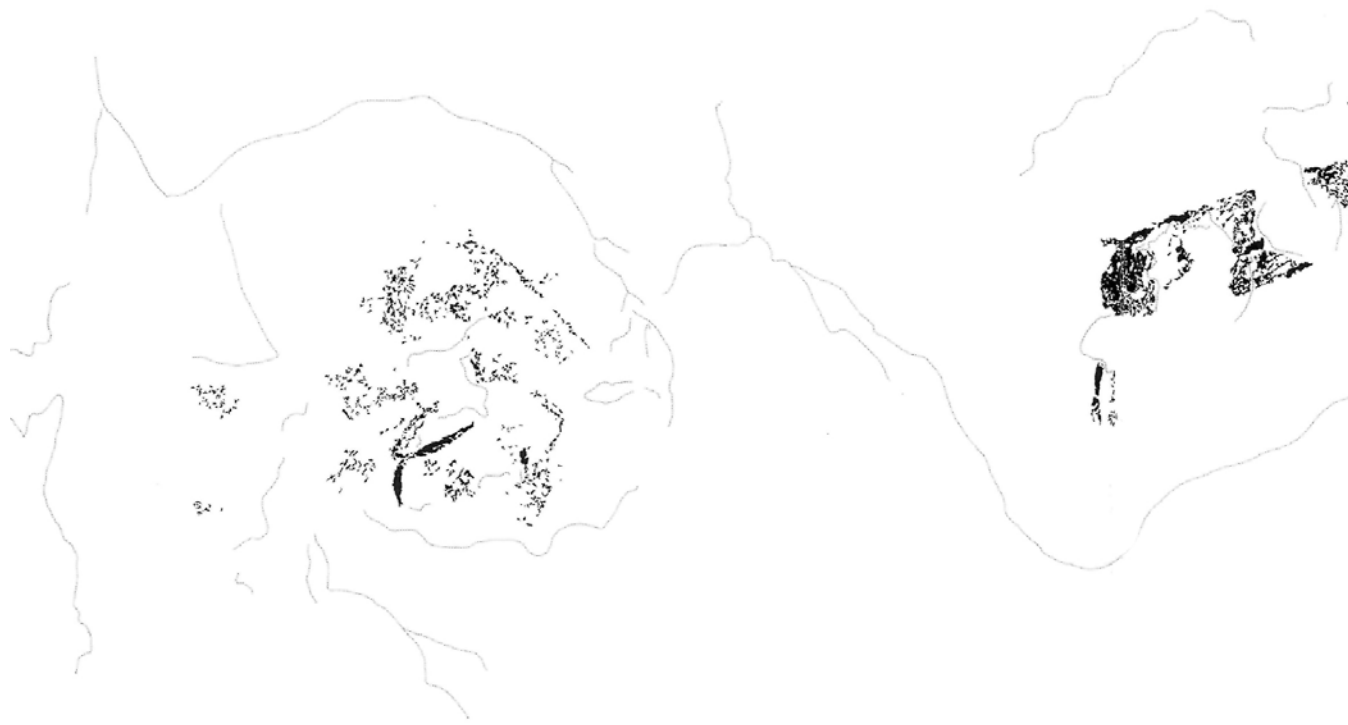






174

Figura 174. Panorámica gigapixel efectuada en el sector derecho de Cañiaca del Calar II, fase 2.  
© J.F. Ruiz





**CAÑICA DEL CALAR II**

0 5 10cm

Dibujo: Miguel Angel Mateo Saura

Figura 175. Calco del sector derecho de Cañica del Calar II según Mateo (2005)

### 4.2.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico

Se trata de un abrigo restaurado por Eduald Guillamet y Laura Ballester en la última década. Se aprecia una intensa actividad biogeoquímica en el soporte, principalmente por la presencia de diversos tipos de recubrimientos. No obstante, la acción erosiva del agua en esta cavidad es la más predominante, podemos decir que el 40% de su superficie –tal y cómo se desprende de la estadística SIG– está afectada por coladas calcíticas y otros tipos de costras y pátinas, donde el agua sin duda ha tenido un papel importante en su formación. Observamos también, lo que parecen manchas de humedad en el panel, en la parte izquierda del mismo. Además, se ha documentado la presencia acusada de fisuras y grietas, probablemente consecuencia de los cambios bruscos de temperatura que se originan en el paraje.

Pese a que los distintos procesos de alteración están aun activos, no hemos apreciado cambios diacrónicos durante el periodo analizado. Algunas de las descamaciones superficiales y de los desconchados fueron entonados durante los procesos de limpieza, apreciándose sólo desconchados recientes en la parte baja y alta del abrigo.

La actividad microbiológica es escasa y la vegetación que hemos observado durante las tres campañas se encuentra en el extremo izquierdo del abrigo fuera del área pintada, por lo que no resultan alteraciones directas sobre los registros pintados.

La actividad antrópica se concentra en su totalidad en la plataforma del abrigo, donde apreciamos pátinas causadas por el roce de humanos y animales e incluso algunos desprendimientos en la plataforma de roca. Éstos desprendimientos sólo se documentaron en julio de 2013.

**TABLA 9. RELACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS EN CAÑAICA DEL CALAR II**

Referencia	Fotografías	Descripción
CC001	Figura 178 Figura 179 Anexo 10	RECUBRIMIENTO NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de tonalidad naranja, presencia de sales, de grosor considerable y con relativa adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> parte central del abrigo, a la altura del suelo / base.
CC003	Figura 180 Figura 181 Anexo 11	RECUBRIMIENTO NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento con tonalidades anaranjado –rojizas, con un grosor considerable, buena adherencia con el sustrato. Presencia de erosiones puntiformes.  <u>Localización:</u> a la derecha del abrigo, fuera del panel (muy similar a la parte central del panel)
CC006	Figura 182 Anexo 12	RECUBRIMIENTO NEGRO  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color negruzco, de poco grosor, muy continuo y con buena adherencia con el sustrato. Presenta una morfología microbotroidal.  <u>Localización:</u> parte superior; derecha del abrigo

#### 4.2.3.1. Contexto geológico

El abrigo se localiza en el paraje conocido como Cañica de Andrés. Está situado en la mitad del barranco, a escasa distancia de la población del Calar de la Santa.

Los autores del mapa geológico de las hojas de Yetas de Abajo y Moratalla (IGME, Mapa Geológico de España, Hojas 888 y 889, Fig. 205) la definen como “Calizas” y “Calizas de Algas” y la describen como una formación caliza masiva basal de potencia variable (hasta más de 100 m). La parte inferior es una caliza blanca muy rica en algas rodofíceas, mientras que la parte superior está formada por una caliza más detrítica o bioclástica. En ocasiones, sobre el techo de la “caliza de algas” aparece un hardground indicando una ruptura sedimentaria entre ambas calizas. Al conjunto se le atribuye una edad comprendida entre el Aquitaniense y el Burdigaliense Inferior.

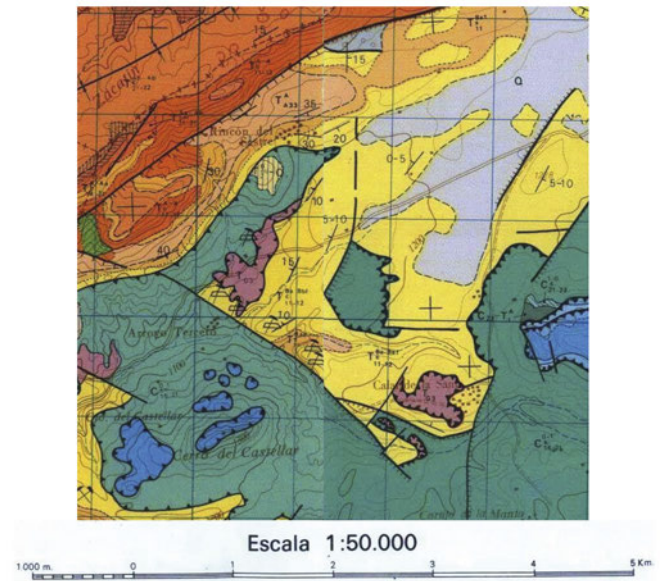
Según estos autores, la “caliza de algas” masiva, contiene frecuentemente restos de algas (p.e. *Melobesias*), foraminíferos (p.e. *Heterostegina sp.*, *Amphistegina sp.*, *Miogypsina sp.*, *Cibicides sp.*, *Eponides sp.*, *Sphaerogypsina sp.*, *Texturalia sp.*, *Elphidium sp.*, *Operculina sp.*, *Lithothamnium sp.*, *Lenticulina sp.*, *Globorotalia sp.*, *Discorbis sp.*, *Gypsínidos*, *Globigerínidos*, *Anomalínidos*, *Bolivinas*), ostrácodos, briozoos, lamelibranquios, equinodermos, gasterópodos y crustáceos (*Balanus sp.*), entre otros.

Desde el punto de vista petrológico (anexos 10-12)<sup>13</sup> podría definirse como una biomicrita empaquetada (según Folk 1959, 1962) o un *wackstone* – *floatstone* (según Dunham 1962) dependiendo del tramo que analicemos.

#### 4.2.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo

Tal y como se ha documentado previamente en la fase 1 del proyecto, este abrigo se caracteriza por la presencia de distintas formas de alteración del grupo 1 (modificaciones superficiales) entre las que cabe destacar la presencia generalizada de un recubrimiento grisáceo-anaranjado en la franja central del panel, la presencia de un recubrimiento ne-gruzco localizado en la franja media-superior del panel, la presencia de un recubrimiento de color anaranjado en la plataforma del abrigo así como la presencia de coladas calcíticas.

Por su parte, entre formas y/o mecanismos de alteración de los grupos 2 y 3 observadas en este abrigo, cabe destacar que los procesos de descamación y desplazación superficiales son notables, mientras que los procesos de ruptura (entre los que distinguimos la fisuración, fracturación e incluso la fragmentación) son muy acusados tanto a nivel del abrigo como a nivel del panel decorado.



176

<sup>13</sup>. Disponible en la versión digital, descargable en <http://www.cuadernosdearterupestre.es/arterupestre/libro4D.pdf>

Figura 176. Mapa geológico de los alrededores del Abrigo de la Cañica del Calar (modificado de Mapa Geológico de España, Hoja 868 IGME).



177



178 179

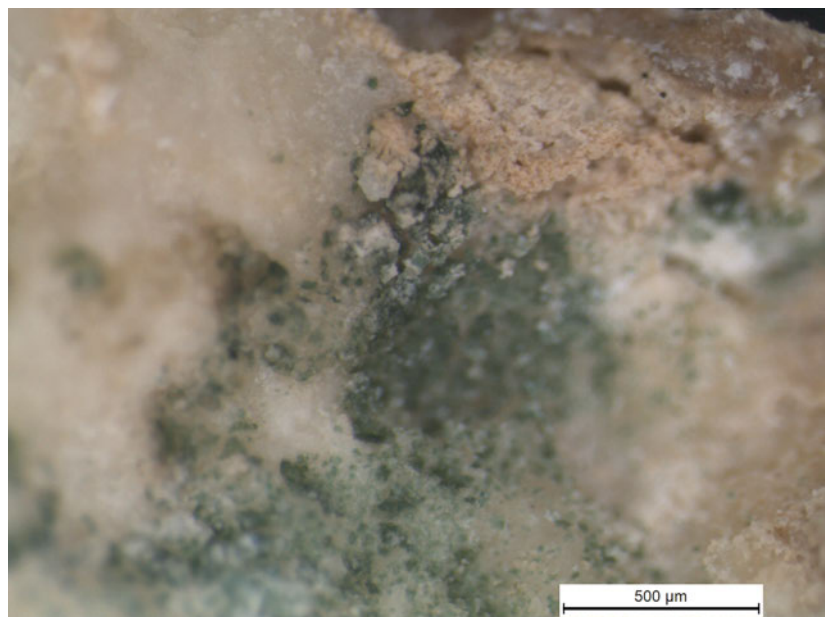


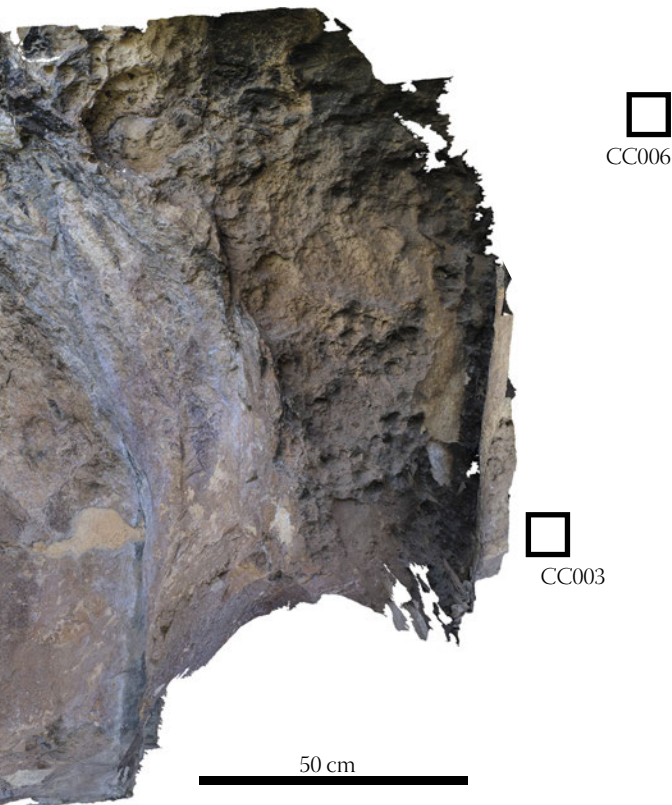
Figura 177. Ortoimagen de Cañica del Calar II con indicación de las posiciones de muestreo © J.F. Ruiz.

Figura 178. Microfotografía in situ de la zona de muestreo CC001. © À. Pitarch.

Figura 179. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra CC001. © À. Pitarch

#### 4.2.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial

Se han seleccionado un total de tres muestras de los productos de alteración para su descripción químico-mineralógica detallada teniendo en cuenta sus características organolépticas (Tabla 9).



La observación de las muestras mediante la lupa estereoscópica (ver Tabla 4) y mediante el microscopio óptico polarizado (MOP) (anexos 10-12) pone de manifiesto la naturaleza de dichos recubrimientos; en este sentido, CC001 y CC006 corresponden a dos tipos de costras bien diferenciadas, mientras que CC003 es una pátina (entendiéndose como pátina un recubrimiento consolidado no estratiforme). En el caso de las costras o depósitos multi-laminares, se observa que presentan una morfología, textura y composición muy distinta en cada caso. Así, la muestra CC001 corresponde a una estructura de tipo estromatolítico con distintas fases de crecimiento donde se le han superpuesto, de

arriba abajo, dos capas muy compactas con textura criptocristalina que responden, probablemente, a dos episodios de cristalización repentina, y una tercera capa (en contacto directo con el soporte) laminada y con abundantes poros. Por lo que respecta a CC003, esta muestra presenta también una serie de capas que podrían corresponder a una combinación de mecanismos de formación biológicos y mecanismos físico-químicos puramente geológicos. En relación a la muestra CC003, no parece que esta pátina se haya formado bajo la influencia de ningún organismo, sino que responde a un proceso de formación totalmente distinto, aún por determinar.

La observación y análisis SEM-EDX global de las superficies de las muestras nos permite identificar la presencia generalizada de silicio (Si), calcio (Ca), aluminio (Al), magnesio (Mg), potasio (K) y hierro (Fe) en las muestras CC001 y CC003. La diferencia entre estas dos muestras a nivel de SEM-EDX, radica en que la muestra CC001 presenta una superficie craquelada mientras que la muestra CC003 presenta una serie de oquedades que constituyen zonas más alterables que el resto del material y acaban evolucionando a las picaduras que, de hecho, ya se han observado de visu. Además se detecta la presencia de fósforo (P).

En el caso de CC006, además de los elementos ya citados (exceptuando el fósforo (P)), también se detecta la presencia de azufre (S). En base a la morfología y la composición de los cristales identificados por SEM-EDX (cristales de sulfato cálcico de neoformación), a la estratigrafía de la sección determinada mediante MOP y a la descripción de visu (morfología microbotroidal) podemos concluir que en superficie se trata de una costra formada por un proceso de evaporación muy repentino que ha dado lugar al crecimiento masivo de cristales de yeso.

Los resultados preliminares de los análisis realizados sobre las muestras del abrigo de la Cañica del Calar II ponen de manifiesto que las modificaciones superficiales que presenta



Figura 180. Microfotografía in situ de la zona de muestreo CC002. © À. Pitarch.

Figura 181. Dcha.: Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra CC003. © À. Pitarch.

Figura 182. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra CC006. © À. Pitarch

dicho abrigo no responde a un único factor, sino que existe una complejidad multifactorial donde se combinan mecanismos de degradación físico-químicos y mecanismos de crecimiento biológico diverso. Cabe mencionar que aunque CC001 no presente las mismas características organolépticas ni la misma estratigrafía o composición que CC006, podría responder a un proceso de formación muy parecido al que ha sufrido esta última, estando CC001 en un estadio menos evolucionado.

La presencia de coladas calcíticas aún activas sugiere que el agua sigue teniendo un papel importante en el desarrollo de esta cavidad.



#### 4.2.4. Análisis químicos

Con el objetivo de complementar las técnicas de análisis de imagen para la detección de cambios y alteraciones que se hayan podido producir en las diferentes pictografías, soportes y/o patinas correspondientes al abrigo de Cañica del Calar, se realizaron diferentes análisis in situ. Las localizaciones de los puntos donde se han realizado los citados análisis han sido seleccionadas teniendo en cuenta el interés del panel y en pictografías seleccionadas previamente.

Para llevar a cabo el estudio se realizaron medidas directas mediante dos equipos portátiles basados en fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) y espectroscopia Raman.

En junio de 2013 y enero de 2014 en el panel de Cañica del Calar II han sido llevados a cabo más de 60 análisis mediante Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF) y más de 12 medidas por espectroscopia Raman.

##### 4.2.4.1. Resultados Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF)

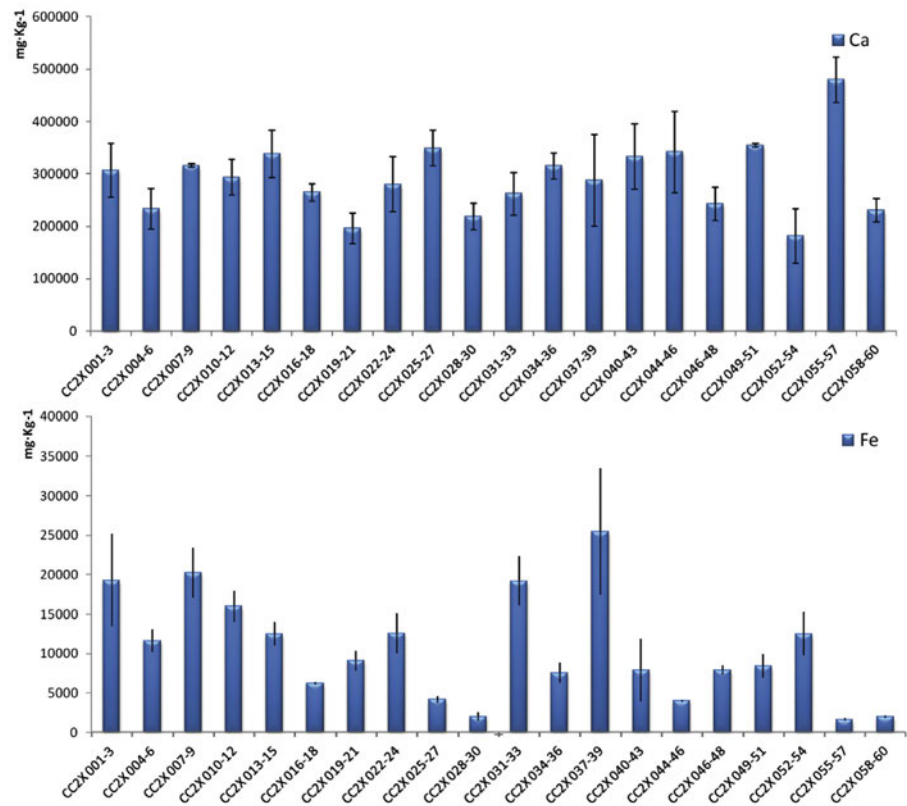
Los resultados de las campañas realizadas en junio de 2013 y enero de 2014 aparecen en las Fig. 183-184, a partir de los análisis efectuados mediante el espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil en el abrigo de Cañica del Calar II. Cada uno de los datos asociados a diferentes zonas de medida se ofrece como media de tres determinaciones en el mismo punto de análisis, con el fin de obtener datos representativos. En la citada figura aparece también representada en forma de barras, la desviación estándar asociada a las tres citadas medidas. En las Fig. 185-187 se pueden observar las posiciones de las zonas analizadas mediante EDXRF.

Como se ha indicado anteriormente la determinación de los elementos presentes se realiza de manera semicuantitativa (aproximación del valor de concentración en cada punto de medida del panel del abrigo), es decir, únicamente se considera válida para comparar diferentes puntos en un mismo panel.

Salvo en contadas ocasiones, en los análisis realizados no se detectaron elementos minoritarios (aquellos que están en concentraciones menores al 5%) y el resto de elementos detectados por debajo del 1% se obviaron, dada la incertidumbre de la medida. Como era de esperar, tanto en la campaña de análisis realizada en junio de 2013 como en la de enero de 2014 únicamente dos elementos aparecen como elementos mayoritarios, el calcio (Ca) y el hierro (Fe).

El calcio aparece como elemento mayoritario en todo el abrigo de Cañica del Calar, indicando así que se trata de un soporte calcáreo. Esta hipótesis se confirma por los resultados del análisis Raman, donde se identifica calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) como compuesto principal de la roca. El calcio proviene de la roca madre aunque no se puede descartar la presencia de otros compuestos en forma de pátina como veremos en los resultados relativos a la espectroscopia Raman.

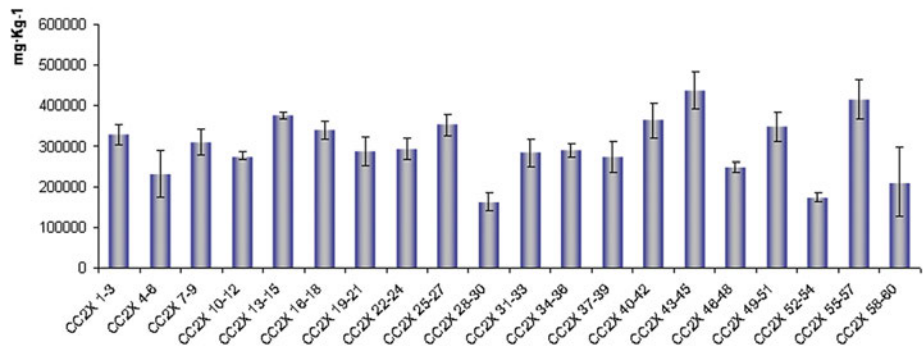
En lo que respecta al hierro, su presencia en el abrigo es debida a dos fuentes. Por un lado, tendríamos el hierro que pueda encontrarse formando parte de silicatos de la propia roca



183

184

**Ca (mg/Kg)**



**Fe (mg/Kg)**

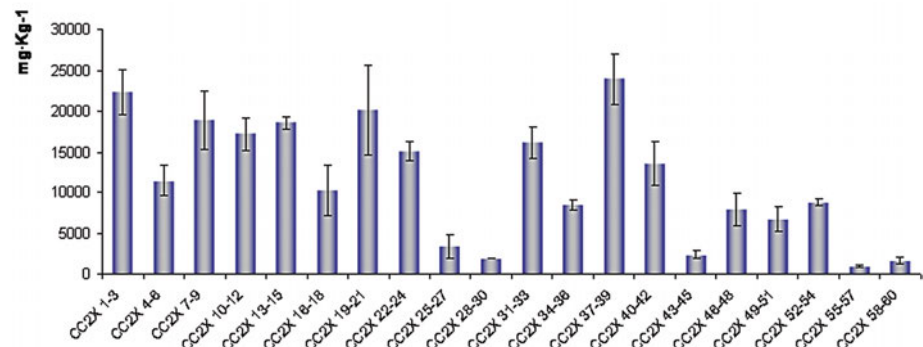


Figura 183. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro encontradas en los diferentes puntos analizados en Cañica del Calar II en junio de 2013. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres lecturas realizadas por punto de medida. © S. Fernández

Figura 184. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro en los puntos analizados en la campaña de enero 2014 en Cañica del Calar II. Las líneas horizontales del diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto. © S. Fernández.

185



186

Figura 185. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código CC2Xnnn-*nnn*) y Raman (código CC2Rnn) en el sector izquierdo de Cañica del Calar II. © J.F. Ruiz.

Figura 186. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código CC2Xnnn-*nnn*) y Raman (código CC2Rnn) en el sector central de Cañica del Calar II. © J.F. Ruiz



187

madre, arcillas o aquel que pueda llegar al panel del abrigo por escorrentia. Por otro, el hierro que compone el pigmento utilizado en la pictografía, mientras que su mayor o menor concentración se debe al diferente espesor de la capa pictórica existente. Estas diferencias encontradas pueden observarse en dos espectros de EDXRF encontrados en dos puntos de medida del panel (Fig. 188).

Comparando los valores encontrados en distintas zonas del panel del abrigo de Cañaiça del Calar en junio de 2013 y enero del 2014 se pueden apreciar diferencias en las concentraciones medias de ambos elementos (ver Tabla 10). En todos los puntos se encontró una mayor concentración de calcio con respecto al hierro, lo que sugiere, en aquellos puntos donde se ha medido un pictografía, que la capa de pigmento es muy fina, que existe pérdida de granos de pigmento, etc.

Al igual que pasaba en junio del 2013, en enero del 2014 el punto con mayor concentración de hierro (CC2X 037-39) corresponde a un motivo que presenta un color rojo más oscuro, lo que podría indicar una capa de pigmento más gruesa. Sin embargo, otros puntos de medida en los que la señal de hierro es importante (CC2X 007-9) no presentan un color tan intenso y, por tanto, la alta concentración de hierro tiene claramente otro origen.

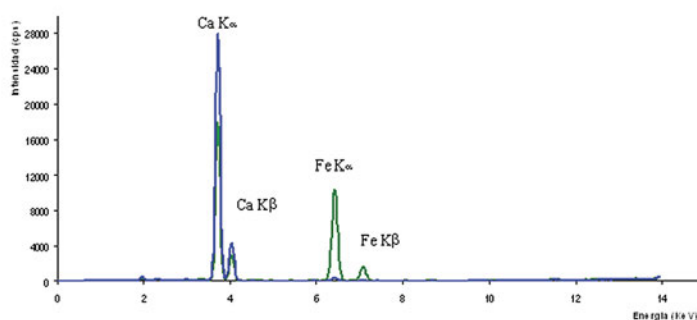
Los puntos de medida con menos concentración de hierro se corresponden a zonas sin motivos pictóricos o donde el panel aparece menos rojizo (CC2X 025-27; CC2X 028-30; CC2X

**Figura 187.** Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código CC2Xnnn-*nnn*) y Raman (código CC2Rnn) en el sector derecho de Cañaiça del Calar II. © J.F. Ruiz.

**Figura 188.** Espectros EDXRF comparativos del material soporte (línea de color azul) y de uno de los análisis en una pictografía (línea de color verde) ambos análisis realizados in situ en enero del 2014 del abrigo de Cañaiça del Calar II. © S. Fernández

**TABLA 10. VALORES DE CONCENTRACIÓN MEDIA EN MG·KG<sup>-1</sup> DEL CALCIO (CA) Y HIERRO (FE) Y TRES VECES LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIDAS REALIZADAS EN LOS DIFERENTES PUNTOS ANALIZADOS EN CAÑICA DE CALAR II**

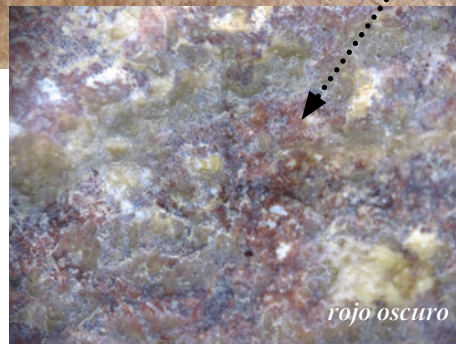
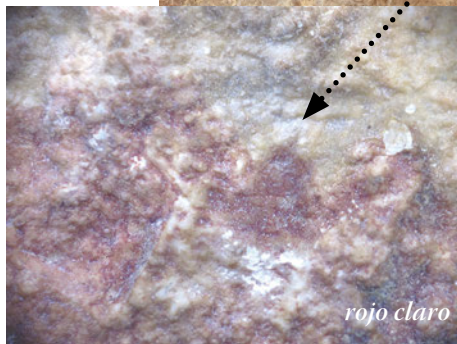
Código del análisis	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14	Fe(mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Fe(mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14
CC2X 001-3	306660 ±51190	328763 ± 25688	19320 ±5890	22277 ± 2749
CC2X 004-6	233670 ±38600	231686 ± 56592	11640 ±1490	11435 ± 1795
CC2X 007-9	316215 ±3305	310196 ± 34037	20235 ±3180	18889 ± 3564
CC2X 010-12	293490 ±33770	274255 ± 9556	15995 ±1995	17209 ± 1966
CC2X 013-15	337820 ±45145	375686 ± 7949	12480 ±1490	18566 ± 793
CC2X 016-18	264950 ±16745	339066 ± 21818	6205 ±520	10238 ± 3084
CC2X 019-21	195645 ±29345	288118 ± 36001	9120 ±1295	20090 ± 5540
CC2X 022-24	280175 ±52170	293410 ± 28471	12575 ±2530	15060 ± 1196
CC2X 025-27	349055 ±33735	352657 ± 25662	4195 ±450	3405 ± 1422
CC2X 028-30	218720 ±24710	163290 ± 22166	2010 ±595	1913 ± 62
CC2X 031-33	262385 ±40505	283544 ± 34089	19205 ±3140	16145 ± 1994
CC2X 034-36	315330 ±24325	289146 ± 18832	7570 ±1285	8429 ± 649
CC2X 037-39	288165 ±87775	274439 ± 39305	25470 ±8020	23921 ± 3099
CC2X 040-42	332770 ±62615	363692 ± 42905	7885 ±3995	13534 ± 2709
CC2X 043-45	341655 ±78120	437779 ± 44734	3975 ±470	2389 ± 448
CC2X 046-48	242700 ±31690	248189 ± 12778	7890 ±660	7930 ± 1996
CC2X 049-51	354730 ±3495.0	348393 ± 36422	8430 ±1500	6737 ± 1483
CC2X 052-54	181477 ±52343	173951 ± 10358	12515 ±8430	8827 ± 415
CC2X 055-57	480072 ±43339	416034 ± 48162	1635 ±170	934 ± 142
CC2X 058-60	230121 ±22602	211188 ± 84576	1980 ±140	1666 ± 367



188

043-45; CC2X 55-57 y CC2X 58-60). Al igual que pasaba en junio del 2013, el punto de análisis CC2X 055-57 vuelve a presentar un mínimo de concentración, dicho punto de análisis se localiza en una incrustación en forma de escorrentía, probablemente compuesta por calcita, ya que la concentración de calcio es significativamente mayor al resto de puntos analizados.

Por otro lado existen puntos como CC2X 016-18, CC2X 040-42, CC2X 046-48, CC2X 049-51 o CC2X 052-54 con menor concentración de hierro que la esperada, a pesar de localizarse sobre pictografías. Esto ocurre porque las intensidades de señal obtenidas para cada uno de los elementos dependen de varios factores inherentes a la técnica, como ya se ha descrito. Otro motivo por el que se encuentran diferencias en la concentración media de hierro en los distintos pictografías del panel del abrigo puede estar relacionado con el tamaño del área de medida de la pistola de EDXRF (9 mm) con respecto a la superficie pictórica objeto de análisis. Lo ideal es



189

190

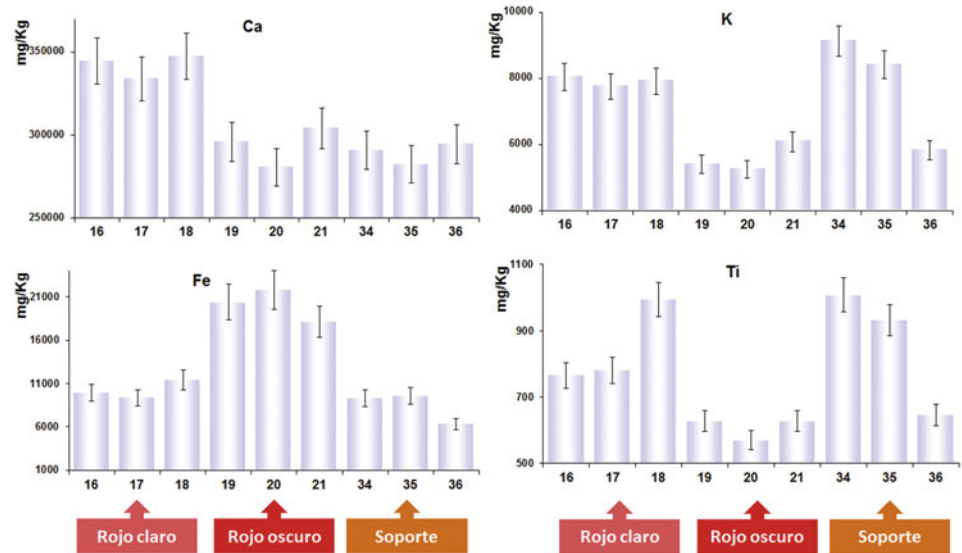
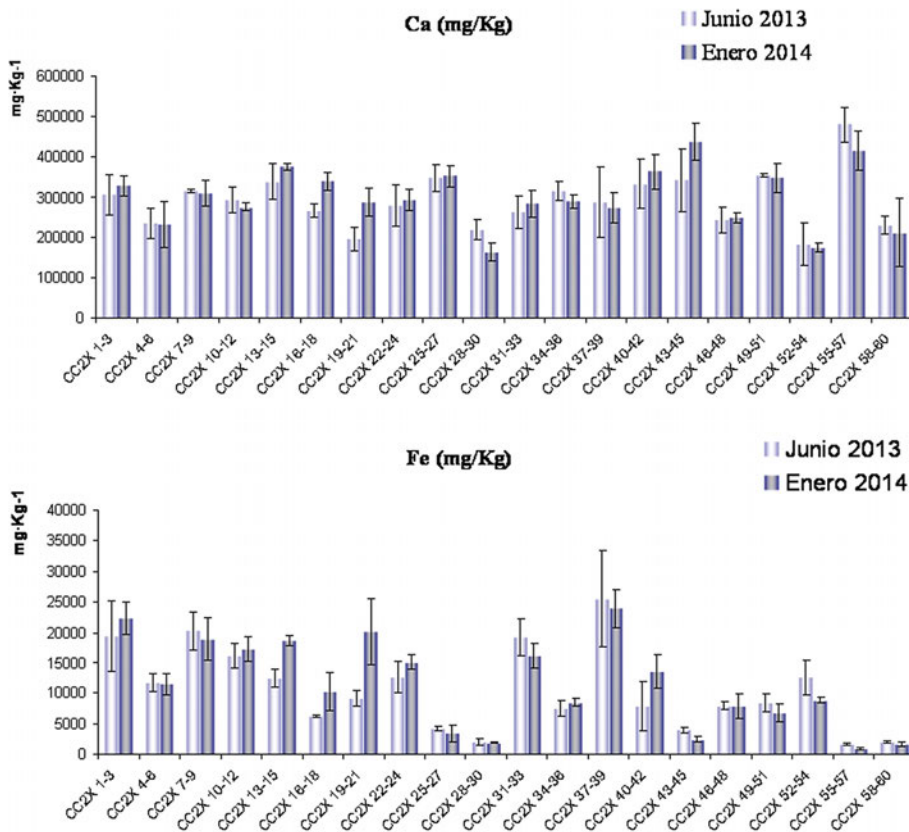


Figura 189. Diferentes microfotografías correspondientes a zonas con distintas tonalidades de rojos y al soporte. En la fotografía general aparece donde se realizaron las distintas microfotografías y donde se realizaron las medidas in situ mediante análisis por EDXRF. © S. Fernández y J.F. Ruiz.

Figura 190. Concentración ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) de calcio, potasio, titanio y hierro encontradas en una pequeña figura de tonalidad roja clara, en un arquero (rojo oscuro) y en uno de los puntos analizados que corresponde al soporte rocoso en la campaña de enero 2014 de Cañiaca del Calar II. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a la desviación estadística de la medida realizada por EDXRF. © S. Fernández

que la superficie del área de medida del cabezal de la pistola esté completamente cubierta por pigmento, en cuyo caso la señal obtenida (correspondiente al hierro presente en el pigmento) podrá aumentar, por ejemplo, en función del espesor de la capa de pigmento, ya que los rayos X tienen capacidad de penetración. Sin embargo, puede haber casos en los que el área de medida es mayor a la superficie cubierta por pigmento, en cuyo caso, la señal del hierro disminuye a pesar



191

de que en dicho análisis se mide también la concentración de hierro correspondiente a la roca madre, dando finalmente un valor medio entre lo existente en la roca madre y en la capa pictórica.

Por otro lado entre las figuras del panel aparecen figuras con tonalidades de rojos mas claros que otras; a modo de ejemplo en la Fig. 189 aparecen microfotografías de zonas concretas donde esa diferencia de tonalidad entre rojos queda reflejada. En la Fig. 190 aparecen los valores de concentraciones medidas en dichas zonas. En dicha figura se puede observar que los análisis realizados en la figura roja clara presentan mayores niveles de concentración de calcio, potasio y titanio, en cambio en los análisis realizados a la figura del arquero la concentración de hierro es mayor.

Uno de los objetivos de este proyecto de investigación es ver si se presentan variaciones en la composición química de los abrigos objeto de estudio a lo largo del tiempo. Todo ello con objeto de posibilitar la identificación de alteraciones debidas al ciclo natural, aparición de patinas, cambios de coloración del soporte o de las pictografías presentes, aparición de fracturas, pérdidas de soporte o figuras, etc. Por ello, los análisis del presente estudio se realizaron con una diferencia temporal de ocho meses y coincidiendo con estaciones del año contrarias, es decir, los primeros análisis fueron realizados en junio del año 2013 coincidiendo con el verano (época de sequía, mayor temperatura y menor humedad) y los últimos análisis fueron realizados en invierno (época con menor temperatura y mayor humedad) del presente año (enero 2014).

Si se comparan los resultados de ambas campañas de análisis (Fig. 191) tanto para el caso del calcio como para el hierro se puede llegar a la conclusión de que no hay diferencias significativas entre las concentraciones encontradas en los distintos puntos de análisis en este pequeño transcurso de tiempo a pesar de las diferentes condiciones climáticas en que han sido realizados los análisis químicos. Todos los valores de concentración de la campaña de junio 2013 y enero 2014 en el mismo

Figura 191. Comparación de las concentraciones medias ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) de calcio y hierro de los puntos analizados en junio 2013 (azul claro) y enero 2014 (azul oscuro) en Cañica del Calar II. Las líneas verticales en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de cada una de las tres medidas realizadas. © S. Fernández.

punto de análisis aparecen siempre dentro del intervalo de confianza de la concentración encontrada. Esto pone de manifiesto que el protocolo/procedimiento de análisis químico expuesto en el presente proyecto es apropiado para las condiciones existentes en los abrigos objeto de estudio.

A modo de conclusión final de este apartado resaltar el hecho de que en Cañaica del Calar II no se han encontrado diferencias respecto a composición química en estos últimos meses. Cabe recomendar con esta metodología a través de un plan de monitorización anual para poder seguir viendo si se producen cambios o no, desde el punto de vista químico, que pudieran poner de manifiesto el deterioro en alguno de las pictografías del abrigo.

#### 4.2.4.2. Resultados espectroscopia Raman

La espectroscopia Raman permite habitualmente identificar diversos compuestos relacionados tanto con la roca madre como con los pigmentos que hallamos en las pinturas rupestres. Es por ello que es una técnica muy adecuada de carácter no destructivo ni invasivo (no hay necesidad de toma de muestra), por lo que está siendo muy utilizada en los últimos años sobre patrimonio y en particular, arte rupestre.

En las Fig. 185-187 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante Raman (ver correlación de numeración con descriptiva de cada zona en la Tabla 11).

Al igual que en junio del 2013 en esta nueva campaña de análisis, se pudo observar de nuevo que la pátina está compuesta básicamente, al igual que la roca madre, por calcita (ver Tabla 11 y el espectro característico de la Fig. 192). Las medidas 3, 4, 6, 9-12 son sólo algunos ejemplos de los espectros recogidos en zonas con pigmento, en las que no se obtuvo señal Raman característica alguna debido a la fluorescencia en ninguna de las campañas.

Por lo tanto, a pesar de que existen motivos pictóricos visibles en el panel, por razones inherentes a la técnica que se ve fuertemente influenciada por la presencia de pátinas superficiales, no ha sido posible determinar la composición molecular del pigmento, aunque por los resultados de EDXRF se constata la presencia de hierro, siendo el pigmento más común la hematita.

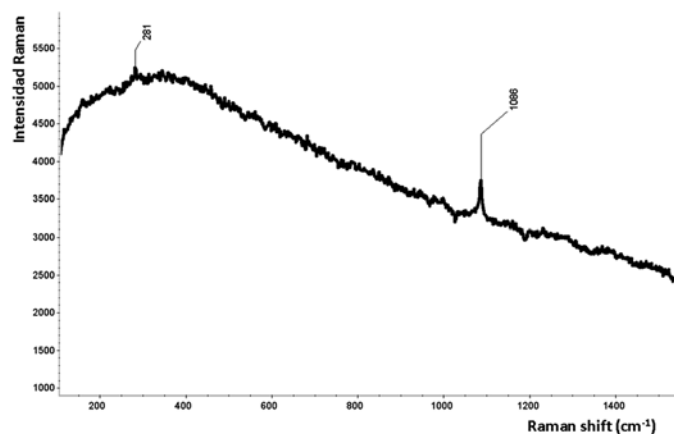


Figura 192. Espectro Raman característico de calcita, encontrada en Cañaica del Calar II (Moratalla, Murcia) en enero de 2014. © S. Fernández



**TABLA 11. COMPUESTOS ENCONTRADOS EN LAS ZONAS DE MEDIDA CORRESPONDIENTES A CAÑICA DEL CALAR II EN LAS CAMPAÑAS DE JUNIO 2013 Y ENERO 2014**

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
CC2 1	279, 1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
CC2 2	213, 1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
CC2 3	-	
CC2 4	-	
CC2 5	185, 217, 260, 402	no identificado
CC2 6	-	
CC2 7	282, 711, 1084	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
CC2 8	282, 711, 1084	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
CC2 9	-	
CC2 10	-	
CC2 11	-	
CC2 12	-	

#### 4.2.5. Conclusiones de la monitorización de Cañica del Calar II

Esta cavidad se abre en un farallón de roca caliza del Mioceno, con abundante presencia de fósiles en las áreas inmediatas al panel. Este abrigo presenta desde el principio del proyecto una situación de acusada estabilidad en lo que respecta al friso pintado. Esto no quiere decir que no existan alteraciones en el mismo, sino que las que han sido detectadas presentan una cinética mucho más lenta que en el resto de abrigos incluidos en el proyecto. Sin embargo, las cornisas y viseras situadas sobre la cavidad presentan problemáticas de inestabilidad estructural que deberían ser monitorizadas en un futuro próximo a los efectos de controlar los efectos que puedan tener sobre la conservación del panel pintado.

No se han identificado ningún tipo de pérdidas de soporte, y la única alteración identificada mediante las técnicas de comparación volumétrica corresponde a la aparición de una pequeña planta rupícola entre julio y noviembre de 2013.

En general, el panel presenta diversas formas de alteración como escamas y placas, rupturas y fisuras, así como recubrimientos de diferentes tonalidades, que oscilan entre las negruzcas de la parte superior de la cavidad, las anaranjadas-grisáceas en la zona decorada y las anaranjadas de la base del abrigo. En este abrigo, los análisis en laboratorio de las muestras geológicas seleccionadas han permitido identificar algunos de estos depósitos superficiales como costras y otros como pántinas. En las zonas negruzcas del abrigo, en las que presumimos una alteración reciente, podrían estar participando mecanismos geobioquímicos que no se han podido caracterizar por completo. Sin embargo, en el resto de costras del panel sí que se observa que los procesos biológicos son responsables de buena parte de su desarrollo, por lo que podríamos plantear que los diferentes recubrimientos identificados son el resultado de la interrelación entre los estadios de desarrollo de las comunidades microbiológicas y la alteración del sustrato geológico.

Se ha observado que las alteraciones causadas por la actividad hídrica (formación de grietas, presencia de coladas calcíticas, etc) afectan a una superficie cercana al 40%. Pese a que estos procesos aún permanecen activos, no se ha documentado la presencia de eflorescencia salinas tales como el yeso, epsomita o barita.

En la zona con pinturas no se ha podido caracterizar la presencia de recubrimientos de oxalato cálcico, probablemente debido a la fluorescencia que presentaban los espectros Raman realizados in situ. En muchas ocasiones, las costras multilaminares rojizo/anaranjadas suelen tener una presencia significativa de filosilicatos, lo que origina una intensa radiación de fluorescencia que enmascara cualquier otra señal en los espectros Raman.

El abrigo no presenta alteraciones antrópicas. Probablemente los recientes trabajos de limpieza y el buen estado del cerramiento perimetral hacen que sea así.

Los análisis con EDXRF han concluido que no existen variaciones apreciables y que las diferencias quedan dentro del intervalo de confianza estadístico. No obstante, es de interés destacar que de los datos obtenidos con esta técnica se podría deducir una diferente composición química para las pinturas rojas oscuras levantinas y las rojas claras esquemáticas.

En definitiva, el mayor riesgo para la conservación de este enclave lo representa el riesgo de desprendimientos de fragmentos de roca situados por encima y a la izquierda del panel con pinturas rupestres.



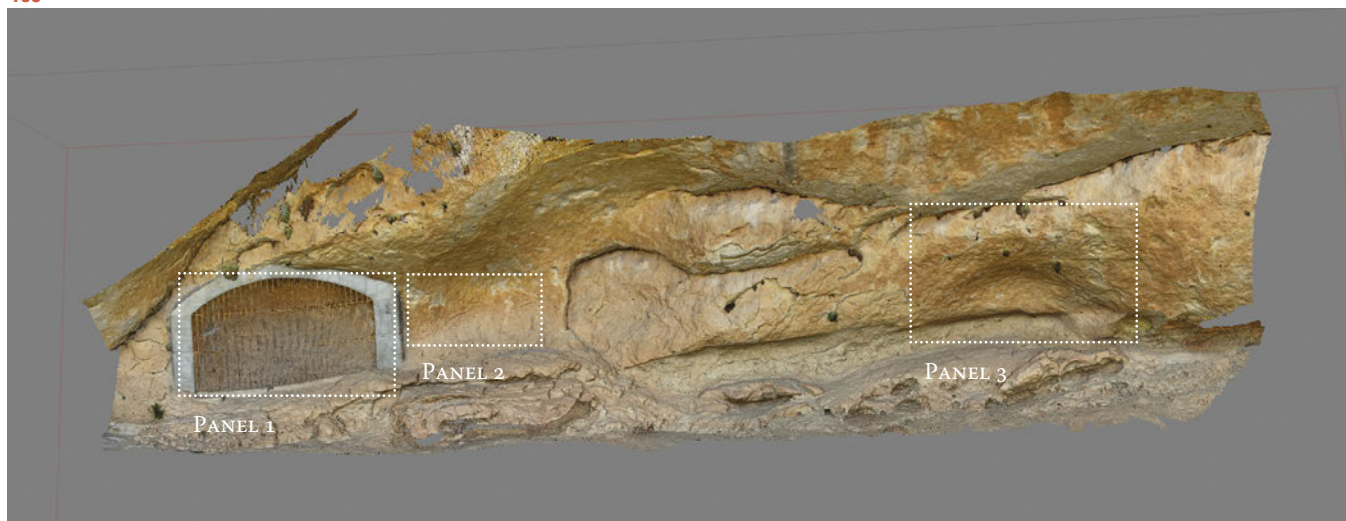
### 4.3. Cueva del Mediodía

#### 4.3.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos

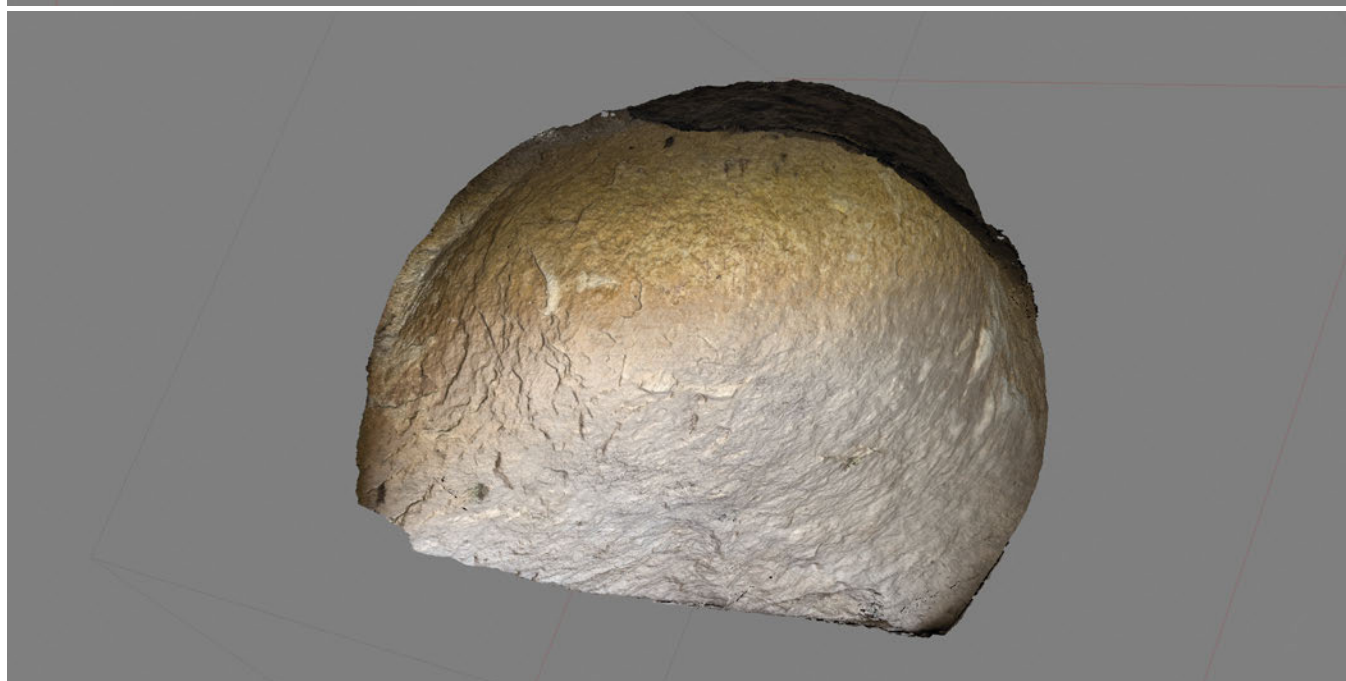
En este enclave se han realizado modelos de detalle para los tres paneles o abrigos existentes, quedando sólo las dos pictografías del extremo norte del sitio sin documentar ni monitorizar. Además se han construido en dos ocasiones modelos que cubren la totalidad del frente rocoso en el que se localizan los paneles pintados (Fig. 192), y modelos 3D de la cavidad completa del panel 1, que incluye el grupo principal de pictografías (Fig. 193).

Las comparaciones con *CloudCompare* se han efectuado entre los modelos de los tres paneles documentados en Cueva del Mediodía.

193



194



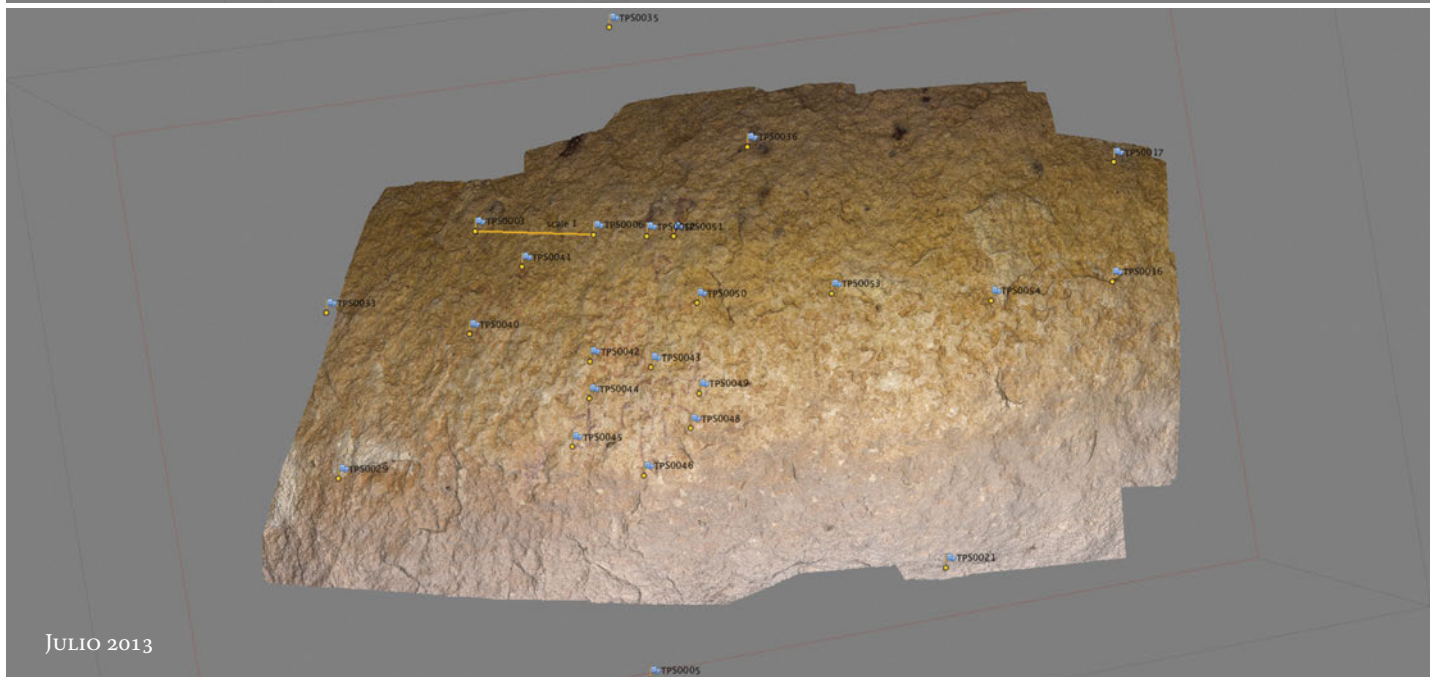
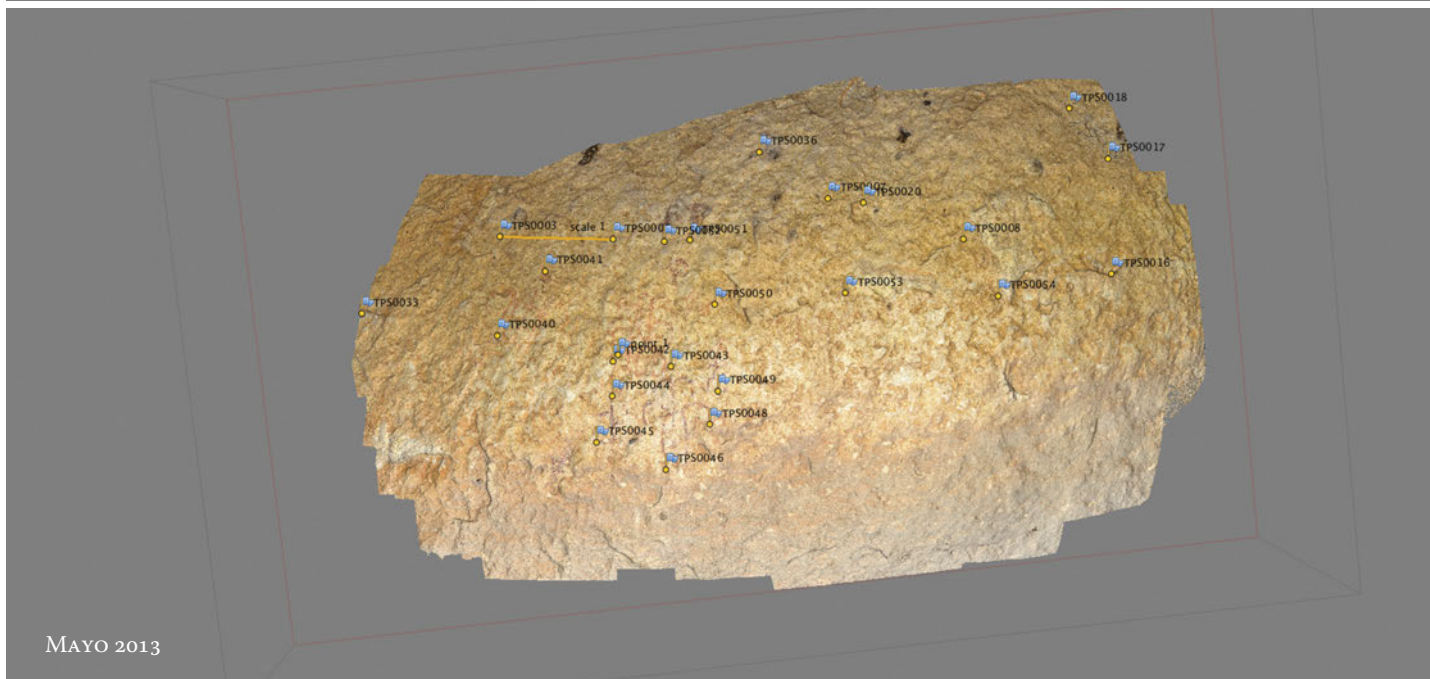
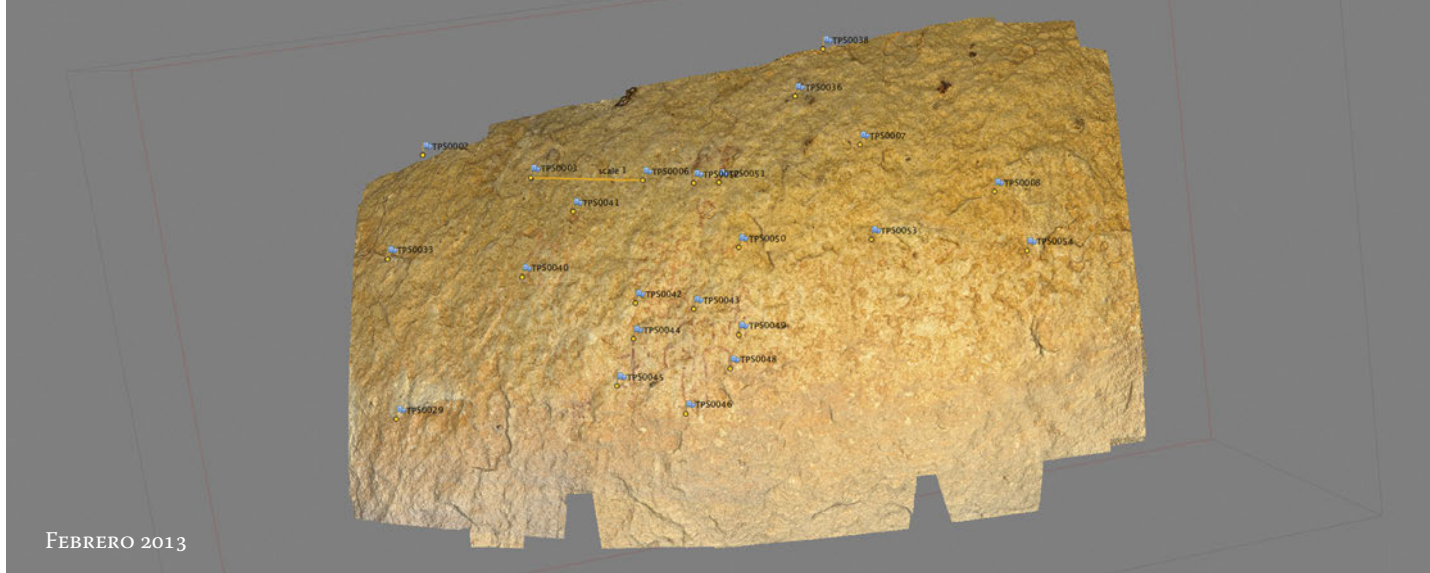


Figura 193. Modelo 3d global de Cueva del Mediodía con indicación de las áreas con pinturas. © J.F. Ruiz.  
 Figura 194. Modelo tridimensional de la cavidad principal o panel 1 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz.  
 Figura 195. Modelos 3D del panel 1 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz



NOVIEMBRE 2013



ENERO 2014

196

#### CUEVA DEL MEDIODÍA. PANEL 1

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	39	878.955	15.000.000	68.171.760	0,273573	21	2,917	0,102212
Mayo	55	1.070.080	14.999.999	-	0,264332	22	2,718	0,033440
Julio	49	924001	14.999.999	80.097.915	0,265391	20	3,226	0,213026
Noviembre	62	1.151.391	14.8365.65	87.668.772	0,244361	20	2,006	0,109550
Enero	101	1.575.038	15.000.000	112.200.715	0,275233	19	3,560	0,518338

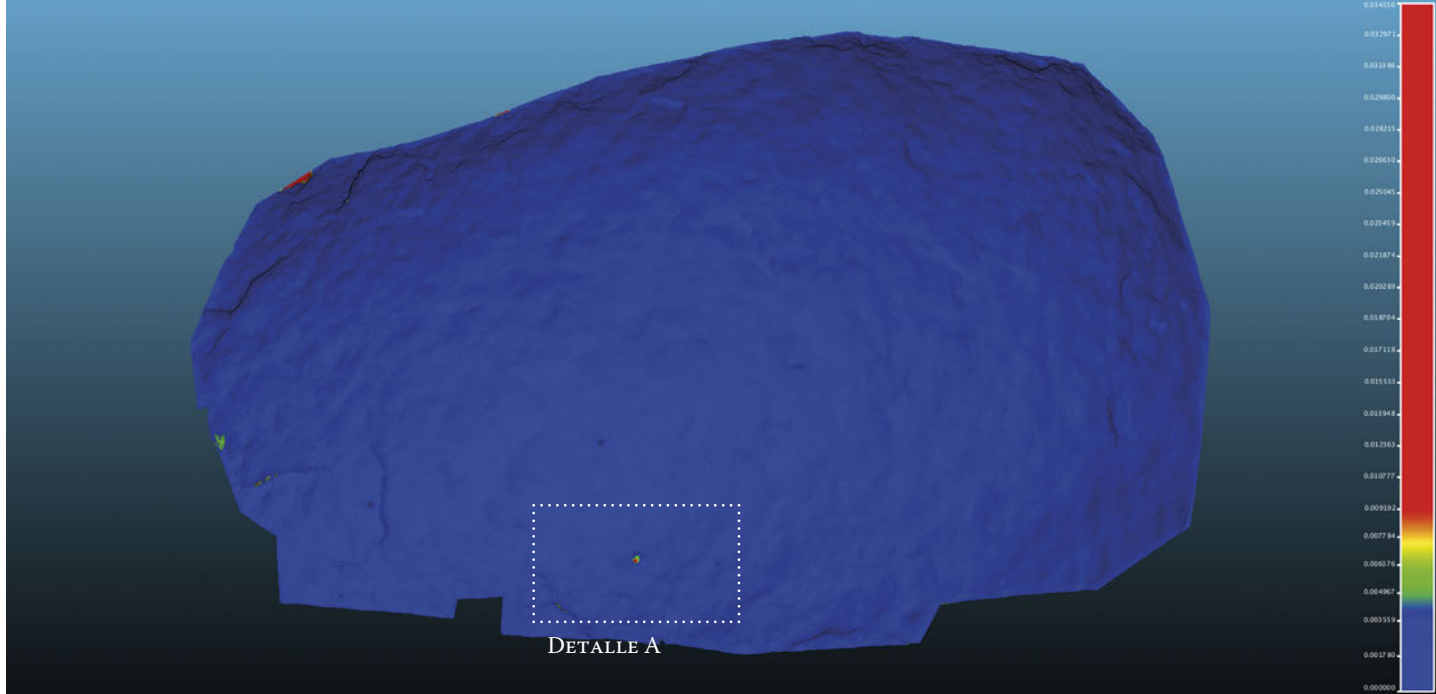
Figura 196. Modelos 3D del panel 1 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz

Figura 197. Comparación entre los modelos de febrero y mayo del panel 1 de Cueva del Mediodía, con indicación del área de detalle A. © J.F. Ruiz.

Figura 198. Detalle A. Pérdida de soporte detectada entre los modelos de febrero (izda.) y mayo (dcha.) de 2013 en el panel 1 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz

#### 4.3.1.1. Panel 1

En el panel 1, o cavidad principal, la comparación entre los modelos de febrero y mayo (Fig. 97) produce un buen ajuste entre los relieves. La hipótesis nula se puede rechazar, lo que indica que los puntos que se diferencian aleatoriamente entre las dos nubes, o ruido, tienen una presencia residual, y por tanto, se puede afirmar que hay una concordancia estadística entre los dos modelos superior al 99,5%. La comparación ha detectado la pérdida de un fragmento de



soporte situado a unos 27 cm por debajo de una de las pictografías inferiores, concretamente de la figura 12 del calco de Grimal y Alonso, 2005. El pedazo de roca que ha desaparecido tenía unas dimensiones de 2,4 x 1,9 x 0,6 cm, con un volumen de 2,7 cm<sup>3</sup> (Fig. 197). Se aprecian otras diferencias enfatizando el campo escalar, pero todas ellas corresponden a áreas deficientemente cubiertas durante las capturas fotográficas, por lo que no reflejan mermas reales del panel.

En lo referente al segundo momento de análisis, periodo mayo julio (Fig. 102), se observa un comportamiento estadístico semejante de ambas nubes de puntos. Una presencia de ruido extremadamente baja, lo que garantiza una fiabilidad elevada de los análisis. De nuevo *CloudCompare* identifica la presencia de varias zonas con cambios entre los dos modelos; en este caso, se identifican cinco puntos significativos:

El punto 1 (Fig. 103) presenta un recrecimiento de relieve entre mayo y julio; se trata de una zona cubierta con telarañas cuya morfología ha variado; en el mes de julio se aprecia que la

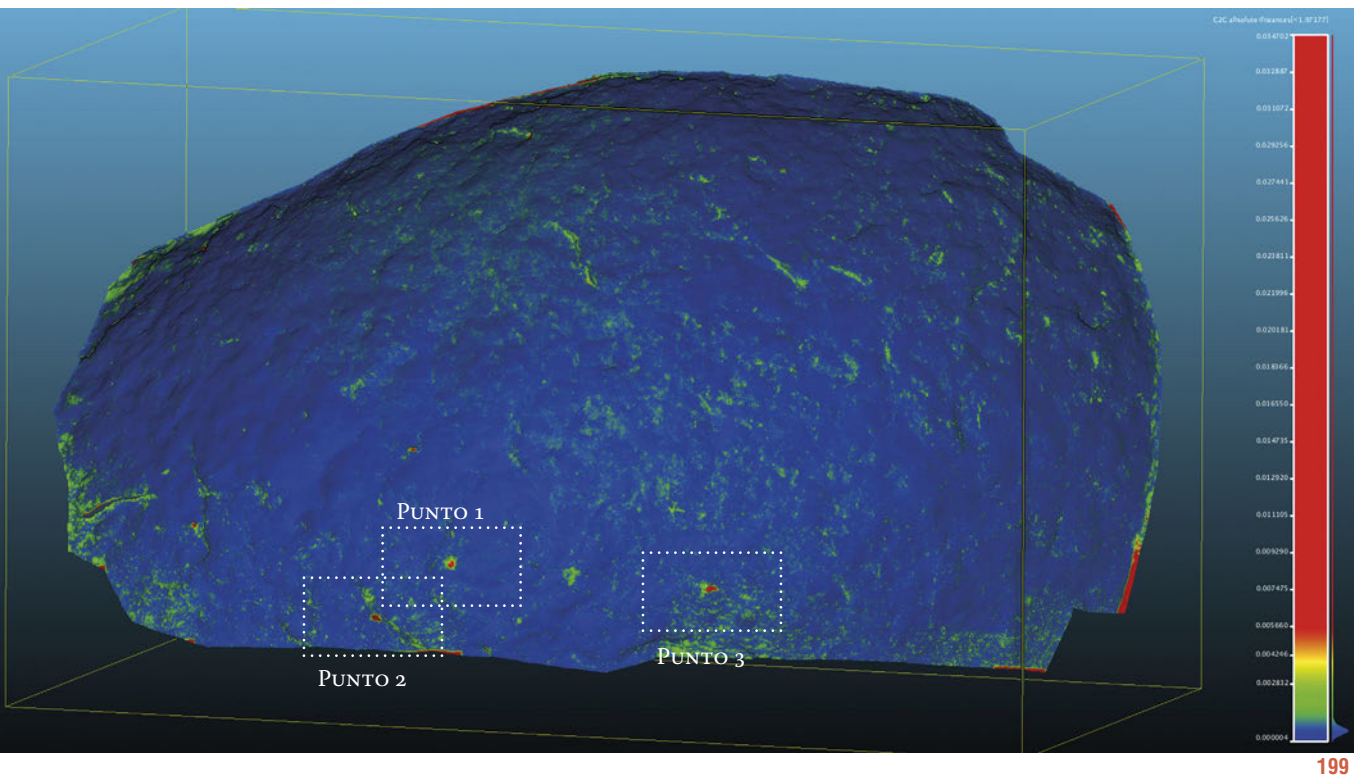


Figura 199. Comparación entre los modelos de mayo y julio del panel 1 de Cueva del Mediodía, con indicación de los puntos 1-3 en los que se han detectado cambios. © J.F. Ruiz.

Figura 200. punto 1, en el que se ha identificado un cambio morfológico de las telarañas entre los modelos de mayo (izda.) y julio (dcha.). © J.F. Ruiz.

Figura 201. Detalle del punto 2 en el que se aprecia la diferencia detectada entre los momentos de mayo y julio 2013. © J.F. Ruiz

parte inferior se ha levantado, lo que se observa como un relieve acentuado en el modelo del mes de julio.

El punto 2 (Fig. 104-105) presenta una merma en la superficie del modelo de julio con respecto al de mayo. Dicho punto estaba cubierto por una telaraña densa en el mes de mayo, la cual no está presente en el modelo de julio. El área situada entre los puntos 1 y 2 también presenta alteraciones menores, tanto de cambios en la disposición de las telarañas como debidas a la pérdida de pequeños fragmentos de soporte, que *CloudCompare* identifica como áreas de color verde, debido a que su profundidad no es tan acusada como la de los fragmentos perdidos en los puntos 2 y 3.

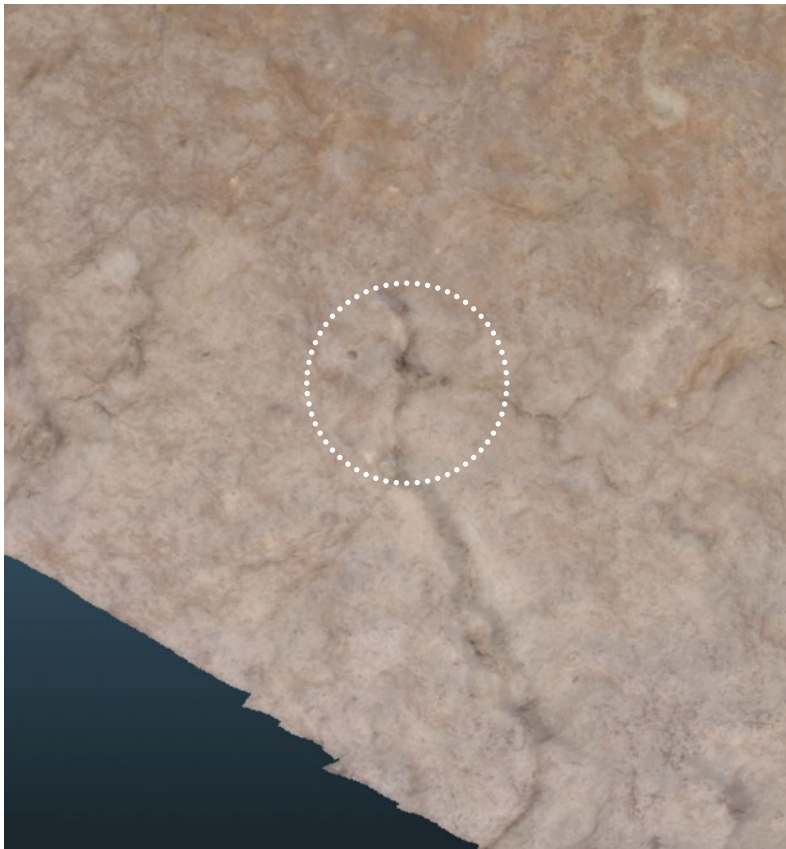
El punto 3 se corresponde con un ligera ondulación del relieve en una área fisurada. Entre ambos modelos se identifica una pérdida del soporte en la parte media del saliente del relieve. Las dimensiones del fragmento de roca son 2,4 x 3,4 x 1,15 cm, es decir, unos 12,24 cm<sup>3</sup>. Se localiza en un área situada unos 45 cm por debajo del motivo 8 del calco de Grimal y Alonso, 2005.

Los puntos 4 y 5 son zonas de sombra intensa en el interior de pequeñas oquedades naturales del panel. Ligeras diferencias causadas por la diferente distribución de dichas sombras en cada una de las tomas de fotos han generado un relieve parcialmente distinto que es identificado por *CloudCompare*. En realidad, ninguno de los dos corresponde a alteraciones volumétricas.

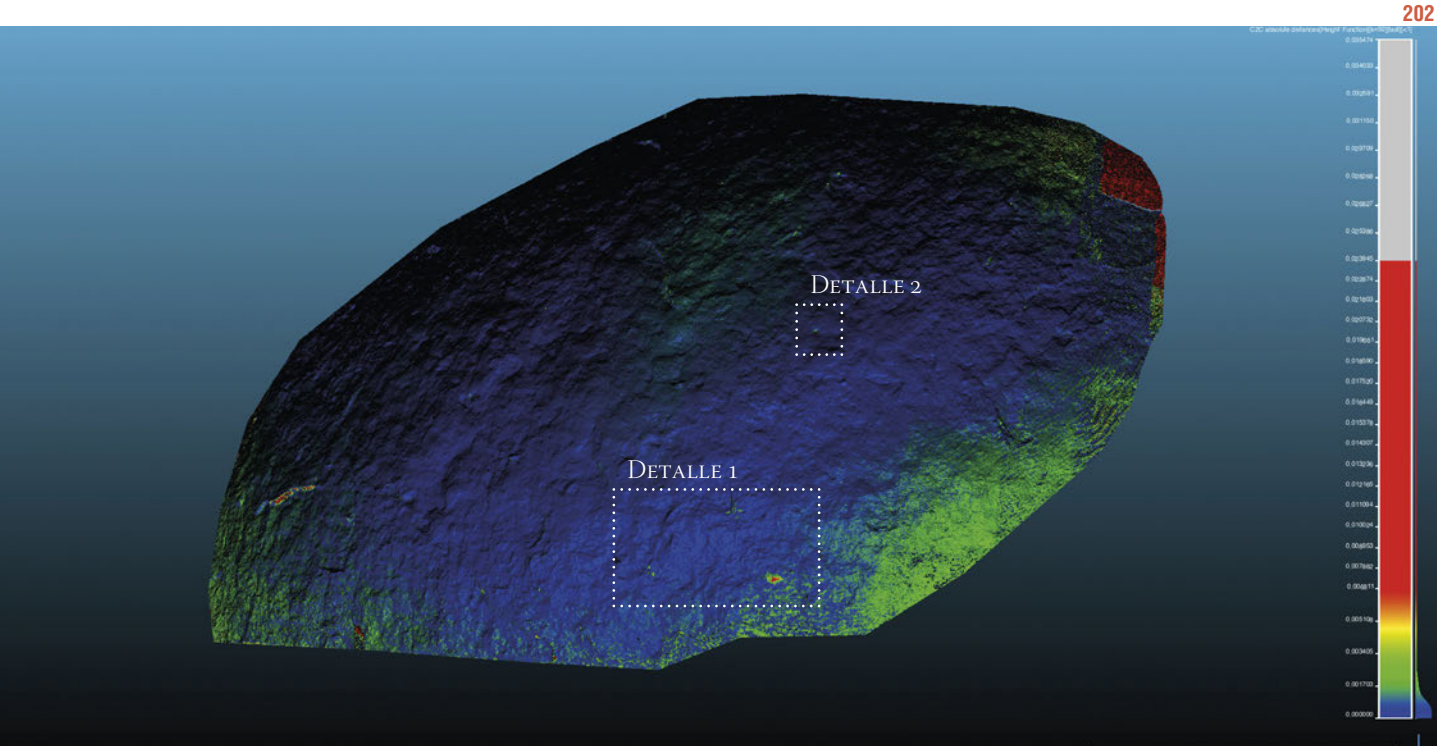
La comparación entre los modelos efectuados en julio 2013 y noviembre 2013 ha conseguido un RMS final de 0,0019. Por otra parte, la prueba del  $\chi^2$  indica que la mayor parte de los puntos siguen una distribución normal. En consecuencia, su nivel de ruido es muy bajo. Los cambios detectados son en su mayoría causados por las transformaciones sufridas por las telarañas (Fig. 201). Este fenómeno se aprecia en el detalle 1 (zonas a, b y c) (Fig. 202-203). También se ha detectado un cambio que podría corresponder a una pérdida de soporte de pequeñas dimensiones (Fig. 204-205); no obstante, tras analizar las fotografías y ortofotografía de la zona



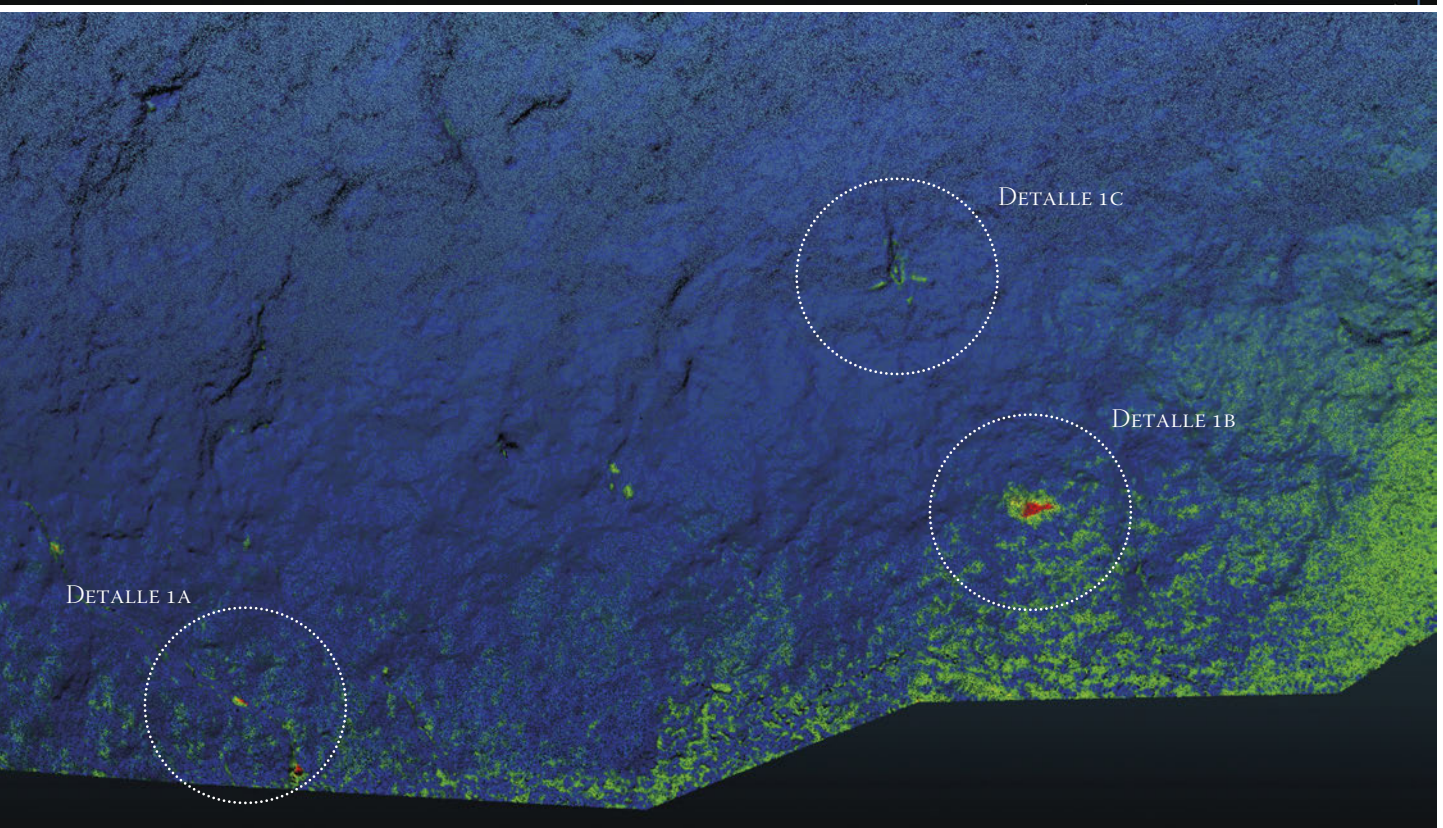
200



201



202



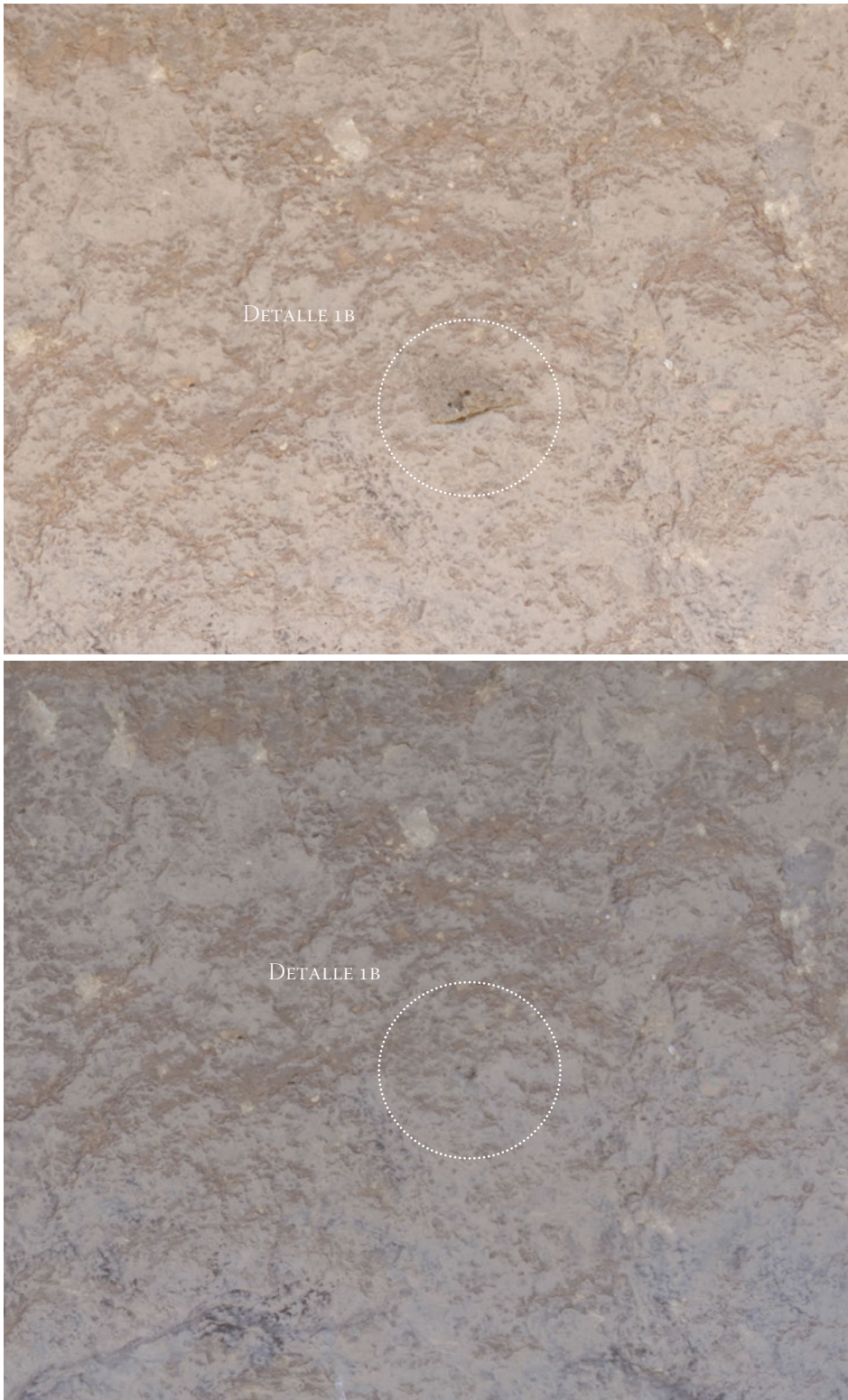
203

Figura 202. Comparación entre los modelos de julio y noviembre de 2013 de Cueva del Mediodía con indicación de los lugares donde se han identificado cambios. © J.F. Ruiz.

Figura 203. Área del detalle 1, en la que se indican los cambios detectados por modificaciones en las telarañas. © J.F. Ruiz

se observa un cambio, pero no nos atrevemos a dictaminar de que tipo hasta que podamos efectuar una revisión visual in situ.

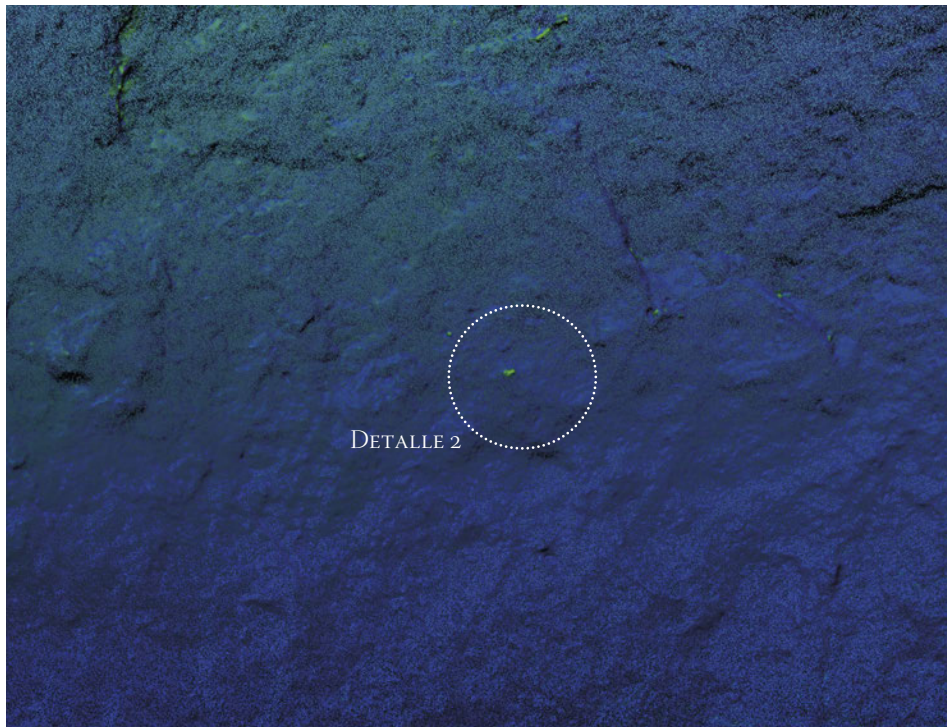
En el período noviembre 2013 a enero 2014 se ha alcanzado un RMS de 0,0022. La distancia media entre los modelos es de 0,0012 y la desviación estándar es de 0,0017. En este caso, ha habido ciertos problemas de alineación entre los modelos que, no obstante, no han impedido una comparación satisfactoria (Fig. 206). Durante este período también se han



204

apreciado cambios en la distribución de las telarañas acumuladas en las anfractuosidades de la roca. En el detalle 1 y en el detalle 3 (Fig. 207) se observa la aparición de telarañas nuevas, mientras que en el detalle 2 se han detectado unos pequeños fragmentos de paja que se han adherido a la telaraña entre ambos periodos.

Figura 204. Detalle 1B, zona en la que ha desaparecido una telaraña identificada en julio 2013 (arriba), en relación al modelo 3D de noviembre 2013 (abajo). © J.F. Ruiz



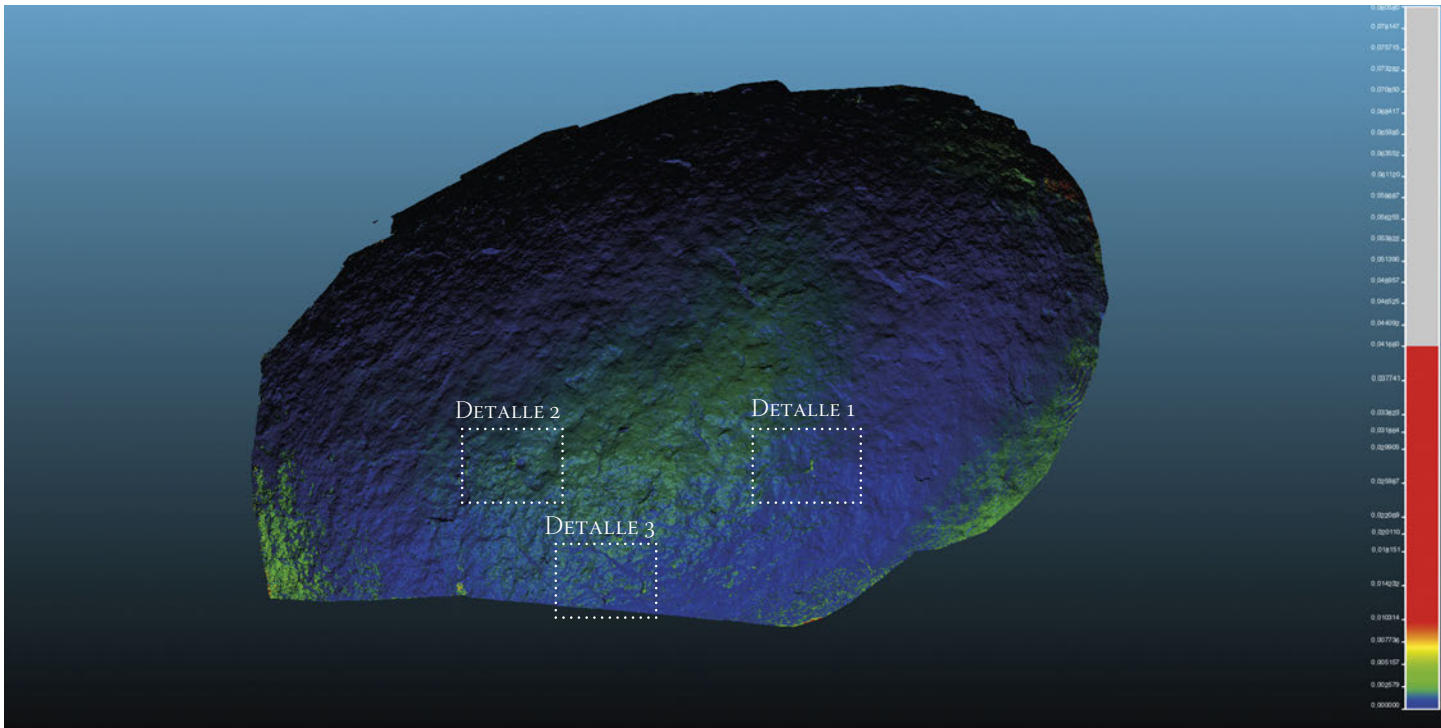
205



206

Figura 205. Detalle 2 de la comparación entre los modelos de julio y noviembre de 2013 del panel 1 de Cueva del Mediodía © J.F. Ruiz.

Figura 206. Detalle 2 de la pérdida de soporte detectada en el detalle 2. © J.F. Ruiz



207



208

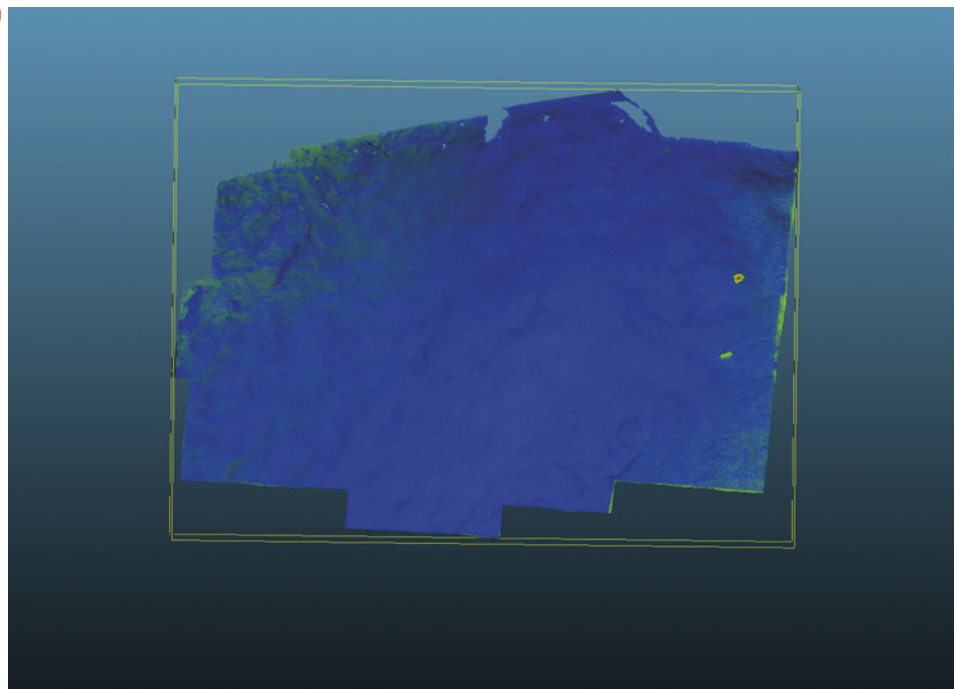
Figura 207. Comparación entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 del panel 1 de Cueva del Mediodía, con indicación de los cambios detectados. © J.F. Ruiz.

Figura 208. En el detalle 3 se ha detectado la aparición de una telaraña en el modelo 3D de enero 2014 (dcha.) que no estaba presente en noviembre 2013 (izda.). © J.F. Ruiz

**CUEVA DEL MEDIODÍA. PANEL 2**

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	12	335.425	8.522.394	-	0,213026	6	2,917	0,102212
Mayo	38	727.529	7.819.217	-	0,183594	6	2,706	0,923230
Julio	44	1.025.608	7.500.000	72.868.807	0,259055	6	4,387	0,665694
Noviembre	33	743.647	7.841.403	58.369.690	0,177247	6	2,281	0,183651
Enero	48	868.259	7.500.000	54.659.592	0,216891	6	1,914	0,298170

209

**4.3.1.2. Panel 2**

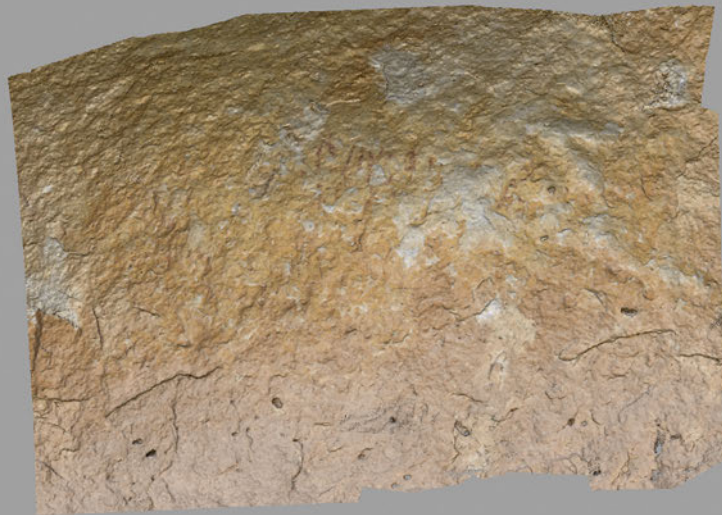
En el panel 2 las comparaciones efectuadas entre los modelos de febrero y mayo (Fig. 208) muestran un margen de error bajo, y en consecuencia un bajo nivel de ruido. No obstante, se aprecia una ligera distorsión en el alineamiento, probablemente causada por el escaso número de puntos de control de este panel. No se identifica ningún cambio entre ambos momentos temporales; los dos puntos que indican distancia en el campo escalar se deben a zonas mal cubiertas en el modelo de febrero, como consecuencia de la sombra proyectada por pequeñas oquedades naturales.

En el lapso temporal correspondiente a mayo - julio se observa un alineamiento más adecuado de ambas nubes de puntos con un nivel muy bajo de ruido, es decir de puntos cuyo margen de error los sitúa fuera de la distribución normal. En la parte inferior de los modelos aparece una zona muy destacada pero que no se corresponde con ninguna alteración real, sino a una zona en la que el relieve no ha sido bien reconstruido por *PhotoScan* como consecuencia de no contar con un número suficiente de imágenes. Aparte de esta salvedad no se aprecia ningún otro cambio.

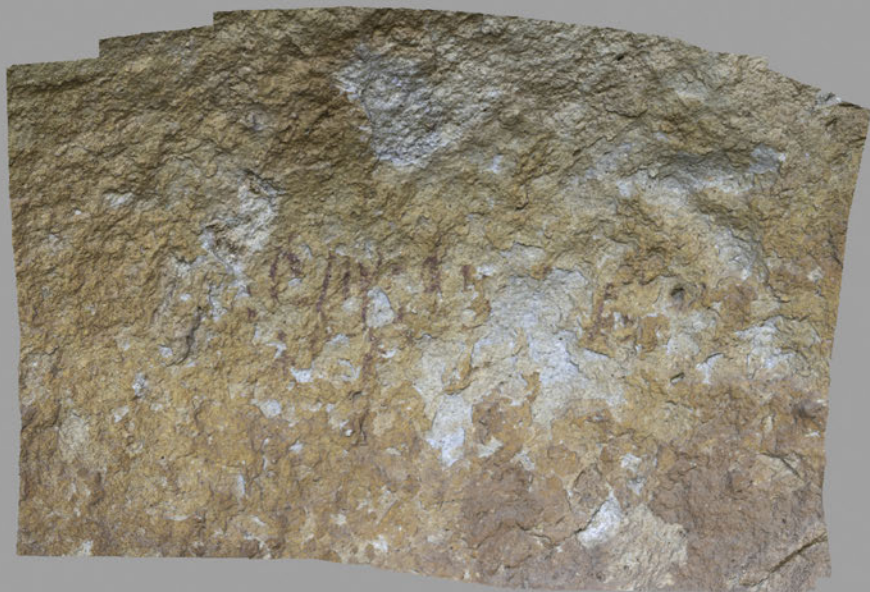
La comparativa entre los modelos realizados en julio 2013 y noviembre 2013 ofrece un encaje muy correcto, con un RMS de 0,0024. La distancia media es de 0,00056 y la desviación estándar

**Figura 209.** Comparación entre los modelos de febrero y mayo del panel 2 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz.

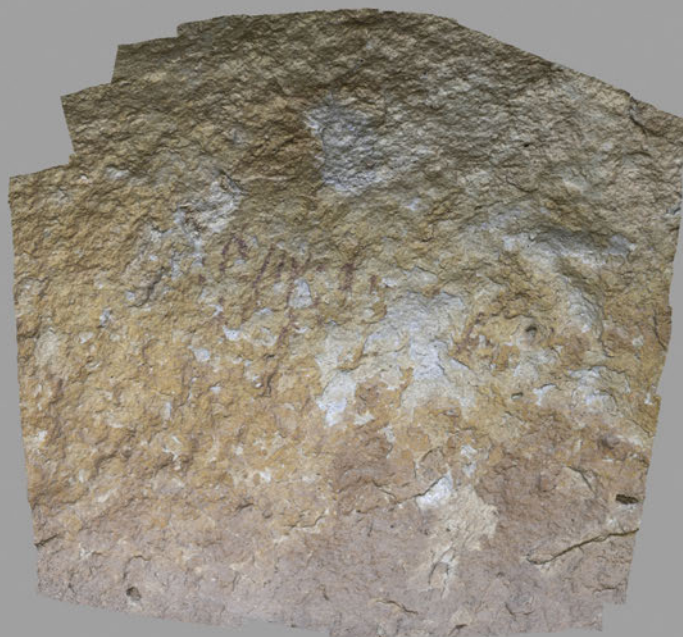
**Figura 210.** Modelos 3D correspondientes a las tres últimas tomas de datos en el panel 2 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz



JULIO 2013

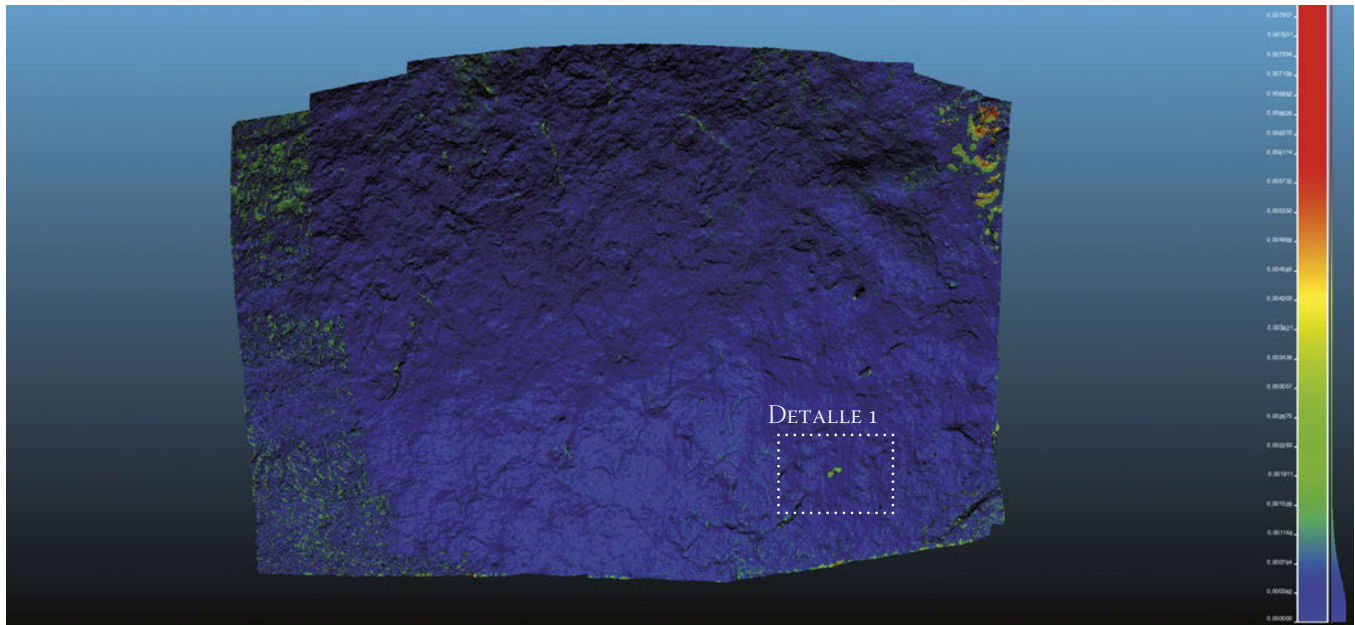


NOVIEMBRE 2013



ENERO 2014

211



212

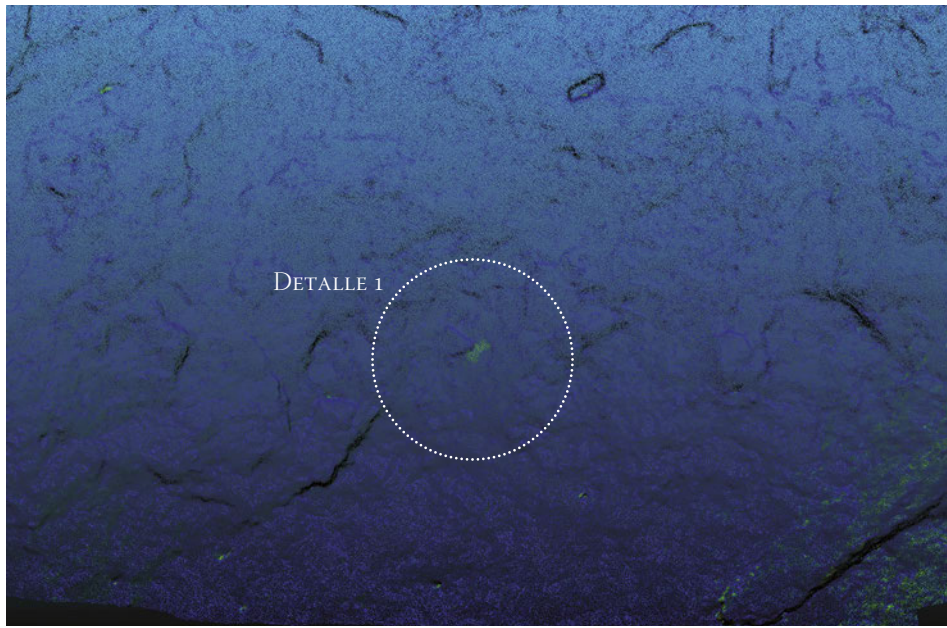
**Figura 211.** Comparación entre los modelos 3D correspondientes a las tomas de datos de julio y noviembre 2013 del panel 2 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz.

**Figura 212.** Área del detalle 1 en julio 2013 (izda.) que ha desaparecido en el modelo de noviembre 2013 (dcha.). © J.F. Ruiz

de 0,00057. La prueba del  $\chi^2$  indica que la mayor parte de los puntos siguen una distribución normal y que, por tanto, el nivel de ruido es bajo (Fig. 210). En la parte inferior del panel se ha detectado una pérdida de considerables dimensiones. En una zona aparentemente ahuecada en el mes de julio se ha producido un desplazamiento, con unas dimensiones de 42x15x4 mm, aunque su forma no es regular y las medidas se refieren a los puntos máximos (Fig. 211). Su volumen es de 2,52 cm<sup>3</sup>. Esta pérdida de soporte se corresponde con el proceso de alteración que está sufriendo esta parte de la cavidad y que se observa en los numerosos desplazamientos situados en el área donde se han conservado las pictografías.

En el análisis realizado entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 se ha conseguido un buen ajuste, reflejado en el RMS de 0,0018. La distancia media entre ambos es 0,00050, y la





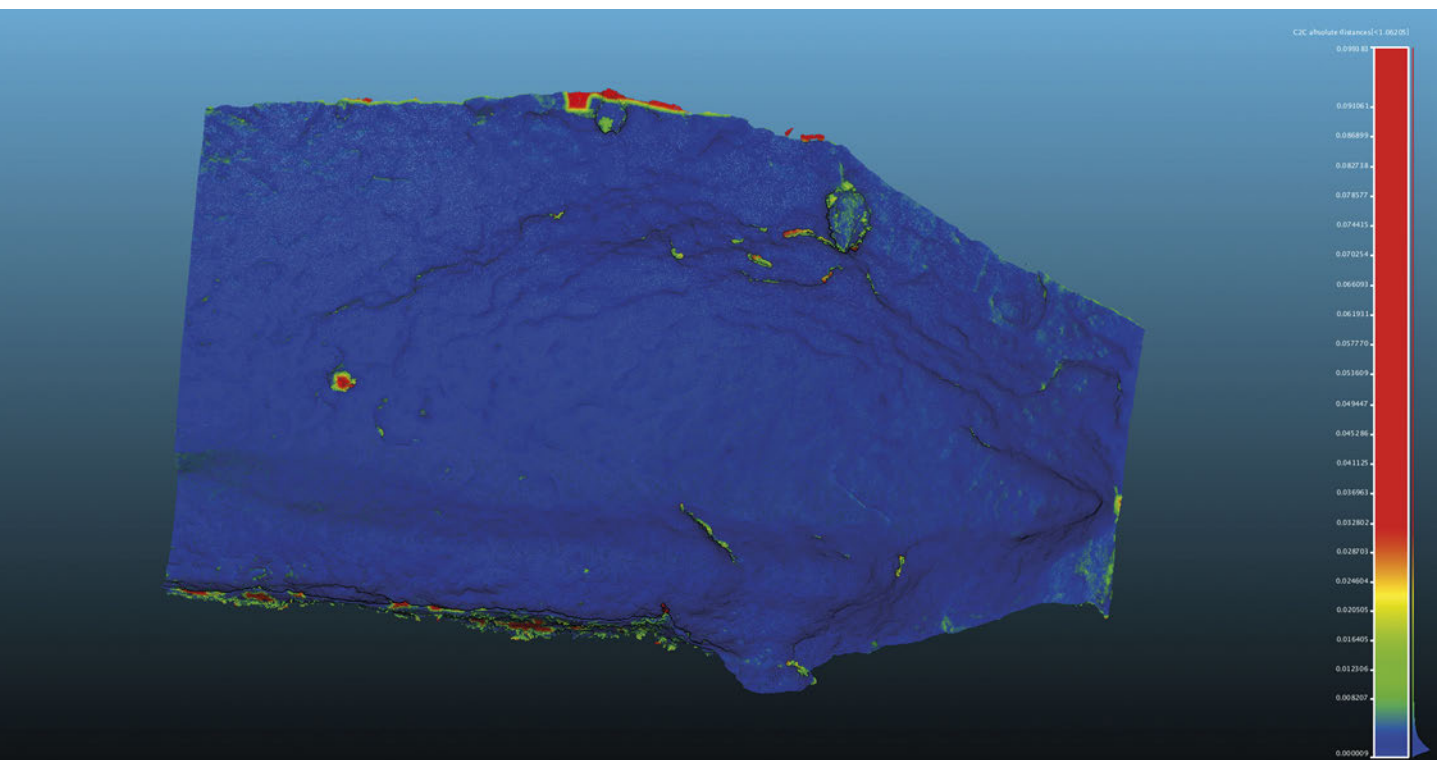
desviación estándar es de 0,00044. También en este caso la prueba del  $\chi^2$  indica que existe una distribución normal y que el nivel de ruido es bajo. También en este período se ha observado una pérdida de soporte (Fig. 212). La zona afectada es la misma que en la comparación anterior; en este caso, se ha caído parte del sustrato que quedó afectado por el anterior desprendimiento (Fig. 213).

Figura 213. Comparación entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 del panel 2 de Cueva del Mediodía, con indicación del cambio detectado. © J.F. Ruiz.

Figura 214. Detalle del área donde se ha identificado una pérdida de soporte durante este período en el panel 2 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz

## CUEVA DEL MEDIODÍA. PANEL 3

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	23	575.575	13.863.469	68.171.760	0,316269	5	2,592	0,000092
Mayo	26	620.723	14.015.154	-	0,529698	7	3,154	0,525860
Julio	123	1.825.249	17.866.271	157.186.911	0,446271	7	3,521	1,167983
Noviembre	46	948.901	17.780.846	189.935.854	0,357787	7	1,785	0,141780
Enero	60	1.055.739	18.000.000	112.504.597	0,383262	7	1,886	0,127399



215

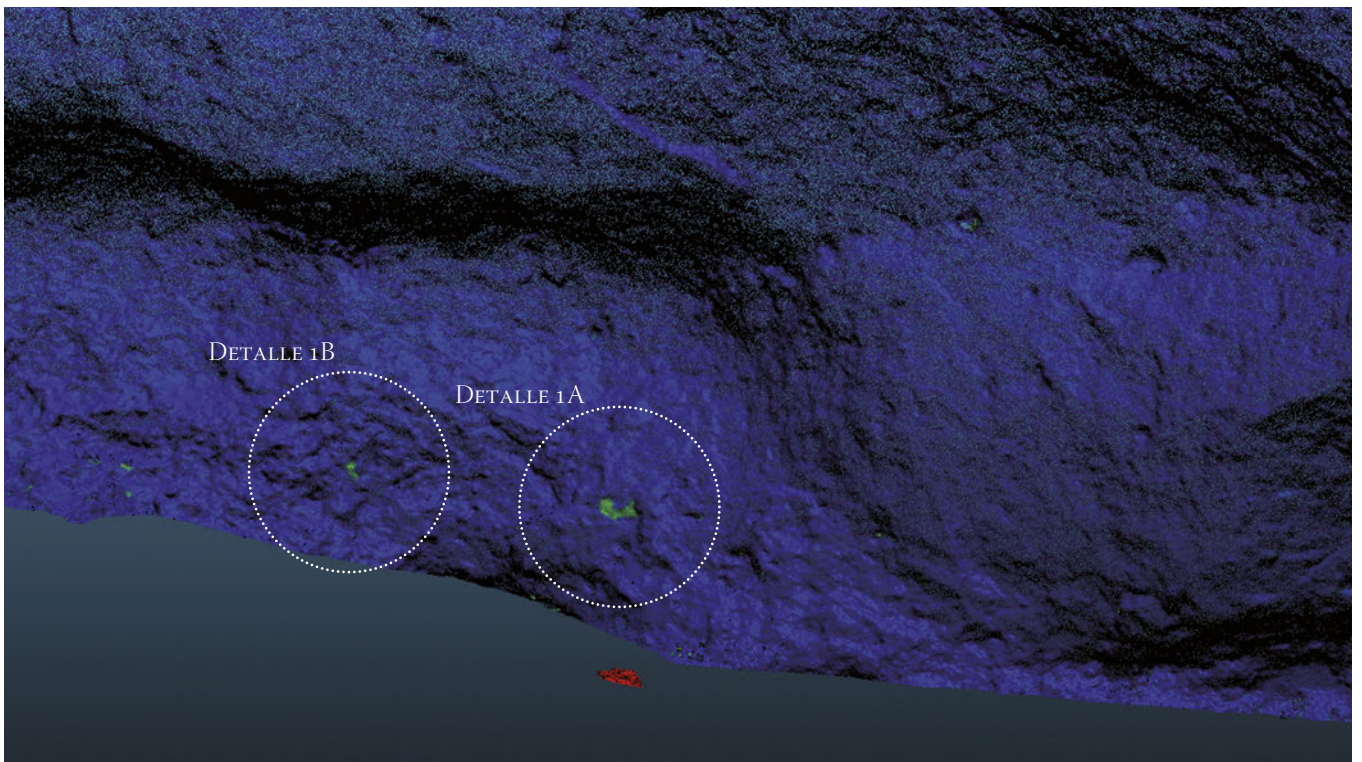
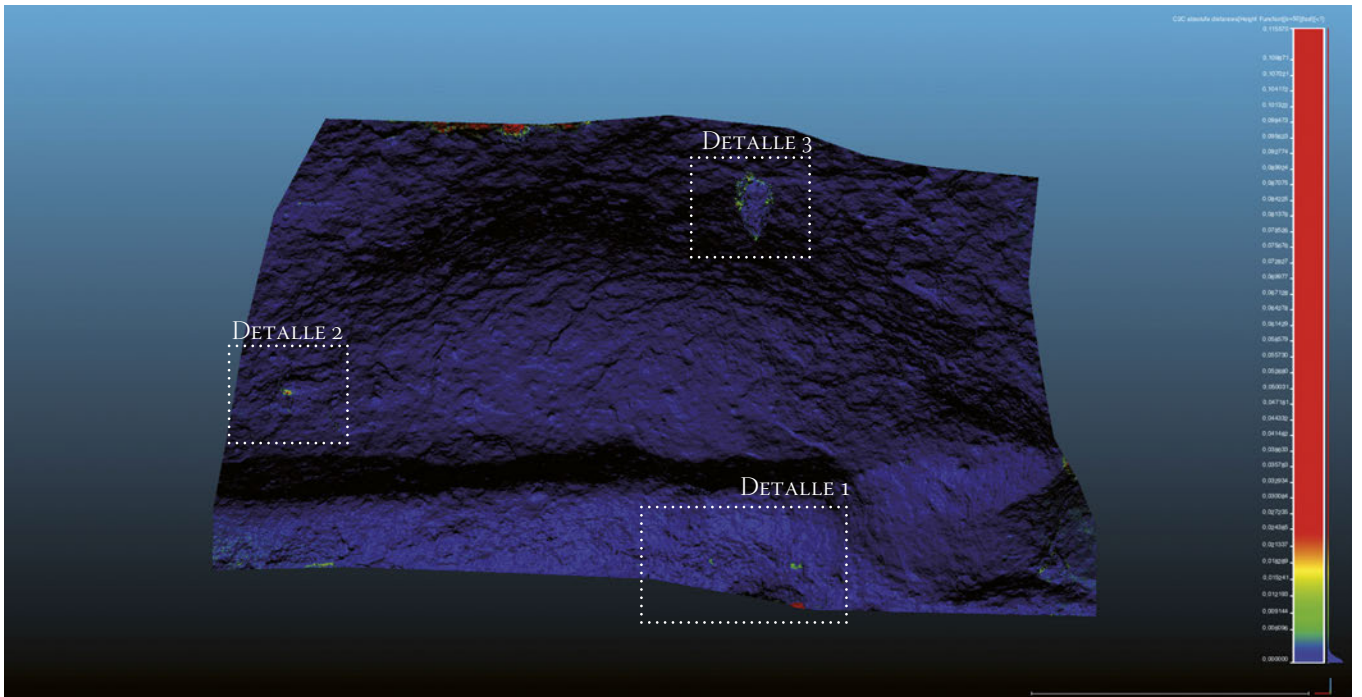
## 4.3.1.3. Panel 3

En lo referente al panel 3, se aprecia una buena alineación entre los modelos 3D de febrero y mayo. Como resultado el nivel de ruido es casi insignificante. En la parte superior de esta cavidad se documentan plantas rupícolas, probablemente *Sarcocapnos enneaphylla*. Son precisamente estas plantas las que producen los cambios registrados por *CloudCompare* entre ambas nubes de puntos. En el modelo de febrero estas plantas vivaces aparecen sin hojas, reducidas a un complejísimo sistema radicular que cuelga de la pared. En el modelo correspondiente a mayo, las plantas cuentan con las primeras hojas; este cambio se refleja como un incremento volumétrico en *CloudCompare*.

Algo similar sucede en el caso de la comparativa entre mayo y julio (Fig. 214). De nuevo el despreciable margen de error entre ambos modelos produce un alineamiento óptimo y un muy bajo nivel de ruido. En lo referente a los cambios volumétricos, se detecta que en la parte superior de las plantas indicadas han aparecido hojas, lo que se puede apreciar como un cambio en *CloudCompare*. Por otro lado, en la base del abrigo aparecen zonas resaltadas

Figura 215. Comparación entre los modelos 3D de mayo y julio del panel 3 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz

216



217

en el campo escalar que son producto exclusivamente de zonas con vacíos de cobertura en el modelo de mayo.

La alineación entre los de julio 2013 y noviembre 2013 ha resultado problemática, lo que se refleja en el RMS relativamente alto de 0,0350. En este período no se han apreciado cambios, más allá de las transformaciones del ciclo vital de las plantas rupícolas existentes en el panel.

Por su parte, La comparativa entre los modelos 3D correspondientes a noviembre 2013 y enero 2014 (Fig. 215) ha presentado los mismos problemas de ajuste geométrico, lo que

Figura 216. Comparación entre los modelos tridimensionales de noviembre 2013 y enero 2014 en el panel 3 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz.

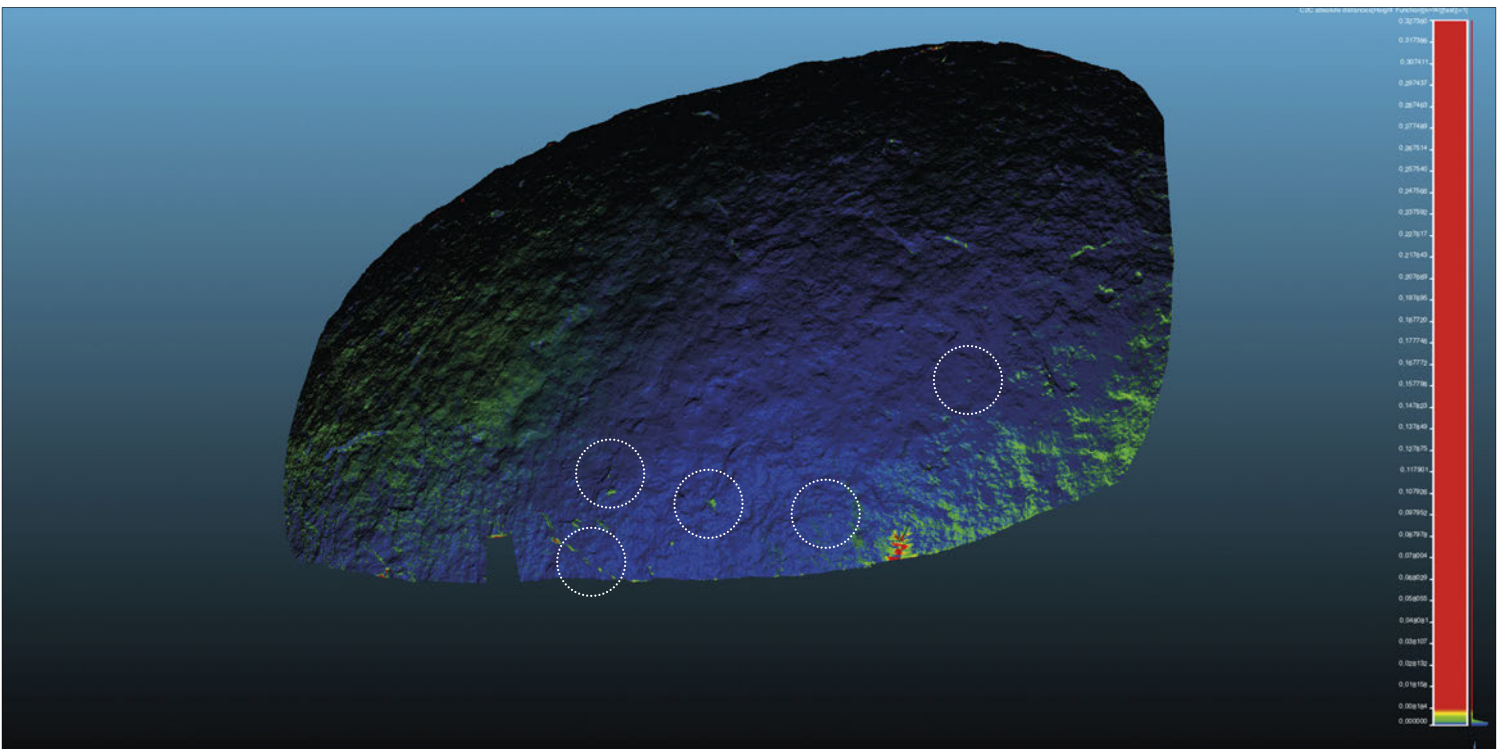
Figura 217. Detalle 1 en el que se han identificado pérdidas de soporte. © J.F. Ruiz

se reflejan en el relativamente alto RMS de 0,00479. La distancia media entre ambos es de 0,00115 y la desviación estándar de 0,0028. Se han detectado pérdidas en la zona situada justo por debajo del panel pintado. En esta cavidad existe una clara erosión diferencial; la base del panel está conformado por un microconglomerado escasamente cementado con presencia de abundantes materiales terrígenos, nódulos de cuarcita de diversos tamaños y presencia de capas de aluminosilicatos rojizos y amarillentos. La pérdida de materiales en esta zona produce una franja polvorienta justo por debajo del panel. En este caso hemos detectado la pérdida de un fragmento de grandes dimensiones (Fig. 216-217), situado por encima de un alveolo que presenta materiales rojizos en su interior: aproximadamente tiene 68x24x30 mm, con un volumen de unos 48,9 cm<sup>3</sup>. A unos 50 cm se ha producido una pérdida semejante pero de unas dimensiones mucho menores (detalle 1B) (Fig. 218).

218



219



220

Aparte se siguen constatando los cambios de las plantas de *Sarcocapnos enneaphylla* (Fig. 100-101) existentes en la parte superior del panel. Las modificaciones detectadas afectan a las partes verdes de la planta; es decir, esta planta ha desarrollado una parte aérea de considerables dimensiones en la que se mantienen las hojas verdes durante gran parte del año en la zona periférica y cerca de la base de la planta. Es en estas zonas donde se han detectado cambios en este período.

Así pues, en conjunto Cueva del Mediodía sigue mostrando evidentes problemas de conservación. En el panel 1 se han identificado varias pérdidas de reducidas dimensiones cercanas a las pictografías. Además también se han apreciado pérdidas de soporte de un tamaño considerable en los paneles 2 y 3. La caída de fragmentos de soporte en el panel 2 prosigue el patente proceso de alteración que presenta. Obviamente, esos procesos siguen estando activos. Por lo demás, se ha seguido observando la incidencia de telarañas (reflejo de la gran cantidad de suciedad acumulada en el panel 1) y modificaciones volumétricas generadas por el desarrollo anual de las plantas rupícolas existentes en el panel 3.

#### 4.3.1.4. Detección de cambios volumétricos globales en Cueva del Mediodía, panel 1

El análisis volumétrico anual en Cueva del Mediodía, panel 1 (Fig. 219) permite identificar algunas de las pérdidas de soporte y cambios en la disposición de las telarañas apreciadas a lo largo de todo el año monitorizado. Pero el pequeño tamaño de la superficie cubierta en el modelo correspondiente a febrero 2013 condiciona la detección de alteraciones identificadas en momentos posteriores, ya que algunas de ellas se han producido fuera del área cubierta en dicho momento. No obstante, también en este caso la monitorización anual serviría para detectar las pérdidas de soporte, y algunos de los cambios en la disposición de las telarañas.

Figura 218. Área del detalle 1A en el que se aprecia una pérdida de sustrato en el modelo de enero 2014 (abajo), con respecto al estado de noviembre 2013 (arriba). © J.F. Ruiz

Figura 219. Pequeña pérdida de soporte en el detalle 1B entre el modelo de noviembre 2013 (izda.) y el de enero 2014 (dcha.). © J.F. Ruiz.

Figura 220. Análisis de cambios volumétricos entre los modelos de febrero 2013 y enero 2014 en el panel 1 de Cueva del Mediodía. © J.F. Ruiz.

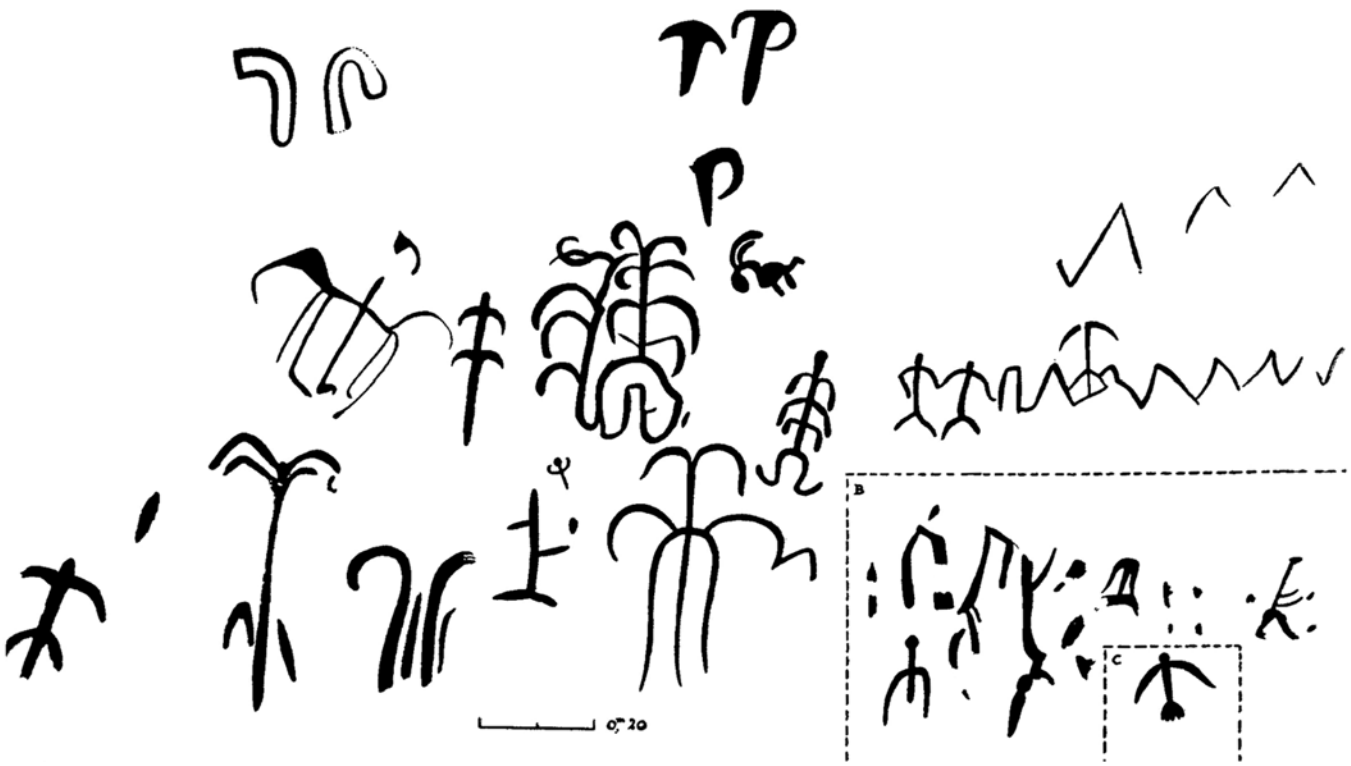
### 4.3.2. Fotografía gigapíxel

En la cavidad principal de Cueva del Mediodía disponemos de dos calcos, uno realizado en 1913 por Juan Cabré (1915) (Fig. 220), y otro reciente producido por Grimal y Alonso (2005). Entre ambos hay una buena concordancia a pesar del lapso temporal transcurrido; esto nos indica que la conservación del panel a lo largo de este periodo ha sido bastante estable en la zona decorada. Las discrepancias entre ambos se limitan a unas figuras identificadas por Cabré en la parte superior izquierda, que no documentan Grimal y Alonso, a un mayor número de digitaciones y barras en el sector inferior izquierdo (fig. 1a y 7 de Grimal y Alonso), y a una mancha informe que tampoco documentó Cabré (fig. 9). En el resto de motivos se aprecian las inevitables diferencias técnicas entre un calco realizado a principios del siglo XX y otro de inicios del XXI.

La comparación con la imagen tratada con *DStretch* muestra una elevada similitud con el calco de Grimal y Alonso (2005) (Fig. 222). Los elementos que no están presentes en el calco de Cabré se identifican en la fotografía *DStretch* de acuerdo con la propuesta de Grimal y Alonso. Tampoco se aprecia ningún resto de pintura que pudiese corresponder a las figuras incluidas en el de Cabré pero no en el posterior; nos inclinamos a pensar que se trata de una interpretación errónea de franjas con elevada pigmentación natural que aparecen en diversas zonas del panel. No obstante, el trabajo de Cabré es de gran calidad, y podría seguir sirviendo en la actualidad de referencia.

#### CUEVA DEL MEDIODÍA

<b>Panel</b>	Zona 1. 07/13	Zona 1. 01714
<b>Fecha</b>	02/07/2013	27/01/2014
<b>Autor</b>	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
<b>Dimensiones píxeles</b>	44820 x 18873	45712 x 19215
<b>Proyección</b>	Hammer	Hammer
<b>Fotografías usadas</b>	170	135
<b>Cámara</b>	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D
<b>Objetivo</b>	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM
<b>Autor <i>DStretch</i></b>	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
<b>Transformación</b>	YRD (15)	LDS 15, 6°, PS sat -15 amarillo -5



221

Figura 221. Calco del panel 1 de Cueva del Mediodía elaborado por Cabré (1915).

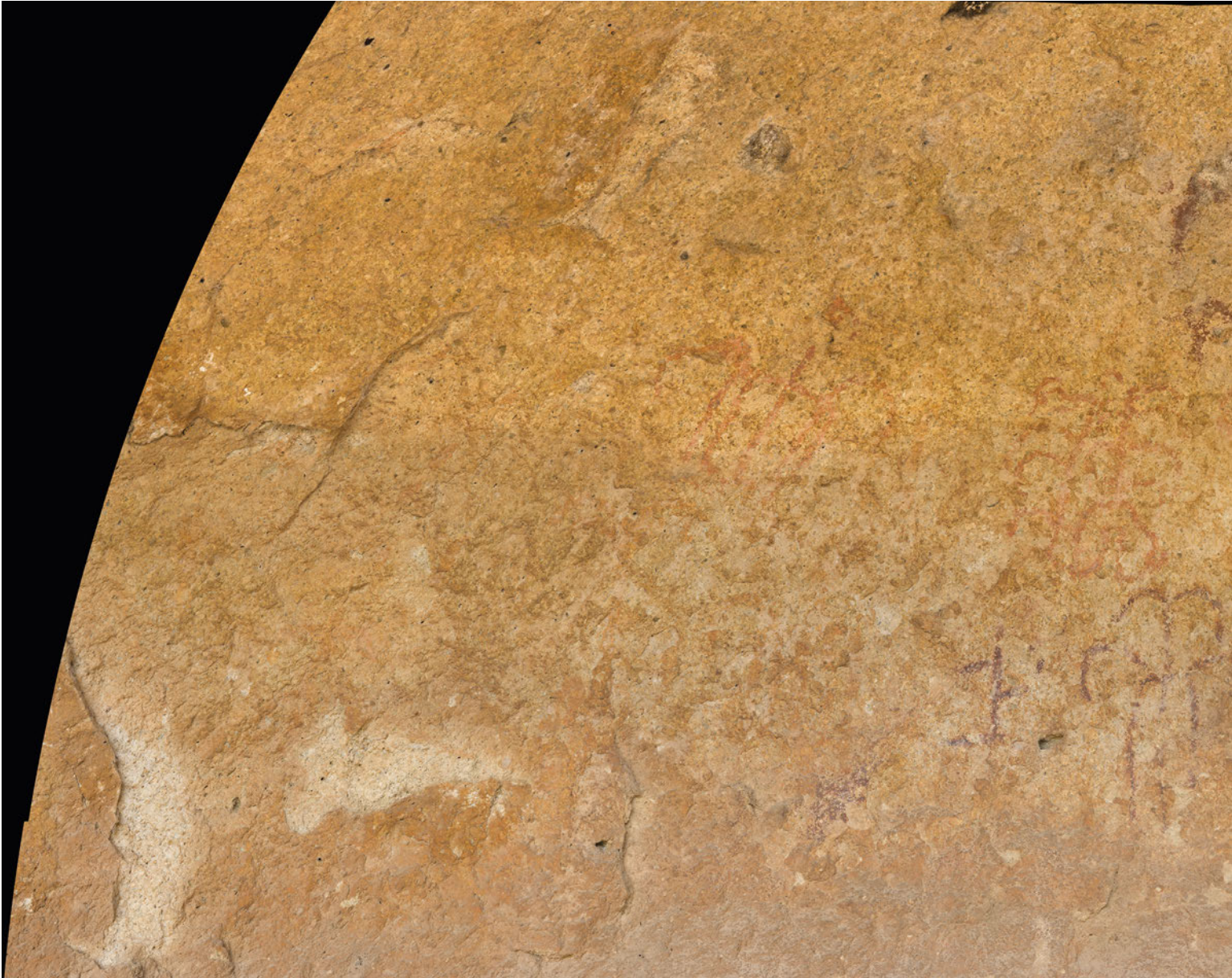
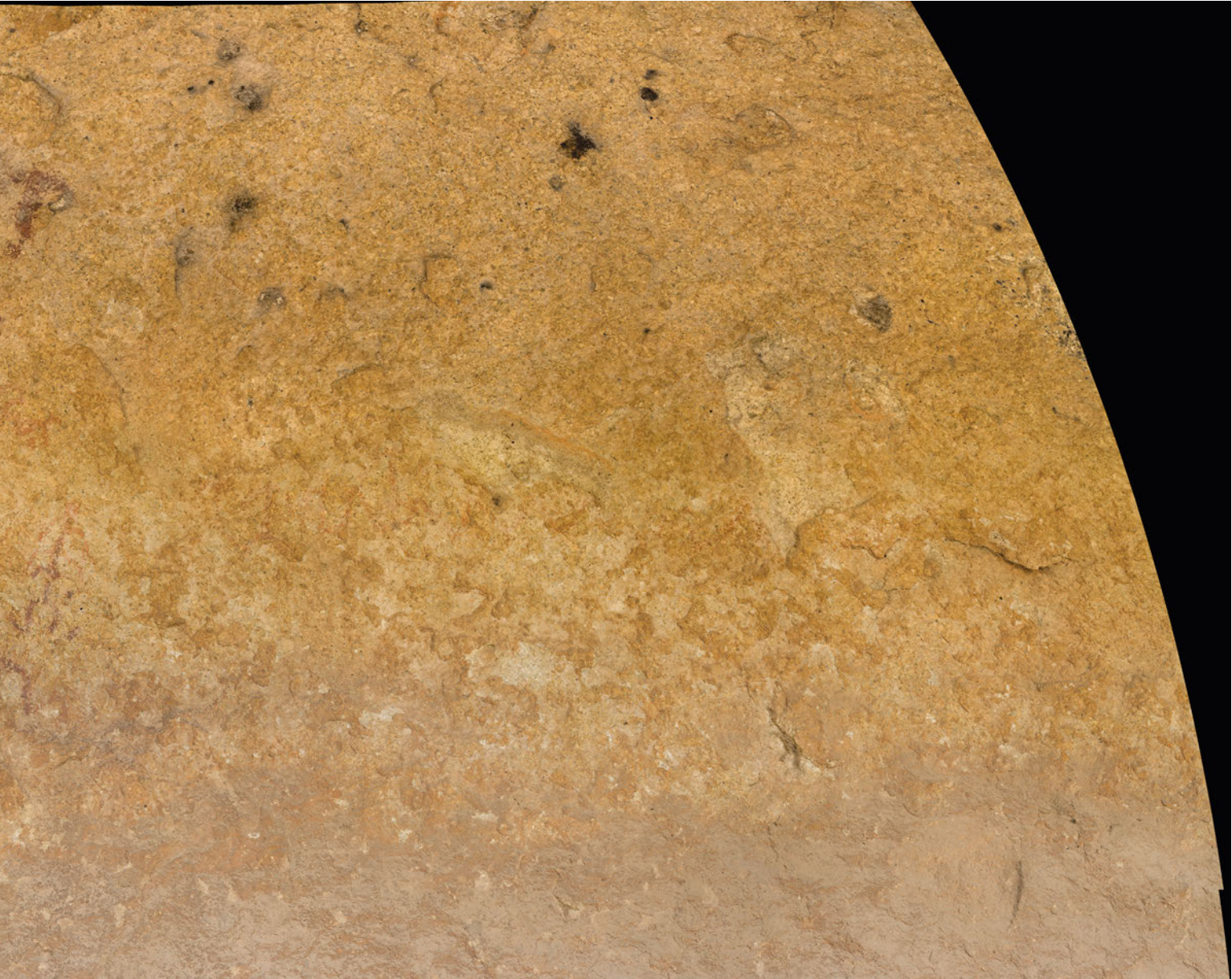
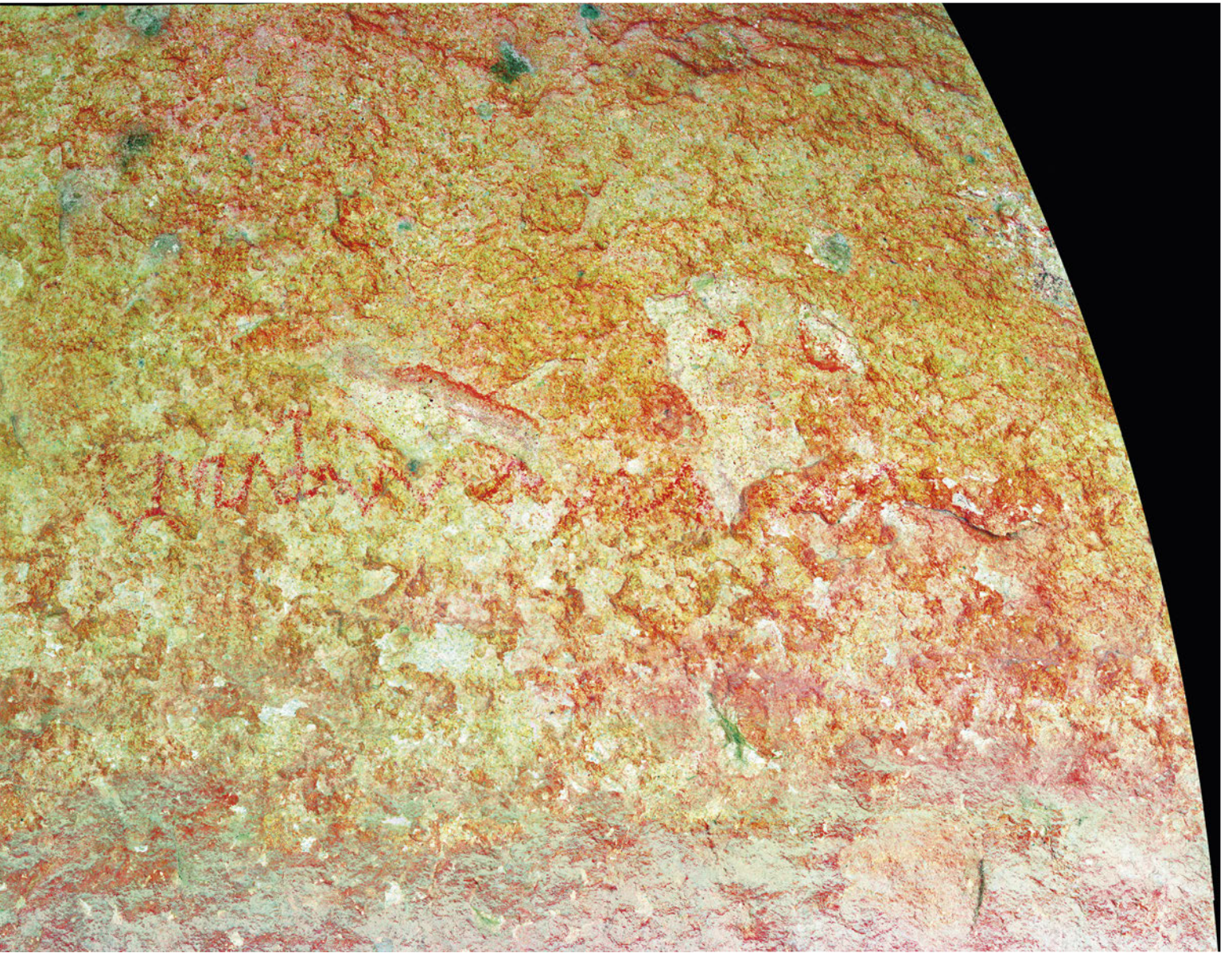


Figura 222. Fotografía panorámica gigapixel del panel 1 de Cueva del Mediodía, fase 2.  
© J.F. Ruiz.









223

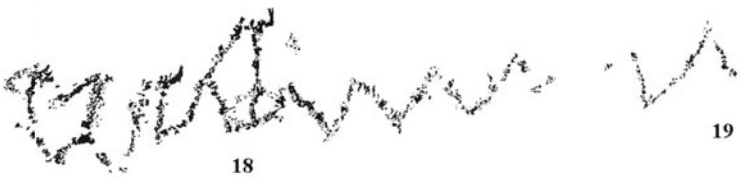
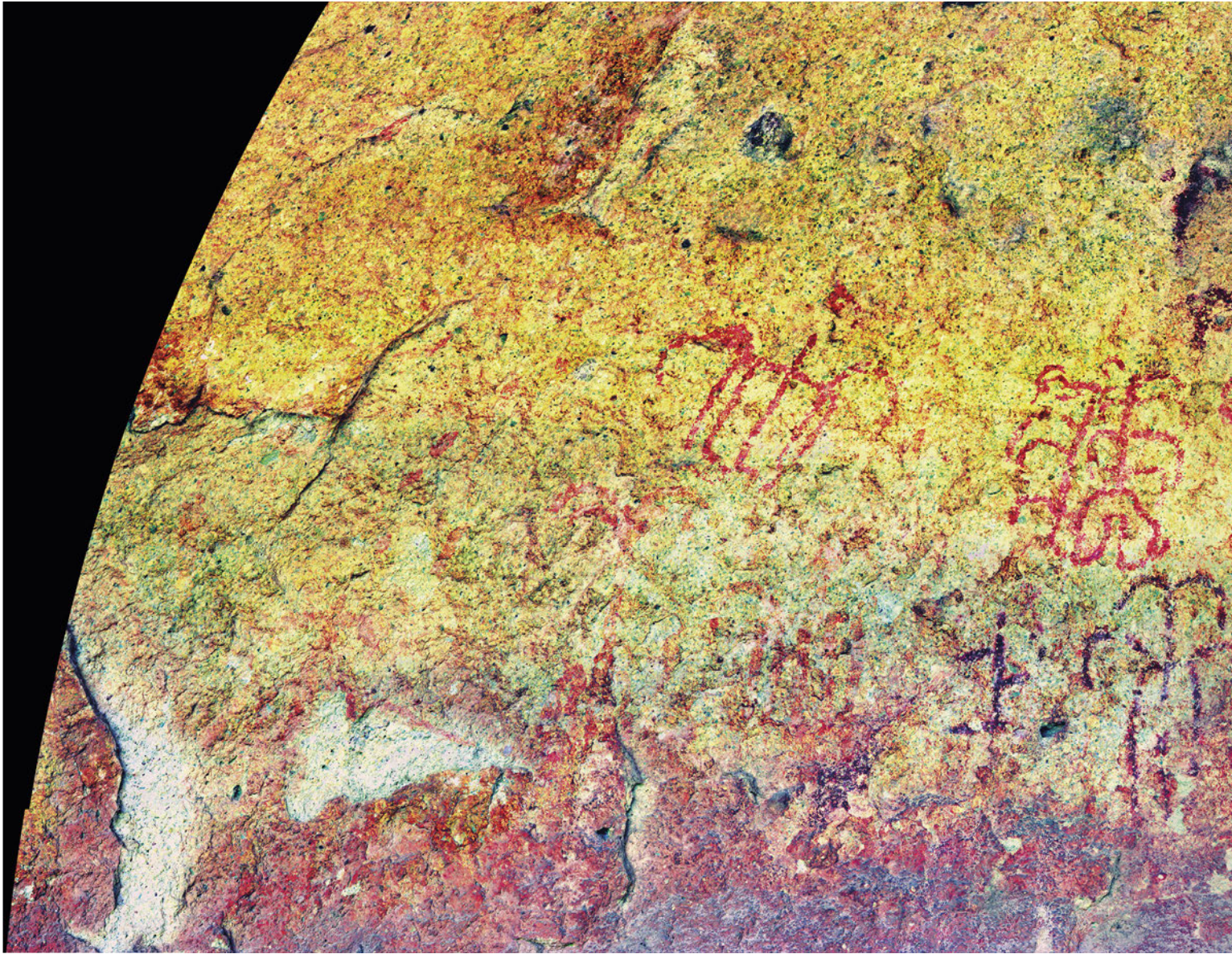
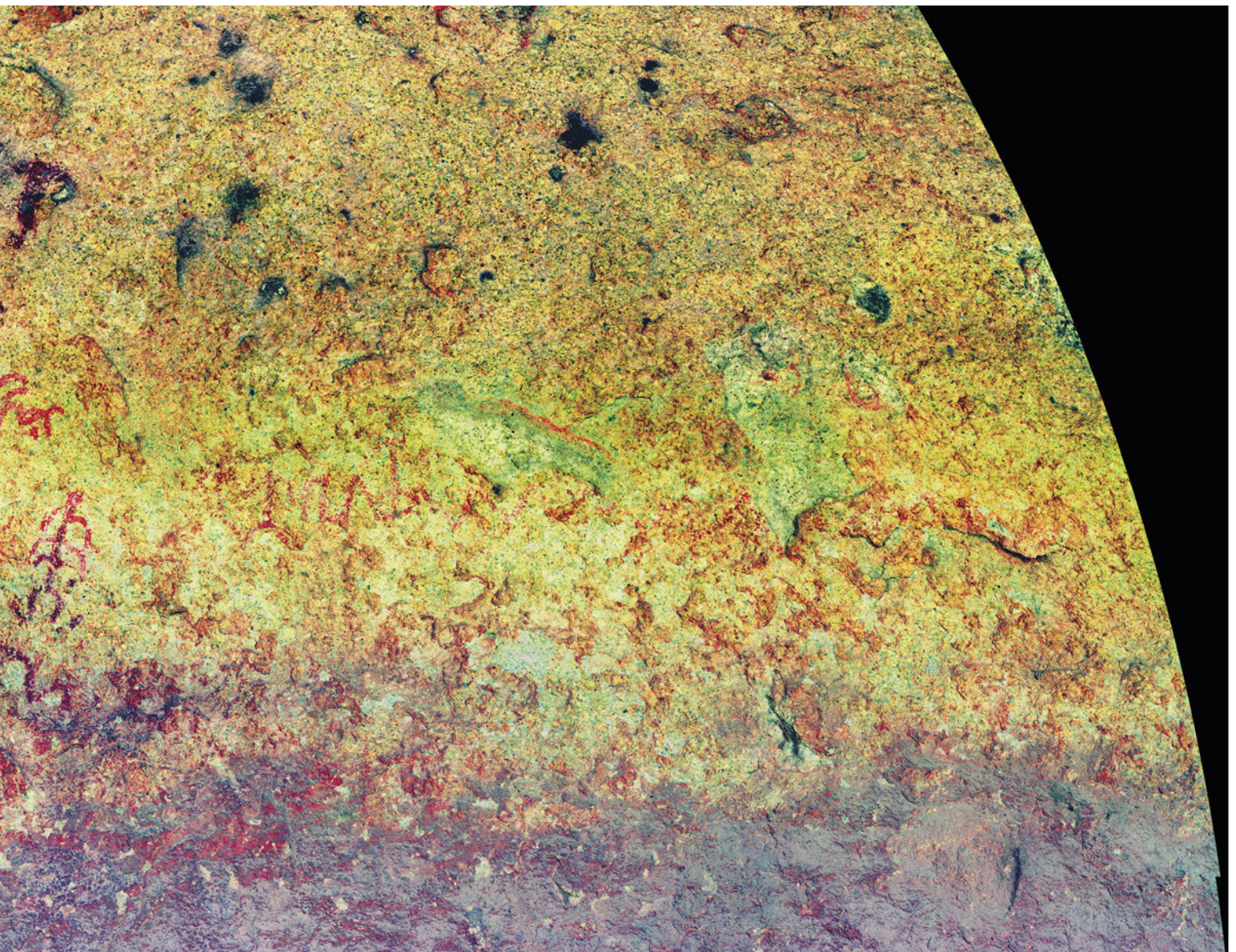


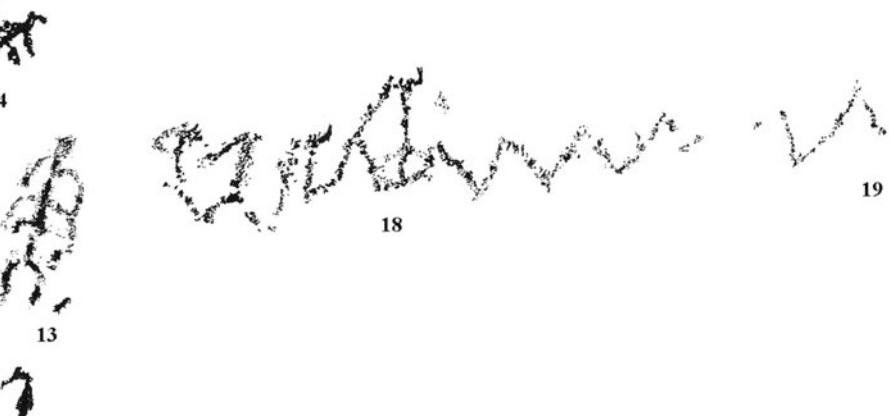
Figura 223. Panorámica gigapíxel tratada mediante *DStretch*, y comparación con los calcos elaborados por Grimal y Alonso (2005), fase 1. © J.F. Ruiz





224

5



13

18

19

Figura 224. Panorámica de Cueva del Mediodía, panel 1, tratada mediante DStretch, y comparación con el calco de Alonso y Grimal, 2005, fase 2. © J.F. Ruiz





Figura 225. Fotografía panorámica gigapixel del entorno de Cueva del Mediodía, noviembre 2013, en el que se aprecia la llanura que circunda al Monte Arábí. © J.F. Ruiz

### 4.3.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico

Su litología calcarenítica de grano fino y cemento calizo le proporciona el aspecto granular a su soporte. Se han identificado diversas formas de erosión diferencial debidas a la sucesión de depósitos calcáreo-detriticos de distintas características. Esta erosión produce gran inestabilidad en a la roca, que se descama con mucha facilidad. Hemos documentado desplazamientos antiguos de gran tamaño (hasta 11 cm de profundidad) en los extremos laterales del panel. El área pintada del panel 1 se caracteriza por la presencia de formaciones de escamas que afectan directamente a las pinturas, así como por fisuras de calibre medio y pequeñas manchas de humedad. Se ha documentado una intensa actividad biológica en diversas partes de la cavidad principal.

De nuevo, la presencia antrópica se ve reducida a la parte baja del abrigo 1 originando áreas de desgaste, acumulación de polvo y pátina por roce y palpación de la superficie.

#### 4.3.3.1. Contexto geológico

La Cueva del Mediodía se encuentra en el Monte Arabí (sierra formada por materiales del Mioceno). Este monte se dispone con una pendiente más abrupta en su lado oriental y más suave hacia su flanco occidental. La estructura, orientación, composición y textura de los materiales que lo constituyen unido a las condiciones ambientales del Cuaternario (glaciaciones, cambios climáticos,

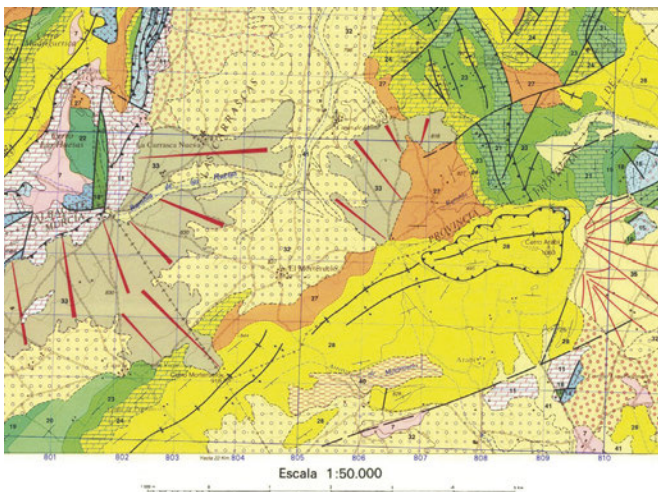
vientos predominantes, etc.), son los responsables de la formación de las cuevas y abrigos que encontramos hoy en día (Puche, 2009).

Los autores del mapa geológico y la memoria de Montealegre del Castillo (IGME, Mapa Geológico de España, Hoja 868) definen esta unidad como “Biocalcarenitas” y la describen como un conjunto de depósitos calcáreo-detriticos, más o menos arenosos con gran cantidad de fauna, en sucesiones potentes y bastante homogéneas (Calvo, 1978), y con una alta proporción de cuarzos idiomorfos o Jacintos de Compostela (Fig. 196).

Desde el punto de vista paleontológico destacan el alto contenido en fauna de esta unidad entre la que podemos citar la presencia de foraminíferos bentónicos (p.e. *Operculina sp.*, *Amphistegina sp.*, *Globigerina sp.*, *Lenticulina sp.*, *Heterostegina sp.*, *Nonion weanus*, *Elphidium*, *Orbulina sp.*, *Globorotalia sp.*, *Globigerinoides sp.*, *Bulimia*, *Cibicides sp.*, *Valvulina sp.*, *Texturalia sp.*, *Lithothamnium*, *Ammonia becarii*, *Discorbis sp.*, *Cultrata*, *Heterostegina costata*, *Asterigerina planorbis* y *Martinottiella communis*) además de gasterópodos, briozoos, lamelibrancos, bivalvos, equinodermos, crustáceos (*Balanus sp.*) y algas.

Estos materiales se depositaron en un ambiente nerítico y de zonas someras próximas a la costa con aporte de materiales detrítico-terrestres sobre una estructura constituida por materiales del Cretácico superior previamente deformados (Puche, 1989).

Todo el conjunto estaría comprendido entre el Serravaliense–Tortonense inferior, aunque según los puestos de observación esta edad puede variar dado que los depósitos están



226

Figura 226. Mapa geológico de los alrededores de la Cueva del Mediodía (modificado de Mapa Geológico de España, Hoja 818 IGME). En amarillo aparecen los materiales correspondientes a la formación que compone el abrigo.

Figura 227. Ortoimagen del panel 1 de Cueva del Mediodía con indicación de las zonas de muestreo, situadas fuera del área con pinturas. © J.F. Ruiz





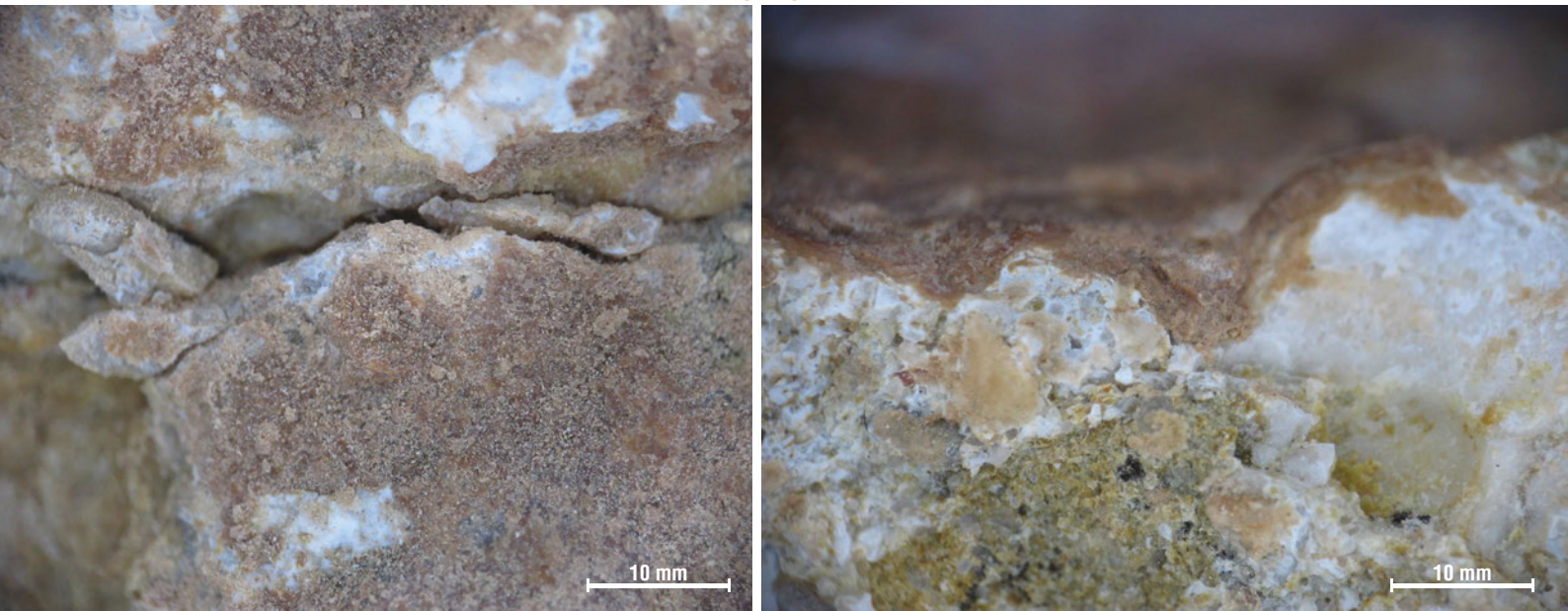
227

CM001

**TABLA 11. RELACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS DE CUEVA DEL MEDIODÍA**

Referencia	Fotografías	Descripción
CM001	Figura 227 Figura 228 Anexo 7	RECUBRIMIENTO NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color anaranjado, de grosor considerable y con relativa adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> parte central del abrigo, a la altura del suelo/base.
CM002	Figura 229 Figura 230 Anexo 8	RECUBRIMIENTO NARANJA - GRIS  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color anaranjado con cierta tonalidad grisácea, de grosor considerable, muy compacta y buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> franja central
CM003	Figura 231 Figura 232 Figura 233 Anexo 9	RECUBRIMIENTO NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color anaranjado, de grosor considerable, irregular y con muy mala adherencia con el sustrato (presenta ampollas – aspecto abombado).  <u>Localización:</u> entrada del abrigo, a mano izquierda; altura media.

228 229



estrechamente relacionados con la paleogeografía que había en aquel momento (IGME, Mapa Geológico de España, Hoja 868).

Desde el punto de vista petrológico (anexos 7-9)<sup>14</sup> cabe destacar el marcado carácter terrígeno de dicha formación que, a su vez podría definirse como una biomicrita empaquetada (según Folk 1959, 1962) o una rudstone (según Dunham 1962).

#### 4.3.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo

Este abrigo se caracteriza por la presencia generalizada de una pátina anaranjada que cubre casi la totalidad de la superficie de la cavidad. Además se denota un proceso de descamación muy acusado, que en algunas zonas ha llegado a evolucionar a la formación y caída de placas –desplacación– (p.e. se han documentado áreas de pérdida de material de gran tamaño en los extremos laterales del panel). También se observa la presencia de rupturas (p.e. fisuras de calibre medio), pérdida de material (p.e. disgregación del soporte rocoso a la izquierda del abrigo), deformaciones de la superficie (p.e. costras naranjas con ampollas a la izquierda del abrigo) y presencia de depósitos superficiales (p.e. acumulación de polvo). La acción antrópica queda reflejada nuevamente por la presencia de una pátina por roce o palpación en la parte baja del abrigo.

#### 4.3.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial

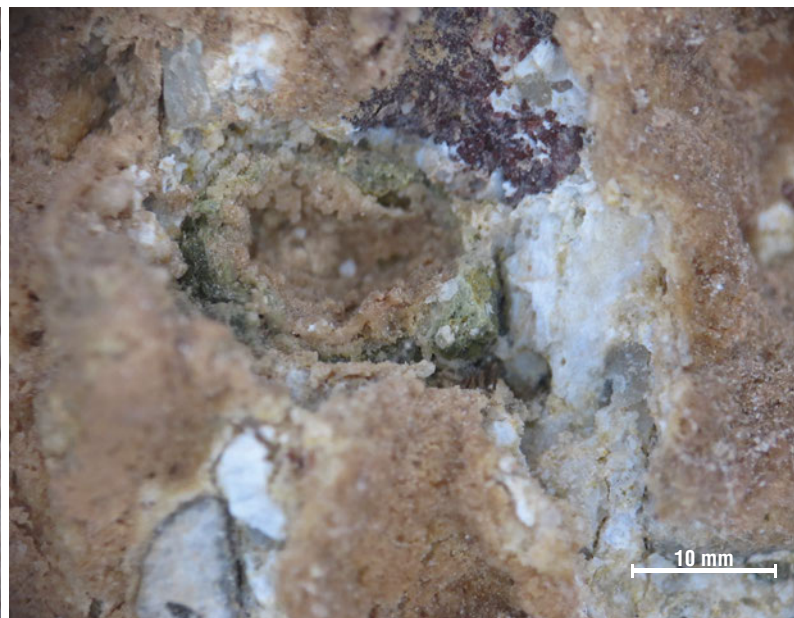
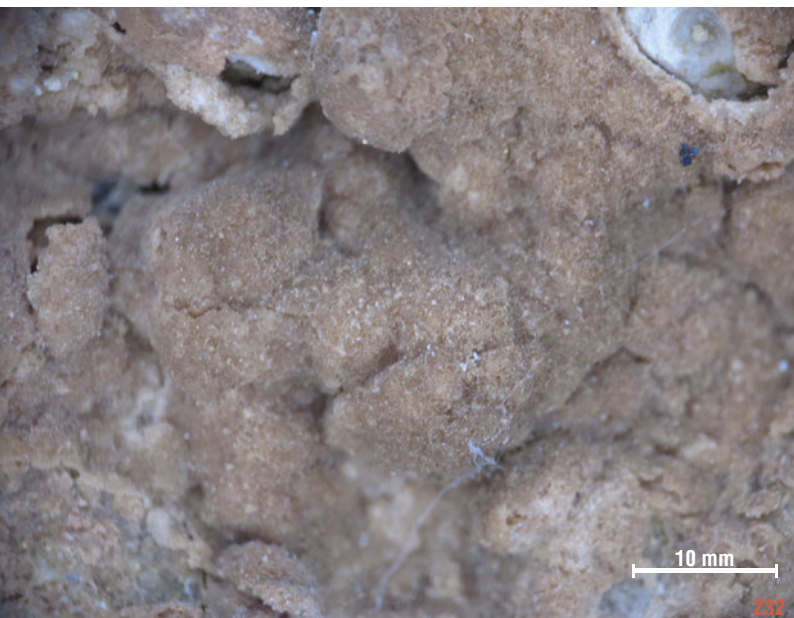
Se han seleccionado un total de tres muestras de los productos de alteración para su descripción químico-mineralógica detallada teniendo en cuenta sus características organolépticas (Tabla 11).

Figura 228. Microfotografía in situ de la zona de muestreo CM001. © À. Pitarch.

Figura 229. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra CM001. © À. Pitarch.

<sup>14</sup>. Disponible en la versión digital, descargable en <http://www.cuadernosdearterupestre.es/arterupestre/libro4D.pdf>

230 231



234

Figura 230. Microfotografía in situ de la zona de muestreo CM002. © À. Pitarch.

Figura 231. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra CM002. © À. Pitarch.

Figura 232. Microfotografía in situ de la zona de muestreo CM003. © À. Pitarch.

Figura 233. Microfotografía in situ de la zona de muestreo CM003 tras la toma de la muestra, donde se observa la presencia de comunidades de algas casmófitas. © À. Pitarch.

Figura 234. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra CM003. © À. Pitarch

La observación de las muestras mediante la lupa nos ha permitido describir la textura y morfología de las tres muestras además de poner de manifiesto la presencia acusada de algas casmófitas bajo las mismas.

La observación al microscopio óptico polarizado (MOP) desvela que no estamos delante de una pátina anaranjada, sino que en realidad en todos los casos tendríamos que hablar de la presencia de costras anaranjadas (entendiéndose costra como un recubrimiento consolidado estratiforme). Estos depósitos multi-laminares están formados por varios niveles con distinta textura así como de grosor variable. Así, mientras que la muestra CM001 responde claramente a una estructura de tipo estromatolítico con distintas fases de crecimiento (se han identificado hasta tres capas), CM002 y CM003 presentan una sucesión de capas de distinta composición y textura que sugieren la superposición de mecanismos de formación diversos.

La observación y análisis SEM - EDX de las superficies de las costras (anexos 7-9) nos permite identificar la presencia de pequeñas partículas dispersas de óxidos metálicos (hierro (Fe) y titanio (Ti) en su mayoría) lo que explicaría, entre otros factores, el color anaranjado de las mismas.

En CM002 y CM003 se detecta la presencia de calcio (Ca) y azufre (S) –yeso– lo que sugiere que se está dando un proceso de sulfatación. Por otro lado, la superficie de CM003, además, está recubierta por pequeños cristales compuestos en su mayoría por calcio (Ca), carbono (C) y oxígeno (O), lo que podría sugerir la presencia de oxalatos.

En los tres casos, las observaciones de dichas secciones llevadas a cabo con el SEM-EDX a mayor aumento, han permitido identificar la presencia de actividad biológica de distinta índole.

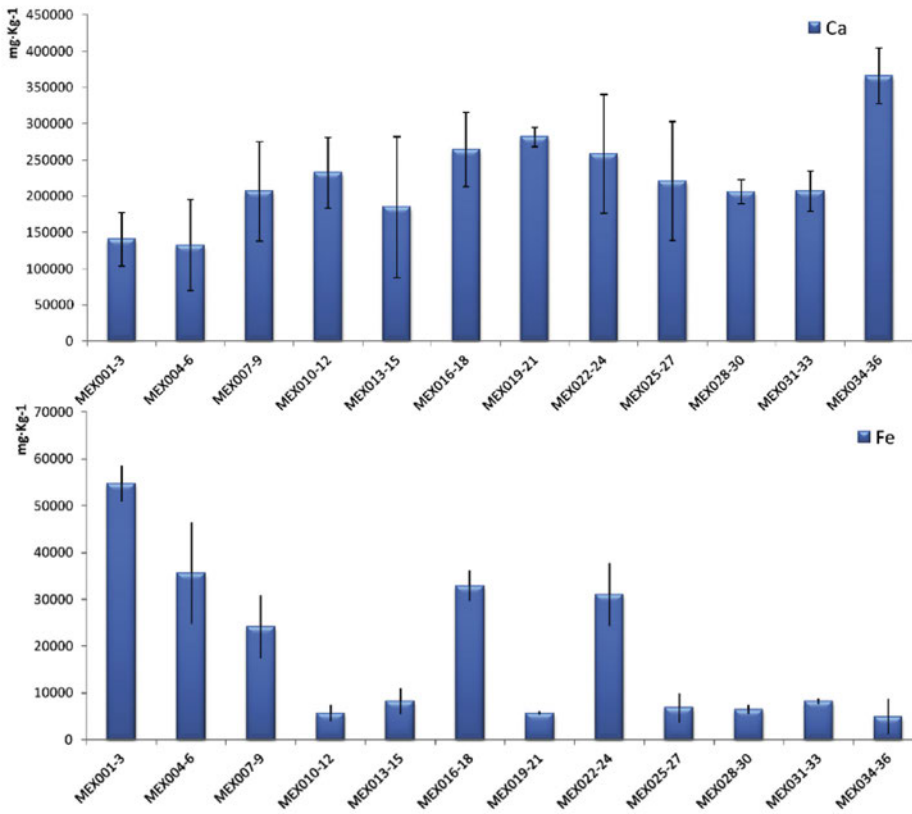
Los resultados preliminares de los análisis realizados sobre las muestras de Cueva del Mediodía ponen de relieve que las modificaciones superficiales que presenta dicho abrigo no responde a un único factor; sino que se combinan mecanismos de degradación físico-químicos y mecanismos de crecimiento biológico diversos.

#### 4.3.4. Análisis químicos

Con el objetivo de complementar las técnicas de análisis de imagen para la detección de cambios y alteraciones que se hayan podido producir en las diferentes pictografías, soportes y/o recubrimientos correspondientes a la Cueva del Mediodía (Yecla, Murcia), se realizaron diferentes análisis in situ. Las localizaciones de los puntos donde se han realizado los citados análisis han sido seleccionados teniendo en cuenta el interés del panel y en pictografías seleccionados previamente. En la elección de los puntos a analizar también se tuvo en cuenta la presencia de diferentes líneas en zig-zag y figuras de tonalidad roja oscura, otras figuras de tonalidad amarillenta y por último figuras ubicadas en la zona central de color rojo.

Para llevar a cabo el estudio se realizaron medidas directas mediante dos equipos portátiles basados en fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) y espectroscopia Raman. Ambas técnicas son consideradas como no-invasivas, dado que no se requiere toma de muestra.

En julio de 2013 y enero de 2014 han sido llevados a cabo más de 36 análisis mediante EDXRF y 19 medidas por espectroscopia Raman en el panel 1 de Cueva del Mediodía.



235  
236

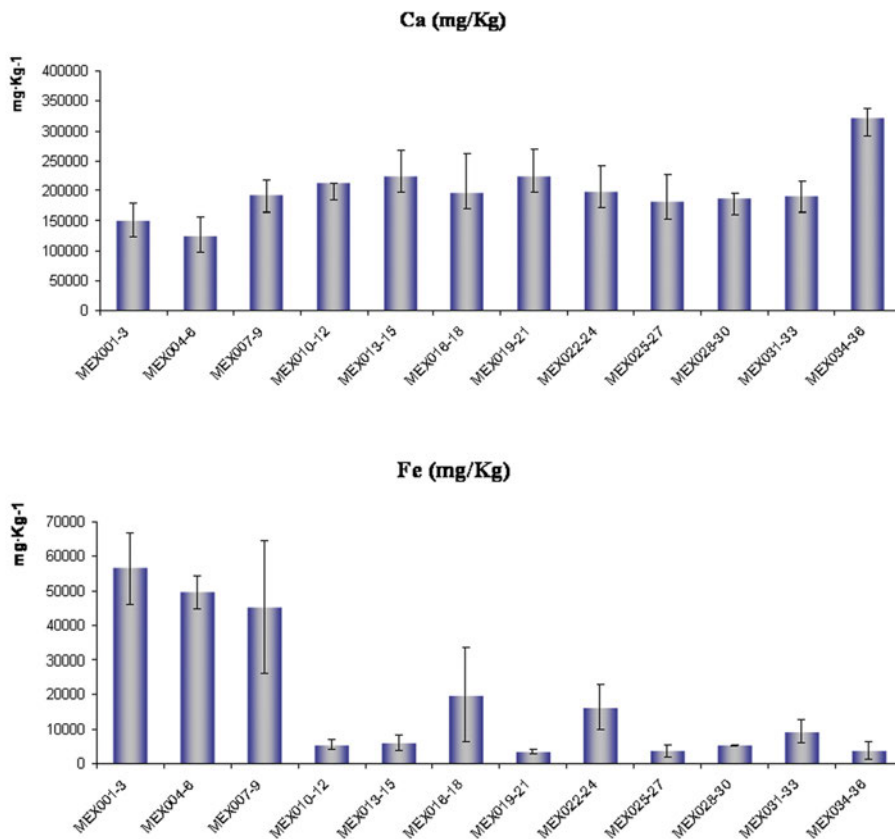


Figura 235. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro encontradas en los diferentes puntos analizados en el panel 1 de Cueva del Mediodía. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres lecturas realizadas por punto de medida. © S. Fernández.

Figura 236. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro en los puntos analizados en la campaña de enero 2014 en Cueva del Mediodía. Las líneas horizontales del diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto. © S. Fernández

**TABLA 12. VALORES DE CONCENTRACIÓN MEDIA EN MG·KG<sup>-1</sup> DEL CALCIO (CA) Y HIERRO (FE) Y TRES VECES LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIDAS REALIZADAS EN LOS DIFERENTES PUNTOS ANALIZADOS EN CUEVA DEL MEDIODÍA**

Código del análisis	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14	Fe (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Fe (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14
<b>MEX001-3</b>	140600 ± 37155	150156 ± 28010	54660 ± 3780	56541 ± 10297
<b>MEX004-6</b>	132555 ± 62380	125672 ± 30690	35555 ± 10895	49681 ± 10297
<b>MEX007-9</b>	206700 ± 68895	191803 ± 27029	24070 ± 6730	45193 ± 10297
<b>MEX010-12</b>	232350 ± 48760	212164 ± 1501	5670 ± 1745	5428 ± 1444
<b>MEX013-15</b>	185305 ± 97215	223719 ± 44095	8170 ± 2760	6117 ± 2217
<b>MEX016-18</b>	264390 ± 51380	196613 ± 66148	32895 ± 3345	19878 ± 13483
<b>MEX019-21</b>	281905 ± 13370	224664 ± 45450	5662 ± 390	3521 ± 728
<b>MEX022-24</b>	258615 ± 81870	198764 ± 42571	31040 ± 6705	16289 ± 6538
<b>MEX025-27</b>	221000 ± 81750	180856 ± 47069	6770 ± 3150	3700 ± 1820
<b>MEX028-30</b>	206050 ± 16615	186920 ± 7172	6442 ± 934	5333 ± 118
<b>MEX031-33</b>	207190 ± 27450	191175 ± 24976	8215 ± 655	9384 ± 3243
<b>MEX034-36</b>	365830 ± 38150	320545 ± 17152	4915 ± 3760	3739 ± 2548

#### 4.3.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF)

Los resultados de las campañas de análisis realizadas en junio de 2013 y enero de 2014 aparecen en las Fig. 234-235, a partir de los análisis realizados mediante el espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil en la Cueva del Mediodía, panel 1. Cada uno de los datos asociados a diferentes zonas de medida se ofrece como media de tres determinaciones en el mismo punto de análisis, con el fin de obtener datos representativos. En la citada figura aparece también representada en forma de barras, la desviación estándar asociada a las tres citadas medidas. En las Fig. 236-237 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante EDXRF (ver correlación de numeración con las Fig. 234-235 y Tabla 12).

Como se ha indicado anteriormente la determinación de los elementos presentes se realiza de manera semicuantitativa (aproximación del valor de concentración en cada punto de medida del panel del abrigo), es decir, únicamente se considera válida para comparar diferentes puntos en un mismo panel del abrigo.

Salvo en contadas ocasiones, en los análisis realizados no se detectaron elementos minoritarios (aquellos que están en concentraciones menores al 5%) y el resto de elementos detectados por debajo del 1% se obviaron, dada la incertidumbre de la medida. Como era de esperar, tanto en la campaña de análisis realizada en junio de 2013 como en la de enero de 2014 únicamente dos elementos aparecen como elementos mayoritarios, el calcio (Ca) y el hierro (Fe).

El calcio aparece como elemento mayoritario en la totalidad de Cueva del Mediodía, indicando así que se trata de un soporte calcáreo. Esta hipótesis se confirma por los resultados del análisis Raman, donde se identifica calcita (CaCO<sub>3</sub>) como compuesto principal de la roca. El calcio proviene de la roca madre aunque no se puede descartar la presencia de otros compuestos en forma de pátina como veremos en los resultados relativos a la espectroscopia Raman.

Comparando los valores encontrados en distintas zonas del panel 1 de Cueva del Mediodía en junio de 2013 y enero del 2014 se pueden apreciar diferencias en las concentraciones de calcio



y hierro (ver Tabla 12). En todos los puntos se encontró una mayor concentración de calcio con respecto al hierro, lo que sugiere, en aquellos puntos donde se ha medido una pictografía, la capa de pigmento es muy fina, puede existir una patina superficial con calcio y/o que se esta realizando también medida del soporte rocoso.

En lo que respecta a las concentraciones de calcio, en la mayoría de los puntos medidos se encuentran valores en el intervalo 15000-20000 mg/kg, un rango similar al obtenido en la campaña de junio 2013. En cuanto a la comparativa de valores obtenidos en cada zona de medida (tres medidas por cada) para ambas campañas (junio 2013 y enero 2014), en seis de las doce zonas de medida (tres medidas por cada), la variación de concentración comparando los valores de junio 2013 y enero 2014 es inferior al 10%, por lo que se encontraría dentro de la propia incertidumbre de medida e indicaría que en dichas zonas la concentración de calcio no ha variado entre ambas campañas (junio 2013 vs. enero 2014). Es necesario puntualizar que existe una zona de medida, MEX013-15, cuya variación de concentración está en torno al -21%. El signo negativo asociado quiere decir que en dicha zona la concentración de calcio es superior en los análisis realizados en la campaña de enero 2014. Considerando que dicha medida está realizada en la zona donde se aprecian restos de pigmentación, pudiera ser que en los análisis de junio 2013, en el spot de enfoque se haya tomado una mayor porción del pigmento (Fe), haciendo por lo tanto que respecto a la composición total, la concentración de calcio sea inferior en los análisis realizados en la campaña de junio 2013. Otra explicación que podría darse al incremento de concentración de calcio en dicha zona es que la capa de incrustación sobre el abrigo se haya incrementado (su grosor) con compuestos que contengan calcio. En las medidas

Figura 237. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código MEXnnn-nnn) y Raman (código MERnn y color verde) en la parte superior de la Cueva del Mediodía, panel 1. © J.F. Ruiz

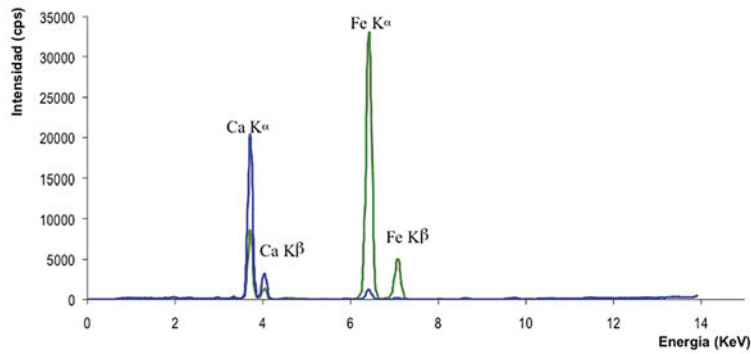


Raman realizadas en dicha zona se obtuvo una elevada fluorescencia, por lo que no se pudo evaluar la presencia de posibles compuestos de calcio en la incrustación.

Por otro lado, en otras cinco zonas de medida (MEX016-18, MEX019-21, MEX022-24, MEX025-27 y MEX034-36), la concentración de calcio resulta ser inferior en las medidas tomadas en la campaña de análisis de enero 2014 (la zona que muestra un mayor descenso se encuentra en torno al 26% de variación de la concentración con respecto a las medidas de junio 2013). En dichas zonas de medida, tanto en la campaña de junio 2013 como en la campaña de enero 2014 se identificaron sales cristalizadas en superficie (eflorescencias) que contenían calcita (carbonato de calcio), yeso (sulfato de calcio di-hidratado) y whewellita (oxalato de calcio monohidratado). Estas sales poseen calcio en su estructura, el hecho de que en la campaña de enero 2014 se detectara una menor concentración en las cinco zonas indicadas puede deberse a un proceso de disolución de parte de la totalidad de las sales cristalizadas que existían en junio 2013. Puede que en enero de 2014, el porcentaje de sales cristalizadas que contienen calcio en su estructura disminuyera, influyendo por tanto en el resultado final de calcio.

En lo que respecta al hierro, su presencia en el abrigo es debida a dos fuentes. Por un lado, tendríamos el hierro que pueda encontrarse formando parte de silicatos de la propia roca





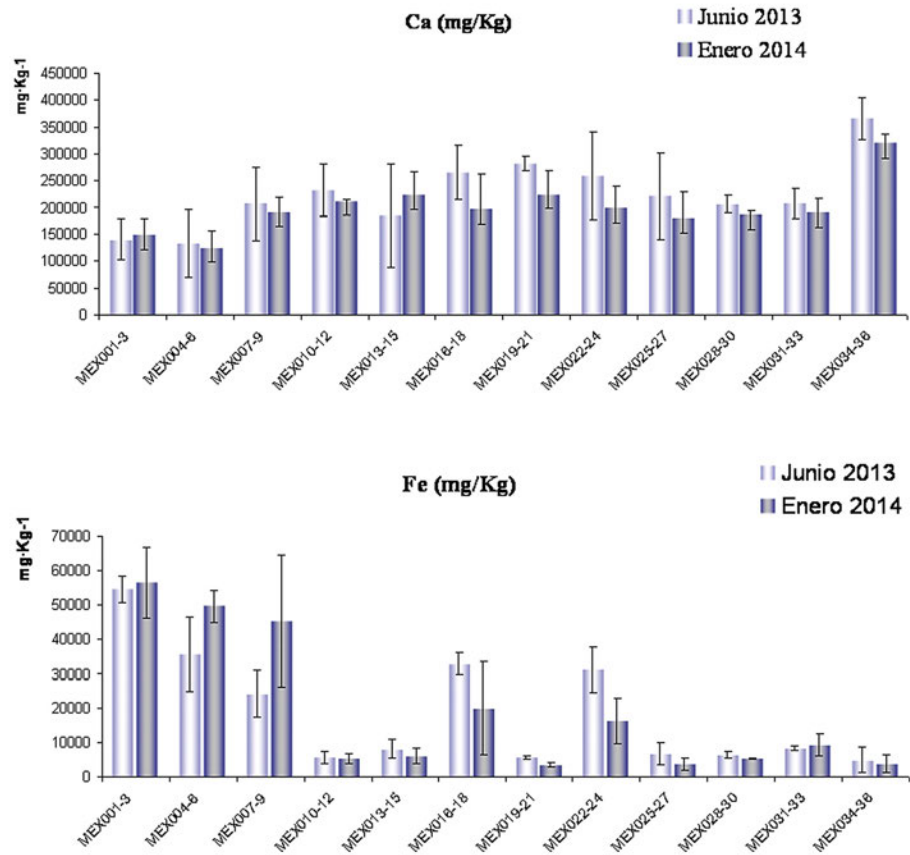
239

madre, arcillas o aquel que pueda llegar al panel del abrigo por escorrentía. Por otro, el hierro que compone el pigmento utilizado en el pictograma, mientras que su mayor o menor concentración se debe al diferente espesor de la capa pictórica existente. Estas diferencias encontradas pueden observarse en dos espectros de EDXRF encontrados en dos puntos de medida del panel (Fig. 238).

Al igual que pasaba en junio de 2013, de nuevo en enero de 2014 los máximos de valores de concentración media para el hierro encontrados en el panel de la cueva, corresponden a las siguientes medidas y en el siguiente orden: MEX001-3, MEX004-6, MEX007-9, MEX016-18 y MEX022-24. A diferencia de los análisis realizados en junio 2013, la zona de medida MEX007-9 es la tercera área medida que presenta mayor concentración. Además, es necesario resaltar que si se comparan los valores obtenidos en ambas campañas, en el resto de zonas analizadas se obtuvo en términos generales concentraciones inferiores de hierro. Las intensidades de señal obtenidas para cada uno de los elementos y por extensión sus concentraciones, dependen de varios factores inherentes a la técnica, como ya se ha descrito. Por ejemplo, el tamaño del área de medida de la pistola XRF (9mm) con respecto a la superficie pictórica objeto de análisis puede influir. Lo ideal es que la superficie del área de medida del cabezal de la pistola esté completamente cubierta por pigmento, en cuyo caso la señal obtenida (correspondiente al hierro presente en el pigmento) podrá aumentar, por ejemplo, en función del espesor de la capa de pigmento ya que los rayos X tienen dicha capacidad de penetración. Sin embargo, puede haber casos en los que el área de medida es mayor a la superficie cubierta por pigmento, en cuyo caso, la señal del hierro disminuye a pesar de que en dicho análisis se mide también la concentración de hierro correspondiente a la roca madre, dando finalmente un valor medio entre lo existente en la roca madre y en la capa pictórica. Atendiendo a esto, puede que moviéndonos unos pocos milímetros, el spot de enfoque sea ligeramente diferente.

Las cinco áreas mencionadas anteriormente donde se han encontrado las mayores concentraciones de hierro corresponden a motivos pictóricos rojos. Es necesario remarcar que algunas de las restantes medidas también se han realizado sobre otros puntos de los pictogramas rojos y los valores encontrados son menores. Los menores valores de concentración media encontradas en los demás puntos de medida pueden ser debidos a dos motivos bien distintos. El primero de ellos es su estado de conservación, o si existe alguna pátina, por ejemplo, oxalato de calcio (identificada por espectroscopia Raman, leer apartado correspondiente). Si el estado de conservación de la pictografía no es adecuado, la capa pictórica es menor y por lo tanto la

Figura 239. Espectros EDXRF comparativos del material soporte (línea de color azul) y de uno de los análisis en un pictograma (línea de color verde) ambos análisis realizados in situ en enero de 2014 en Cueva del Mediodía. © S. Fernández



240

concentración media de hierro encontrada también lo es. También tendremos menor concentración si se encuentra encima de la capa pictórica una pátina de oxalatos. El tamaño del área de medida de la pistola XRF respecto a la superficie pictórica objeto de análisis, el cual se ha mencionado anteriormente, también puede tener influencia en este resultado.

Una vez comentados los resultados obtenidos mediante fluorescencia de rayos X, y las variaciones obtenidas entre las dos campañas de análisis es necesario recordar que uno de los objetivos del presente proyecto de investigación es ver si se presentan variaciones en la composición química de los abrigo objeto de estudio a lo largo del tiempo. Todo ello con objeto de posibilitar la identificación de alteraciones debidas al ciclo natural, aparición de patinas, cambios de coloración del soporte o de las pictografías presentes, aparición de fracturas, pérdidas de soporte o figuras, etc. Por ello los análisis del presente estudio se realizaron con una diferencia temporal de ocho meses y coincidiendo con estaciones del año contrarias, es decir, los primeros análisis fueron realizados en junio del año 2013 coincidiendo con el verano (época de sequía, mayor temperatura y menor humedad) y los últimos análisis fueron realizados en invierno (época con menor temperatura y mayor humedad) del presente año (enero 2014).

Si se comparan los resultados de ambas campañas de análisis (Fig. 239) tanto para el caso del calcio como para el hierro se puede llegar a la conclusión de que no hay diferencias significativas entre la concentración encontradas en los distintos puntos de análisis en este pequeño transcurso

**Figura 240.** Comparación de las concentraciones medias (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro de los puntos analizados en junio 2013 (azul claro) y enero 2014 (azul oscuro) en el panel 1 de Cueva del Mediodía. Las líneas verticales en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de cada una de las tres medidas realizadas. © S. Fernández.

de tiempo a pesar de las diferentes condiciones climáticas en que han sido realizados los análisis químicos. Casi todos los valores de concentración de la campaña de junio 2013 y enero 2014 en el mismo punto/zona de análisis aparecen siempre dentro del intervalo de confianza de la concentración encontrada. En el caso de aquellas zonas en las que no aparecen dentro del intervalo de confianza, se ha ofrecido la pertinente justificación en párrafos anteriores.

Esto pone de manifiesto que el protocolo/procedimiento de análisis químico expuesto en el presente proyecto es apropiado para las condiciones existentes en los abrigos objeto de estudio.

A modo de conclusión final de este apartado resaltar el hecho de que en el panel 1 de la Cueva del Mediodía no se han encontrado diferencias respecto a la composición química en estos últimos meses. A la vista de los resultados, se recomendaría repetir los análisis según la metodología expuesta de forma repetitiva en un margen temporal mayor que seis meses. Por ejemplo se podría aplicar la metodología repitiéndola cada uno-dos años. Este programa de monitorización permitiría conocer el estado real de conservación con el paso del tiempo.

#### 4.3.4.2. Resultados espectroscopia Raman

La espectroscopia Raman permite habitualmente identificar diversos compuestos relacionados tanto con la roca madre como con los pigmentos que hallamos en las pinturas rupestres.

Como el análisis Raman es una medida superficial (el láser no es penetrante como ocurre con los rayos X), la fluorescencia nos puede dar una idea de la existencia de una pátina, que en ocasiones puede llegar a cubrir toda la superficie del pigmento. Frecuentemente, la fluorescencia se debe a la presencia de arcillas que proceden de procesos de escorrentía que llegan a cubrir los paneles pictóricos.

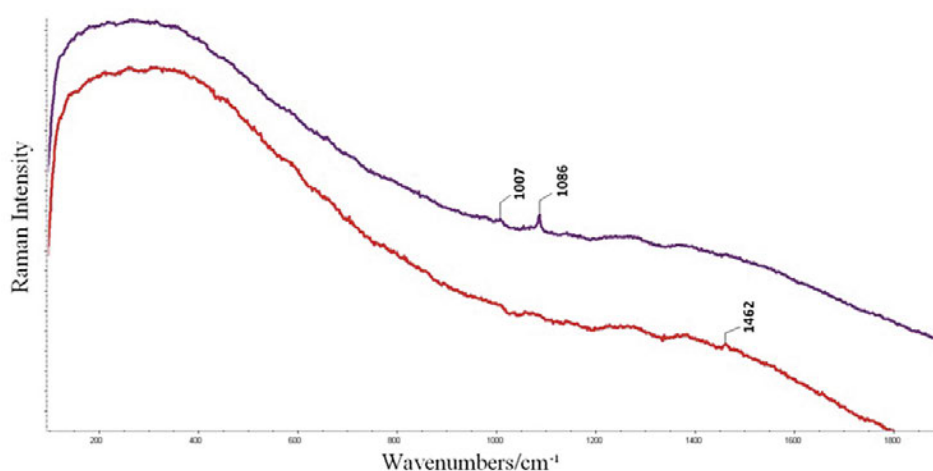
Al igual que en junio del 2013 en enero de 2014 se pudo observar de nuevo que la pátina está compuesta básicamente, al igual que la roca madre, por calcita (ver Tabla 13 y el espectro característico de la Figura 240). También se identificaron en esta campaña, al igual que en la de junio 2013, yeso (sulfato de calcio di-hidrato) y whewellita (oxalato de calcio monohidrato). Recordar que la presencia de costras de whewellita se encuentra frecuentemente en la superficie de rocas, muros y monumentos como resultado de la actividad metabólica de líquenes, hongos, bacterias y microbios que colonizan la superficie de los materiales pétreos (Krumbein et al., 2003; Tournié et al., 2011; Ravindran et al., 2013). Este tipo de microorganismos son capaces de excretar ácido oxálico, el cual puede reaccionar con el sustrato calcáreo provocando la formación de cristales de oxalato de calcio. Este tipo de costras se detectan frecuentemente en abrigos rocosos con pinturas prehistóricas. En lo que respecta a la presencia de yeso, esta sal de sulfato de calcio se identifica con frecuencia en abrigos rocosos tanto en base arenisca como calcárea dado que la lluvia puede disolver los sulfatos presentes en los suelos colindantes. Dicho sulfato solubilizado puede movilizarse y penetrar en los poros de la roca y cristalizar en forma de yeso por evaporación del agua. El yeso en presencia de agua podría volver a solubilizarse y reprecipitar, el cambio de volumen generado provoca una constante tensión en el poro de la roca, pudiendo así provocar fenómenos de desconchamiento, laminado o fisuras.

**TABLA 13. COMPUESTOS ENCONTRADOS EN LAS ZONAS DE MEDIDA CORRESPONDIENTES A CUEVA DEL MEDIODÍA EN LAS CAMPAÑAS DE JUNIO 2013 Y ENERO 2014**

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
ME1 (junio 2013)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME1 (enero 2014)	282, 1008, 1085, 1138	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O) y Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME1 bis (enero 2014)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME2 (junio 2013)	1375	No identificado
ME2 (enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	
ME3 (junio 2013)	296, 410	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
ME3bis (junio 2013)	1463	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
ME3 (enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	
ME5 (junio 2013)	298, 410	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
ME6 (junio 2013)	292, 410, 1462	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
ME7 (junio 2013)	296, 411	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
ME 7 (enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	
ME8 (junio 2013)	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
ME8 y ME8 bis (enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	
ME9 (junio 2013)	1087	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME9 (enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	
ME10 (junio 2013)	1008	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
ME10 (enero 2014)	218, 1461	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
ME11 (junio 2013)	1086	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME11 (enero 2014)	1006, 1086	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O) Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME12 (junio 2013)	1086	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME12 (enero 2014)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME13 (junio 2013)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME14 (junio 2013)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME14 (enero 2014)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME15 (junio 2013)	1009, 1085	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME16 (junio 2013)	1006, 1085	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME17 (junio 2013)	1086	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME17 (enero 2014)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME18 (junio 2013)	1008, 1087	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME18 (enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	
ME19 (junio 2013)	1009, 1086	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME20 (junio 2013)	1007, 1086	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME21 (junio 2013)	1009, 1086, 1267	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME21 (enero 2014)	1006, 1086	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado) y Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME22 (Junio 2013)	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
ME22 (Enero 2014)	1086	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME23 (Junio 2013)	1086, 1464	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
ME23 (Enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	

TABLA 13. CONTINUACIÓN (I)

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
ME24 (Junio 2013)	218,281, 1008, 1086	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME24 (Enero 2014)	Sin bandas Raman, elevada fluorescencia	
ME25 (Junio 2013)	282, 1007, 1087	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
ME25 (Enero 2014)	1085, 1462	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio) y Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)



241

En las Fig. 236-237 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante Raman (ver correlación de numeración con descriptiva de cada zona en la Tabla 13).

En esta campaña, y debido a la elevada fluorescencia, no se obtuvo señal Raman característica de las zonas donde se encontraban las pictografías rojas. Por lo tanto, a pesar de que existen motivos pictóricos visibles en el panel, por razones inherentes a la técnica, que se ve fuertemente influenciada por la presencia de pátinas superficiales, no ha sido posible determinar la composición molecular del pigmento, aunque por los resultados de EDXRF se constata la presencia de hierro, y además en la campaña de junio 2013 se pudieron determinar bandas Raman asociadas al pigmento rojo hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

#### 4.3.5. Conclusiones de la monitorización de Cueva del Mediodía

La Cueva del Mediodía se abre en un poderoso farallón con calcarenitas del Mioceno, en el que la erosión diferencial de los materiales blandos y fácilmente alterables ha abierto las tres cavidades sobre las que se ha efectuado la monitorización. Los tres paneles presentan varios tipos de alteraciones, con diversa intensidad, pero en general con un nivel de afección preocupante.

Figura 241. Espectros Raman característicos de Cueva del Mediodía mostrando las bandas principales de calcita (1086), yeso (1007) y whewellita (1461) obtenidos en enero de 2014.  
© S. Fernández

Las pérdidas de fragmentos del soporte de diverso tamaño se han observado en todos los sectores en diversas etapas del análisis. En el panel 2, se han identificado la formación de escamas grandes, que están afectando a un área cercana a las pictografías; a ello hay que añadir grafitis y la presencia de nidos de himenópteros. Este panel, anexo al panel 1 aunque no incluido en su cerramiento, corre un serio riesgo de alteraciones irreparables de no ponerse remedio a las dinámicas indicadas. En el panel 3 se han identificado pérdidas de soportes en la zona baja del abrigo, lejos de la única pictografía, combinadas con un acusado desarrollo de varias plantas vasculares.

Los deterioros más graves se han documentado en el panel 1, en el que la pérdida de pequeños fragmentos de soporte se ha documentado en muchos de los intervalos de comparación volumétrica. En una franja de unos 75 cm por debajo de las pinturas se concentran la mayor parte de los cambios volumétricos identificados. Algunos de estos fragmentos perdidos tienen un volumen inferior a los 10 mm<sup>3</sup>. Estas mermas de pequeño tamaño no son especialmente preocupantes mientras no se produzcan sobre las pictografías, pero reflejan la inestabilidad del panel, por lo que habría que plantearse la necesidad de consolidar los sectores situados alrededor de las pictografías y la zona del panel en la que se encuentran las propias pinturas. Los sectores izquierdo y superior derecha son los que parecen más amenazados en este sentido.

Aquí se han aplicado todas las metodologías de monitorización del proyecto. Las pictografías están bien conservadas, con un bajo nivel de pérdida de escamas, pero su visibilidad es difícil por la acumulación de polvo en la parte inferior del panel y por la presencia de pátinas de origen biológico, fundamentalmente oxalato cálcico en forma de whewellita y weddelita, que han sido caracterizadas mediante espectroscopia Raman. Se han identificado otros tipos de actividad biológica, como telarañas, que acumulan gran cantidad de partículas de polvo, y microorganismos fotosintéticos como algas casmófitas que se están desarrollando bajo la superficie de la roca vinculadas a las grietas existentes. Las comparaciones volumétricas han apreciado frecuentes cambios en la disposición de las telarañas, lo que relacionamos con la acción del viento o de pequeños animales.

A nivel geológico se trata de un soporte que presenta un elevado grado de inestabilidad, lo que se manifiesta en la formación de placas, fisuras, ampollas y un largo catálogo de formas de alteración. Los procesos que lo generan se vinculan, en parte, a la propia naturaleza del sustrato geológico, fácilmente erosionable, como demuestra la acumulación de fina arena en la base de toda la Cueva del Mediodía, pero también a filtraciones de agua que dan lugar a fenómenos haloclásticos y a la proliferación de comunidades biológicas como las algas casmófitas. La actividad biológica se ha podido constatar en el laboratorio y podría estar directamente vinculada a las formaciones de costras multilaminares de tipo estromatolítico.

Los procesos de alteración son muy patentes en los laterales de la cavidad, en los que se observan grandes placas (hasta 11 cm de lado) y grietas que podrían poner en peligro la estabilidad del propio soporte de las pictografías en el sector izquierdo. La presencia de yeso y de otras eflorescencias salinas reflejan estos problemas de conservación.

La composición química de las pictografías está basada en el hierro. La espectroscopia Raman ha identificado la utilización de hematita. La abundante presencia de yeso identificada en los análisis químicos in situ corrobora estos procesos de alteración, y los elevados niveles de

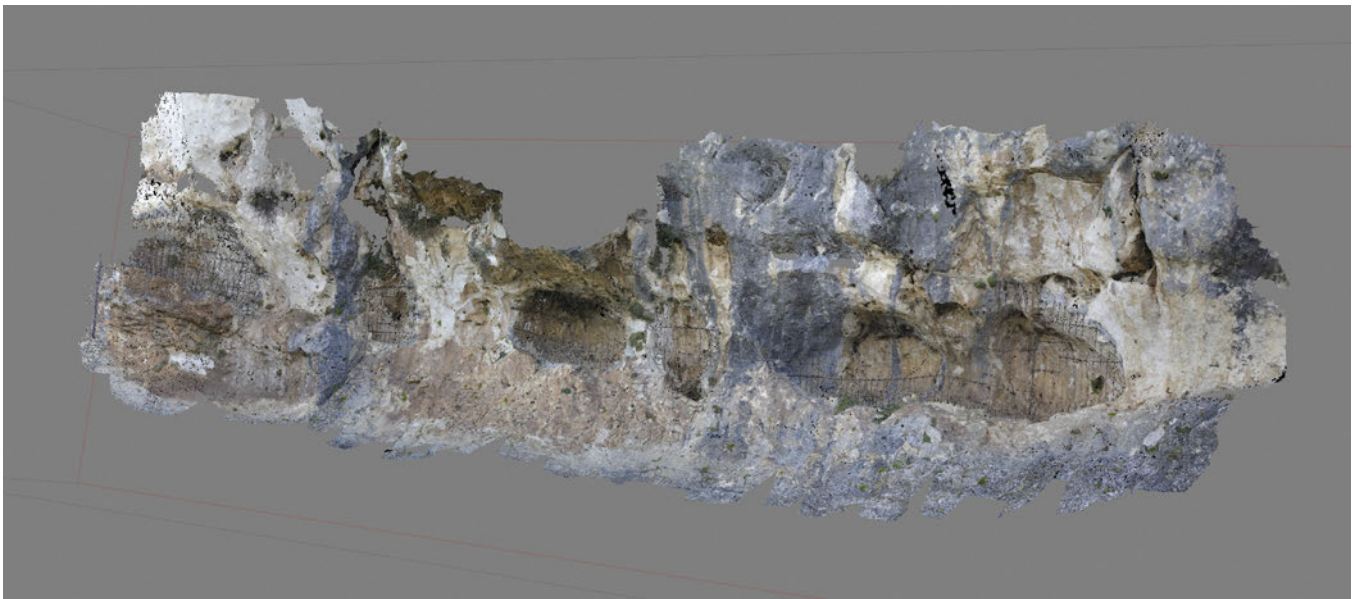
radiación de fluorescencia que experimentan los espectros Raman in situ indican que puede haber presencia de aluminosilicatos, probablemente eólicos pero también del soporte, en las paredes de la cavidad. En este caso, se ha apreciado una relación del hierro con metales pesados como el titanio.

## 4.4. Solana de las Covachas

### 4.4.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos

La configuración topográfica de Solana de las Covachas III y VI hace que su documentación mediante fotogrametría de objeto cercano sea compleja, a lo que se viene a añadir las dificultades que la reja instalada en las bocas de las cavidades imponen al movimiento y a los puntos de vista en los que se puede estacionar la cámara fotográfica. Por otra parte, la reja genera una serie de sombras muy tenues que van variando su posición y que provocan que las texturas fotorrealísticas aparezcan en ocasiones con una red de líneas entrecruzadas que no se corresponden con la realidad, algo que se aprecia especialmente en el área derecha de algunos modelos.

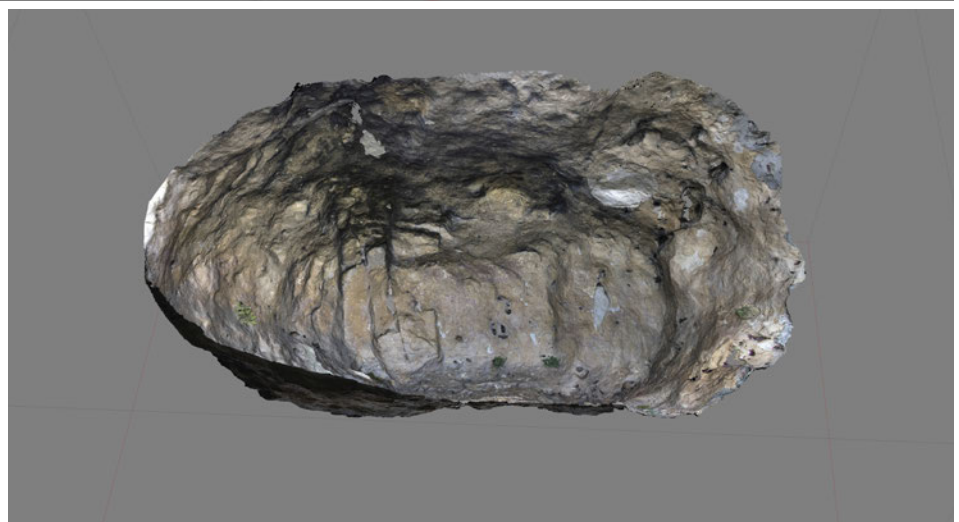
En Solana de las Covachas III se han realizado modelos 3D de los paneles existentes, central e izquierdo, y un modelo general de la cavidad en cada una de las campañas (Fig. 242). Además se han generado dos modelos de conjunto en el que se incluyen desde la cavidad I hasta la VI (Fig. 241).



241

Figura 241. Modelo tridimensional general del conjunto de Solana de las Covachas, abarcando desde la zona I a la zona VI. Este modelo fue realizado con el material de la campaña de julio. © J.F. Ruiz.

Figura 242. Modelo completo de la cavidad de Solana de las Covachas III, efectuado en julio de 2013. © J.F. Ruiz



242



**SOLANA DE LAS COVACHAS III. SECTOR CENTRAL Y DERECHO**

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	50	1.045.677	13.672.272		0,130342	34	6,235	0,495578
Mayo	73	1.510.162	19.974.386		0,09424	26	1,438	0,146365
Julio	87	1.797.859	17.928.433	246.160.732	0,10281	26	2,106	0,274431
Noviembre	115	2.219.479	18.999.999	230.913.267	0,119148	27	1,591	0,104447
Enero	101	1.647.346	18.243.097	171.789.322	0,134859	29	1,754	0,171895

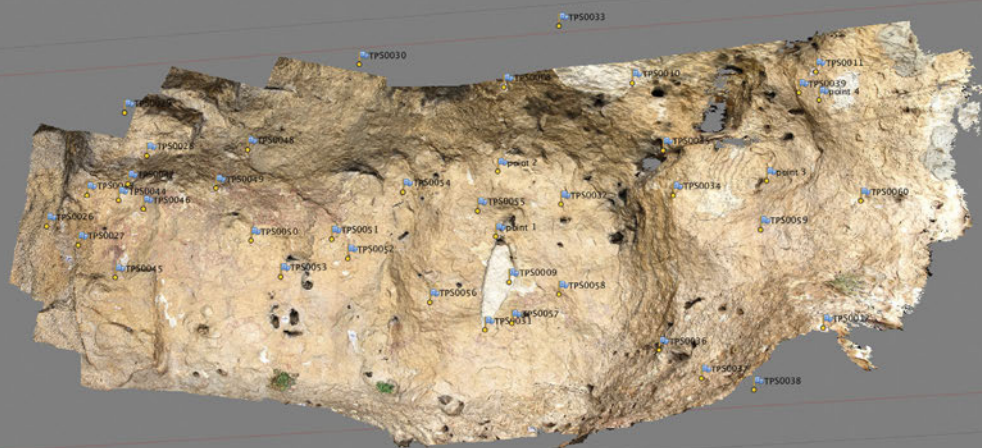
*4.4.1.1. Solana de las Covachas, zona III. Sector central y derecho*

El modelo tridimensional de este abrigo presenta problemas de construcción en el mes de febrero a consecuencia de una deficiente cobertura fotográfica, por lo que el alineamiento con el de mayo no es tan preciso como sería deseable en ciertas zonas (Fig. 244). El análisis estadístico indica que el margen de error entre ambos modelos es considerable y, por tanto, los resultados de la comparación entre febrero y mayo deben ser tomados con precaución. A pesar de ello, el campo escalar resalta la presencia de un cambio notable entre ambos periodos. Se trata de un incremento de superficie en la parte inferior del panel, marcado por la presencia de pequeñas áreas sobresalientes en el modelo de mayo. Este cambio corresponde al crecimiento de la vegetación rupícola que presenta el abrigo. Los pies de *Sarcocapnos enneaphylla* desarrolló sus hojas en el período comprendido en este análisis y dicha modificación ha sido detectada por *CloudCompare*.

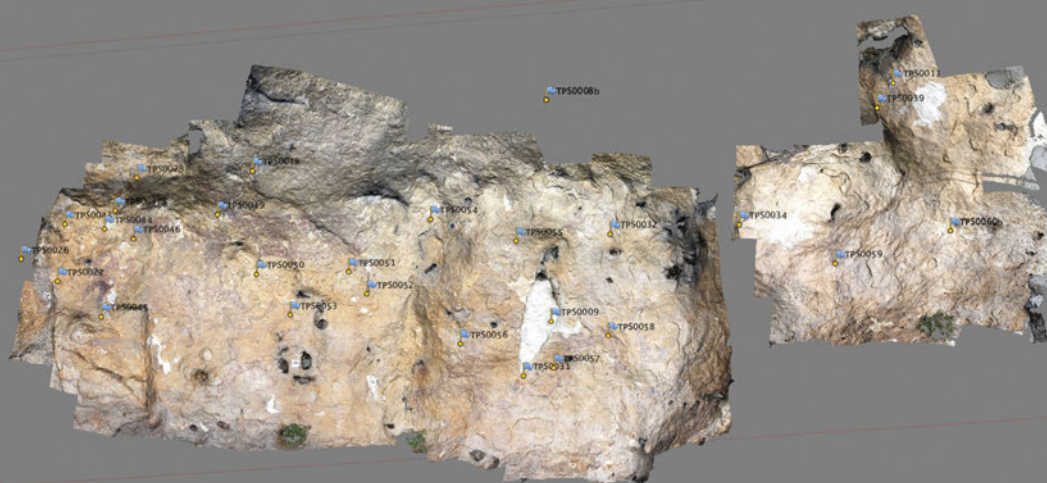
En lo que respecta a la comparación entre mayo y julio, el acoplamiento es mucho más adecuado, aunque la distancia estadística entre ambos modelos a partir del test del  $\chi^2$ , indica un margen de error elevado, probablemente motivado por un área que no fue cubierta en mayo pero sí en julio, lo que en el campo escalar aparece como una franja roja que divide los sectores central y derecho del panel (Fig. 245). Los únicos cambios identificados corresponden al crecimiento de *Sarcocapnos enneaphylla*, cuyo desarrollo se identifica con claridad en tres zonas de la parte inferior del panel, dos en la parte central y uno en la derecha (Fig. 246). El resto de variaciones identificadas por *CloudCompare* corresponden al interior de oquedades, en las que mínimas diferencias de luz han generado una interpretación del relieve distinta por *PhotoScan*.

La comparación efectuada entre los modelos de los meses de julio 2013 y noviembre 2014 ha producido una aproximación muy precisa. El RMS de esta operación es de 0,0013. La distancia media es de 0,0010 y la desviación estándar de 0,0022. La prueba del  $\chi^2$  indica que la mayor parte de los puntos siguen una distribución normal y que, en consecuencia, el nivel de ruido es despreciable. No se aprecian modificaciones durante este período, aparte de las causadas por las variaciones en el tamaño de la vegetación que existe en varias zonas de la parte inferior del panel (Fig. 247). Esta variación ha sido mínima, indicando un mínimo crecimiento entre los meses de julio y noviembre (Fig. 248).

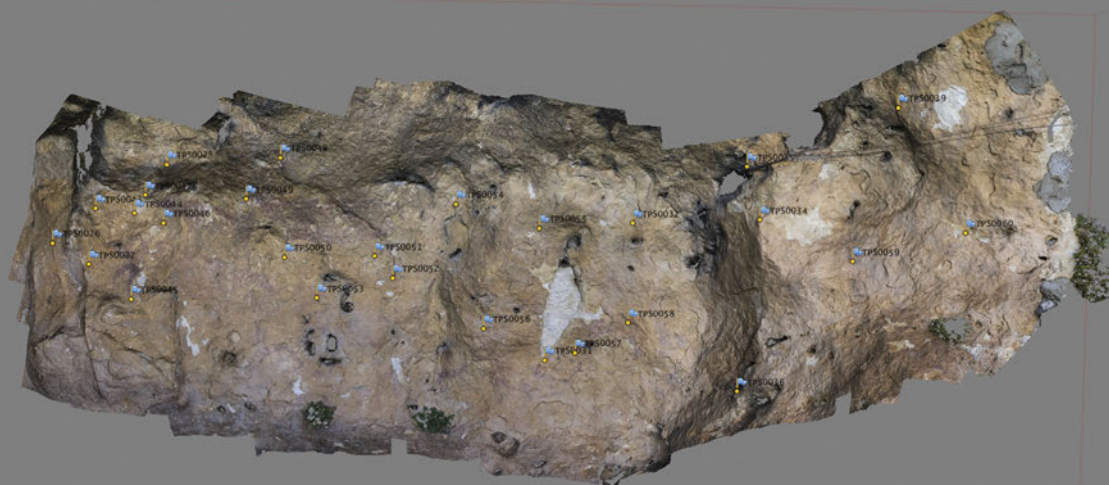
En el período subsiguiente, noviembre 2013 a enero 2014, el emparejamiento entre los modelos es similar, con un RMS de 0,0013. La distancia media es de 0,00067 y la desviación estándar de 0,0010. También en este caso el ruido es anecdótico, como indica la prueba del  $\chi^2$ . Al igual



FEBRERO 2013



MAYO 2013



JULIO 2013

Figura 243. Modelos tridimensionales de cada una de las campañas de la parte central y derecha del panel de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.

A 3D digital reconstruction of a rock surface, showing a complex, irregular shape with various textures and colors ranging from brown to grey. The surface appears to have some small, dark, circular features scattered across it. The model is presented against a plain grey background.

NOVIEMBRE 2013

A 3D digital reconstruction of the same rock surface as in the November 2013 model, but from a different perspective or with different lighting. The overall shape and texture are consistent, but the lighting highlights different features, making the surface appear more rugged and textured. The same dark circular features are visible.

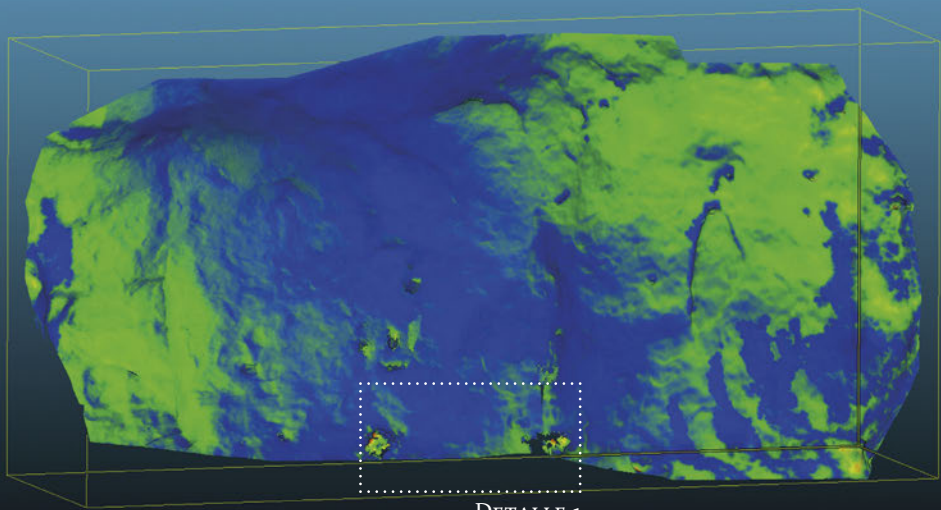
ENERO 2014

que en el período precedente no se han observado cambios volumétricos notables. Únicamente se ha constatado alteraciones en la vegetación indicada, que por lo demás ha permanecido muy estable durante este período, ya que la distancia absoluta entre un modelo y otro en estas plantas se sitúa entre 0,003 y 0,005.

#### 4.4.1.2. Solana de las Covachas, zona III. Sector izquierdo

El sector izquierdo del panel tan sólo conserva un par de pictografías, los restos de un zoomorfo levantino y un largo trazo vertical. La comparación entre los modelos de febrero y mayo (Fig. 249) está lastrada por algunos problemas con la generación del relieve de mayo causados por una escasa cobertura fotográfica. La alineación de los modelos es, no obstante, apropiada, y a partir de ello se deduce que en la zona no hay deterioros identificables mediante el sistema empleado.

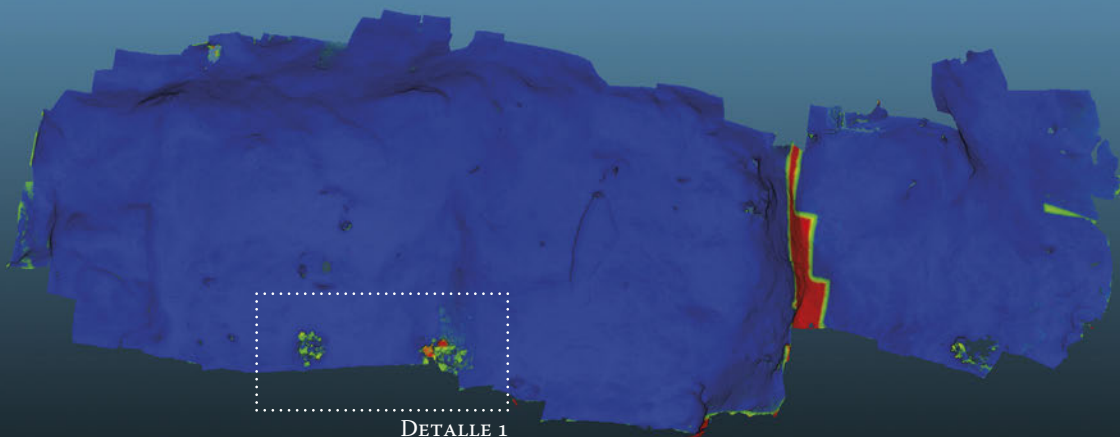
Entre los modelos de mayo y julio (Fig. 250) se produce una situación semejante. De nuevo se puede afirmar que en este sector del abrigo no se han producido variaciones. En los dos casos las áreas resaltadas por *CloudCompare* corresponden a áreas de sombra en el interior de oquedades, o a zonas cuyo relieve no ha sido adecuadamente reconstruido.



DETALLE 1



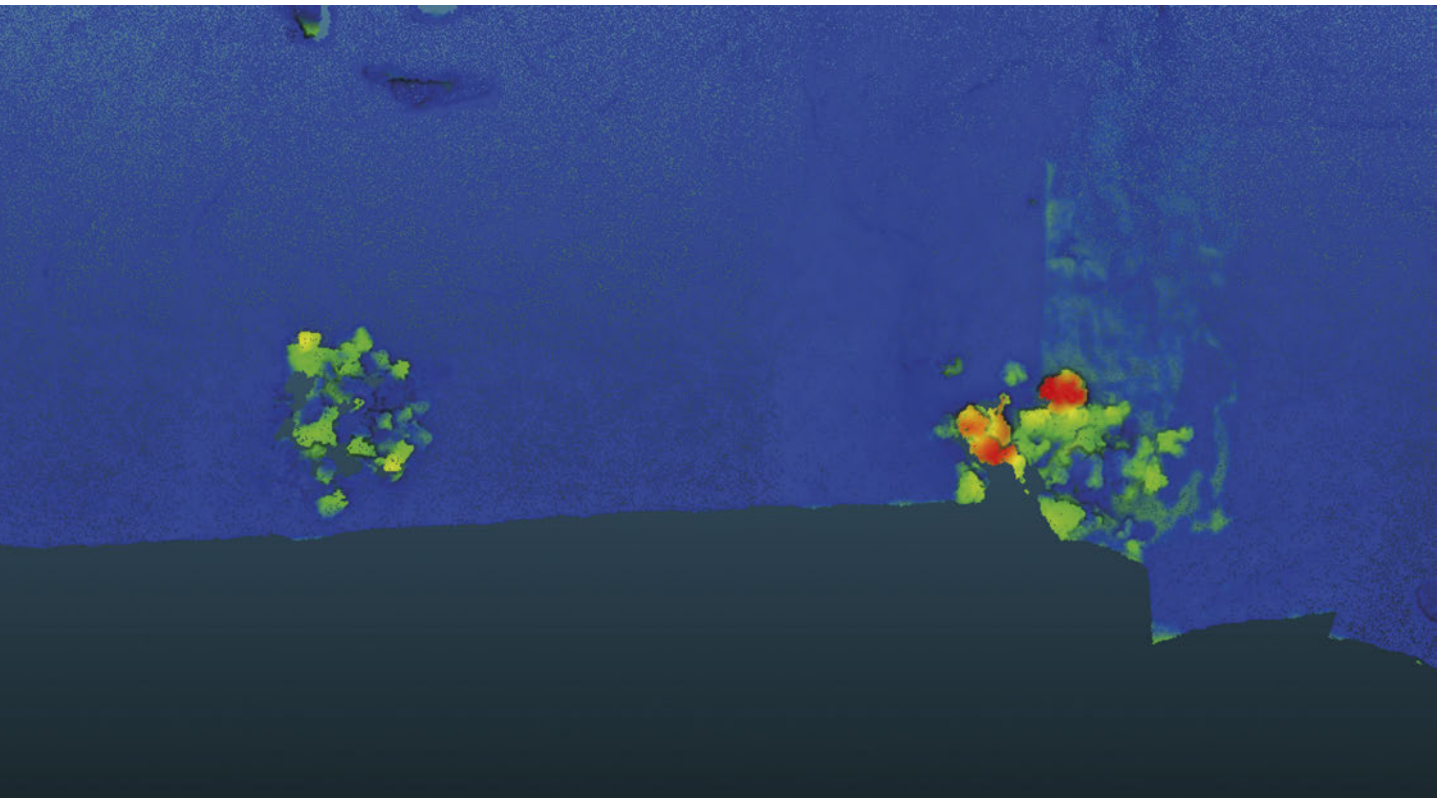
244



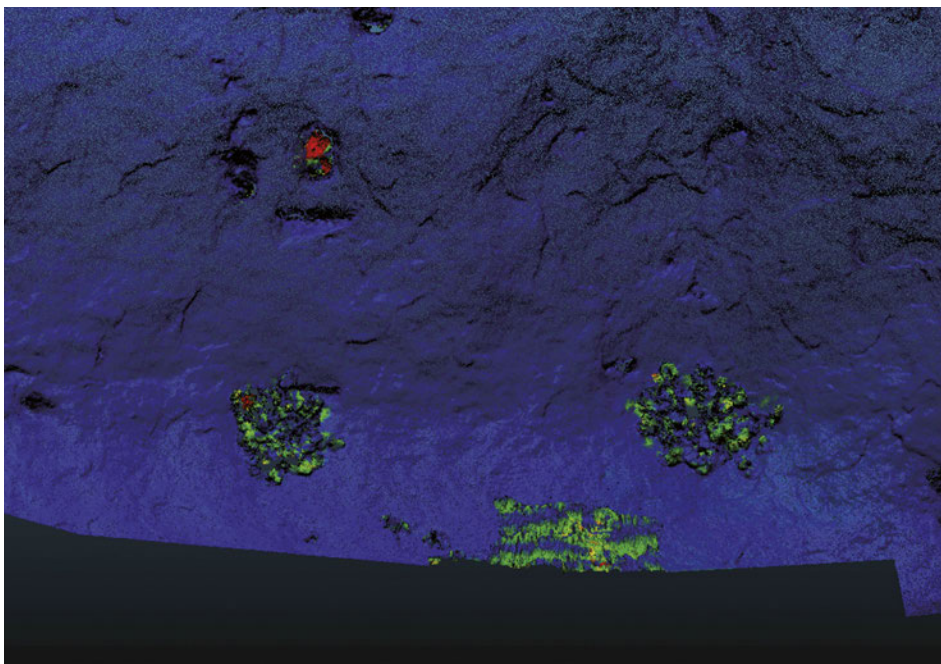
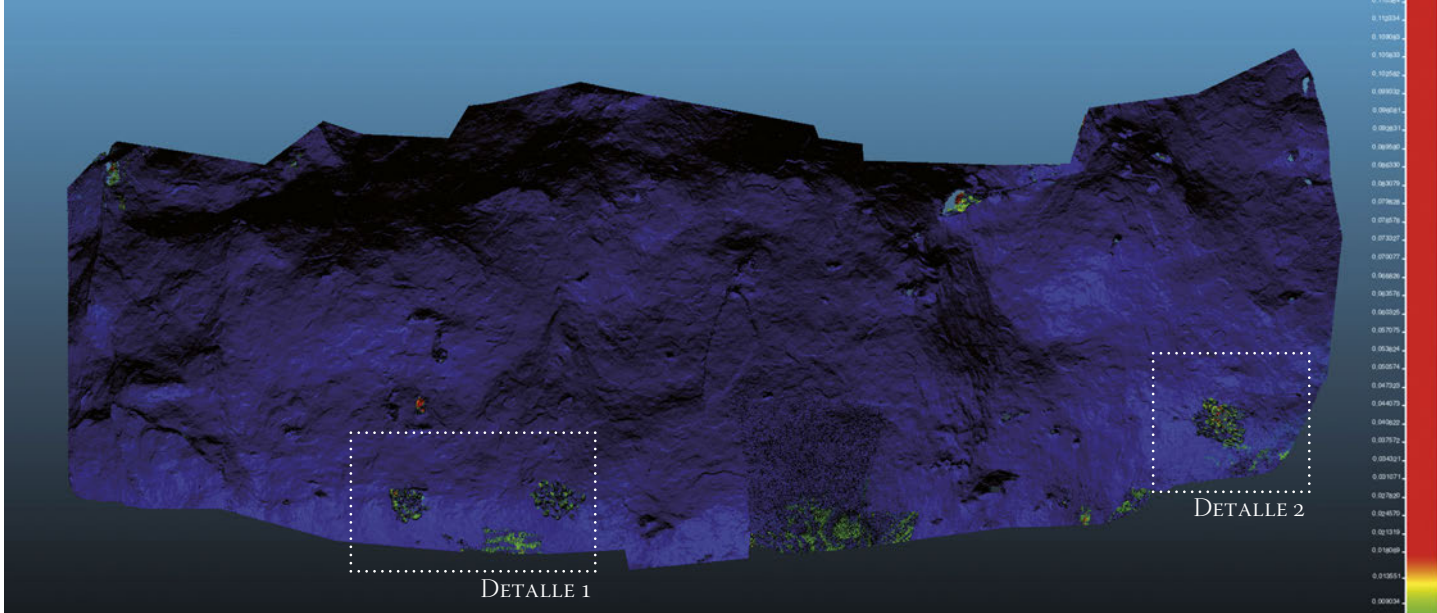
DETALLE 1



245



246



En el período entre julio y noviembre 2013 no se ha podido realizar la alineación presenta importantes deformaciones geométricas que impiden la comparación. Entre los de noviembre 2013 y enero 2014 (Fig. 247) se ha logrado un ajuste muy preciso, con un RMS de 0,0011. La distancia media entre ellos es de 0,00032 y la desviación estándar es también de 0,00032. No se observan cambios.

En resumen, no se han identificado cambios significativos en esta cavidad que afecten a su conservación durante el periodo analizado. El único factor a tener en cuenta es la presencia de vegetación rupícola, todavía de pequeño tamaño, en la cavidad, y su ciclo de crecimiento.

#### 4.4.1.3. Solana de las Covachas, zona VI

En Solana de las Covachas VI se han realizado modelos globales de la cavidad (Fig. 252) y de detalle de su panel en cada una de las campañas. Al igual que sucede en Solana de las Covachas III, el cerramiento metálico, considerablemente deteriorado, ha dificultado las labores de documentación efectuadas para el trabajo fotogramétrico. No obstante, los resultados son satisfactorios.

Durante el periodo comprendido entre febrero y mayo el acoplamiento entre ambos modelos es correcto, con un nivel de ruido absolutamente residual. Esta norma no se cumple en la

Figura 244. Comparación de los modelos 3D de febrero y mayo 2013 del sector central y derecho de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.

Figura 245. Comparativa entre los modelos de mayo y julio del sector derecho de Solana de las Covachas III, señalando la posición del detalle 2. © J.F. Ruiz.

Figura 246. En el detalle 2 se observa un incremento notable del tamaño de la vegetación en el periodo comprendido entre mayo y julio en el sector central y derecho de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.

Figura 247. Comparativa entre julio y noviembre 2013 de Solana de las Covachas III, con indicación de las áreas en las que se han detectado cambios. © J.F. Ruiz.

Figura 248. Abajo: detalle 1 en el que se aprecian los cambios causados por el desarrollo de la vegetación en la zona inferior del panel entre julio y noviembre 2013. © J.F. Ruiz

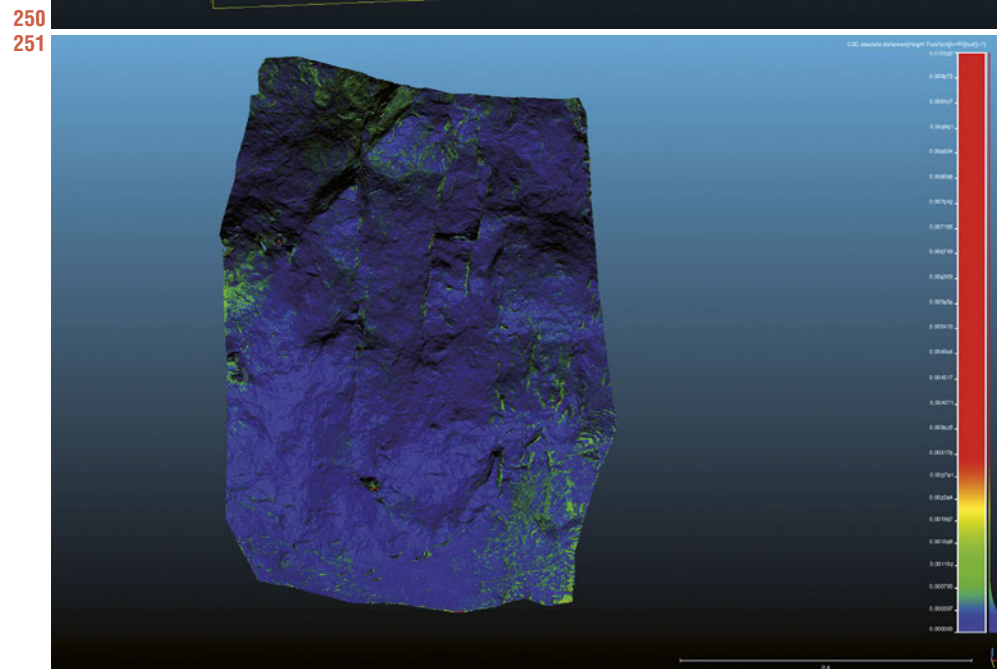
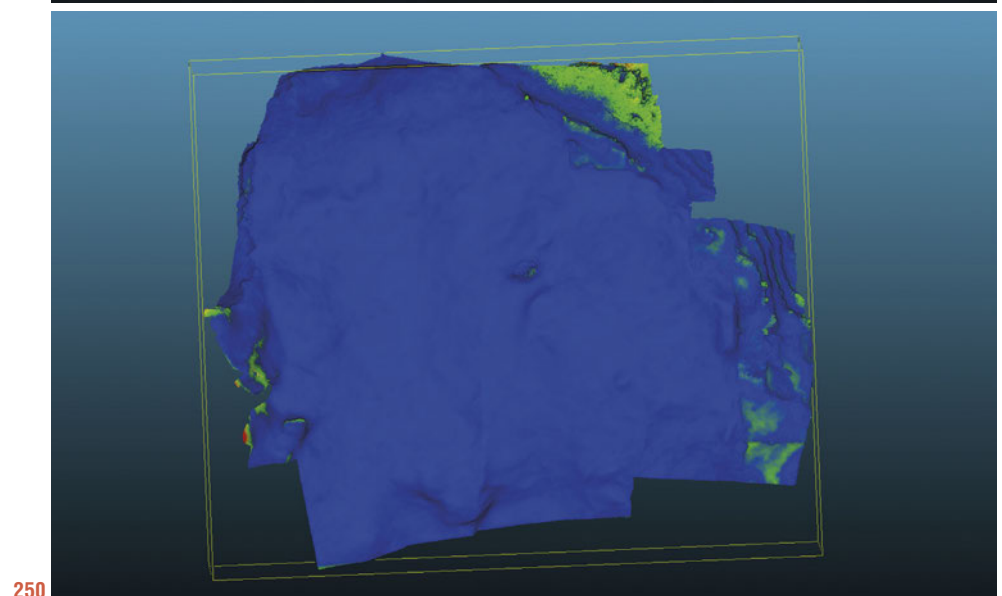
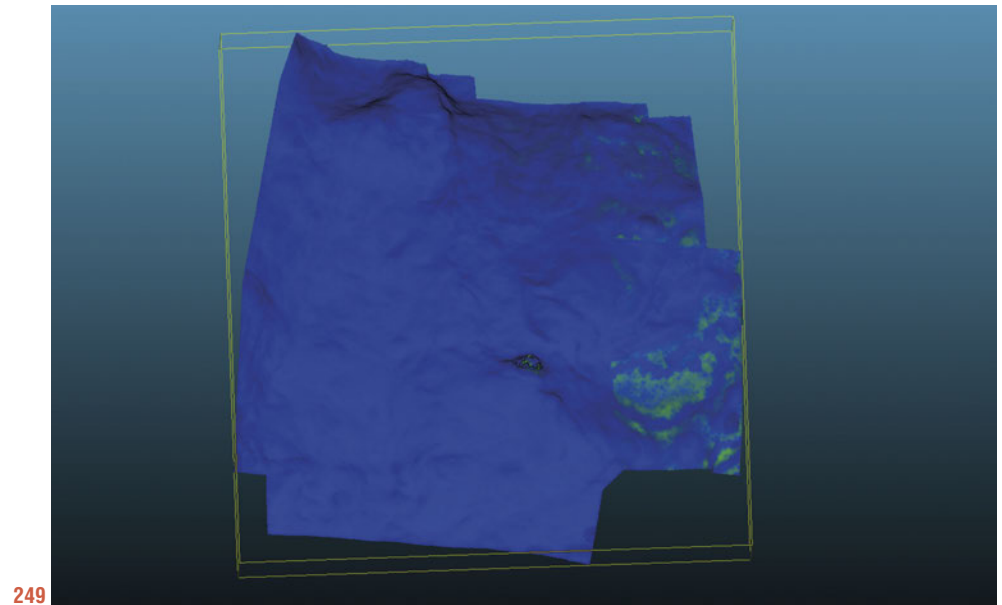
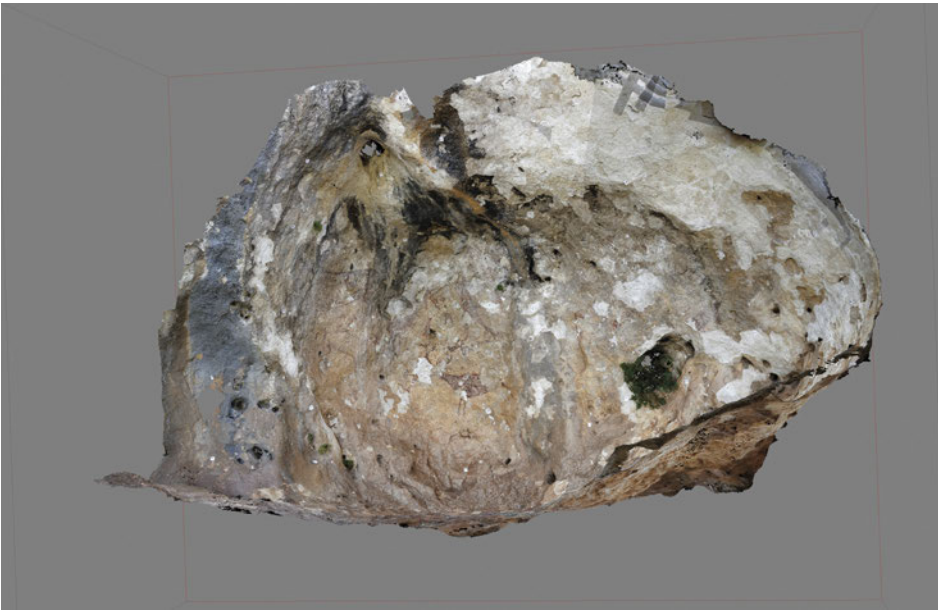


Figura 249. Comparativa entre febrero y mayo del sector izquierdo de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.

Figura 250. Comparación entre los modelos 3D de mayo y julio del sector izquierdo de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.

Figura 251. Comparación volumétrica de los modelos 3D de noviembre 2013 y enero 2014 de la parte izquierda de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.



252

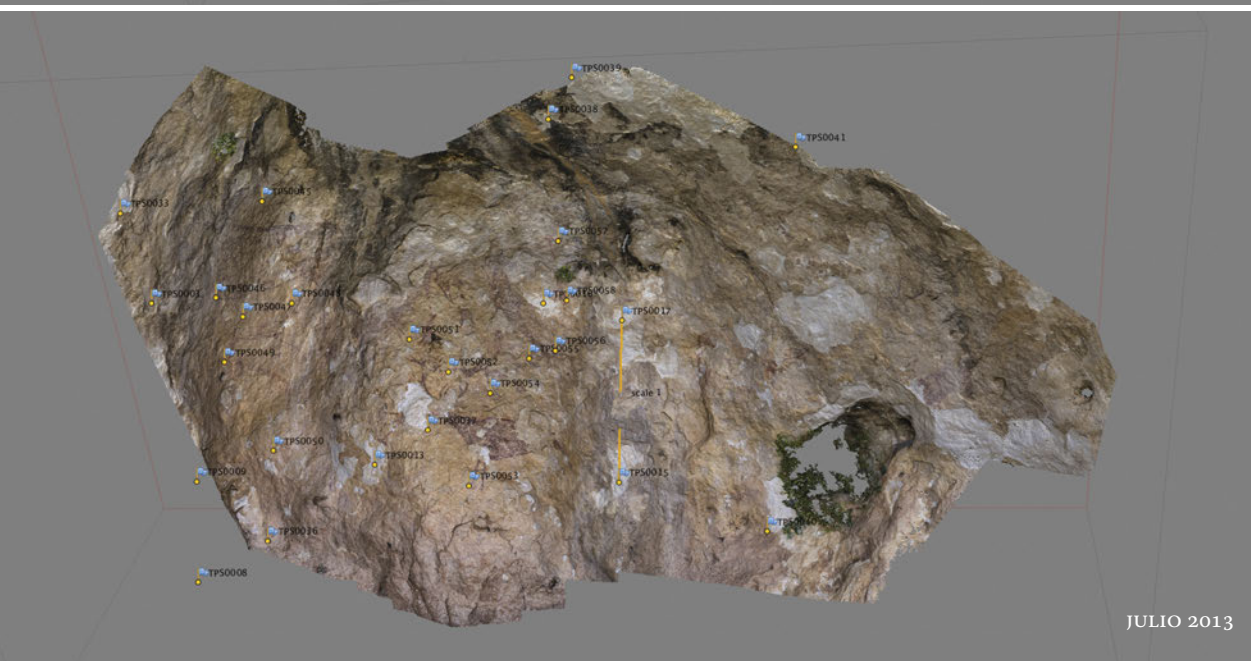
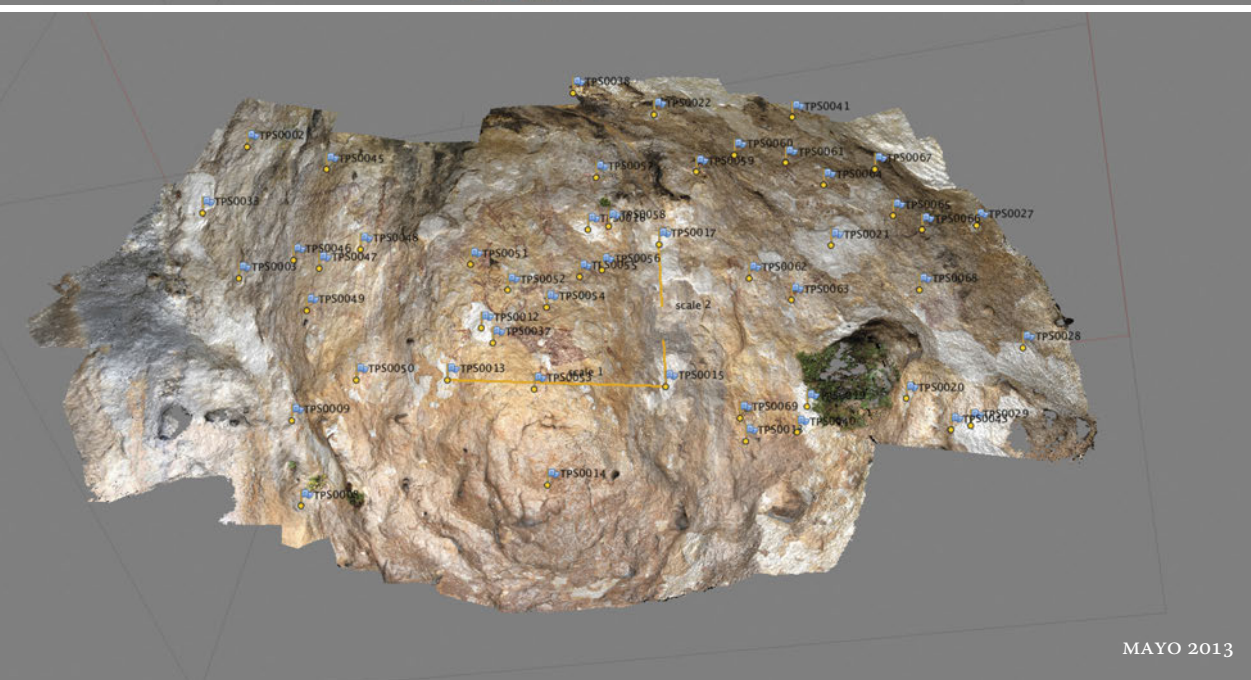
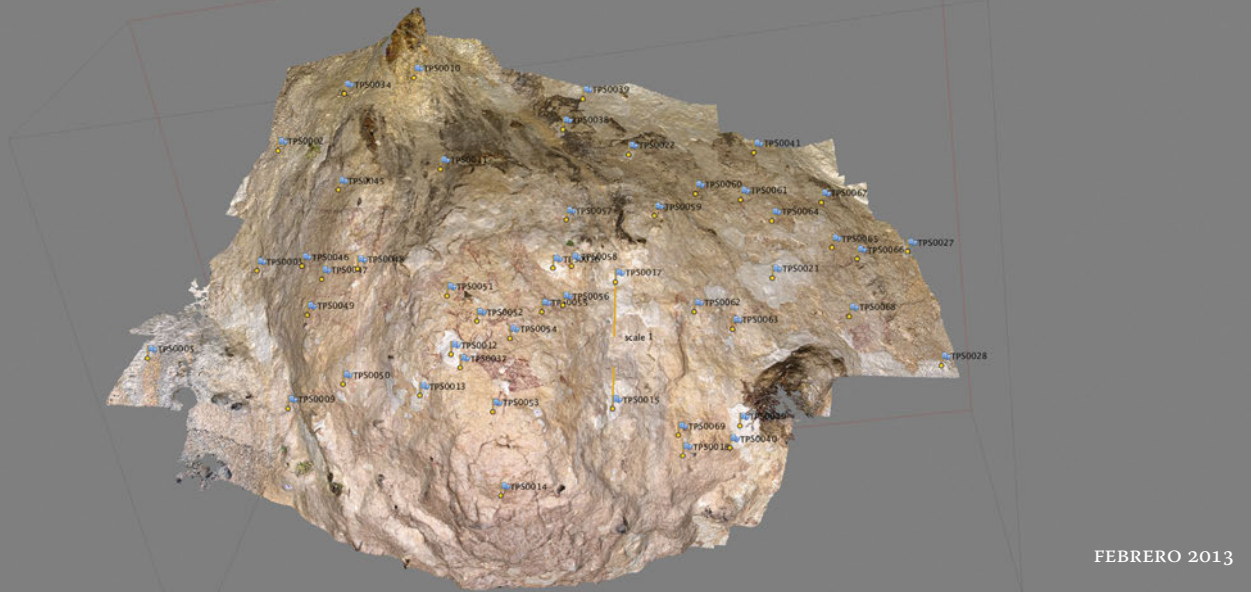
#### SOLANA DE LAS COVACHAS 6

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	89	1.824.832	17.819.071		0,166282	49	2,232	0,290439
Mayo	96	2.153.117	19.974.386	84.693.159	0,128773	48	2,034	0,695037
Julio	134	2.372.674	16.999.999	255.319.405	0,123959	20	1,341	0,101355
Noviembre	154	2.744.676	18.792.497	73.231.343	0,11918	32	1,573	0,089956
Enero	181	2.596.552	18.000.000	77.299.125	0,112338	32	1,303	0,157225

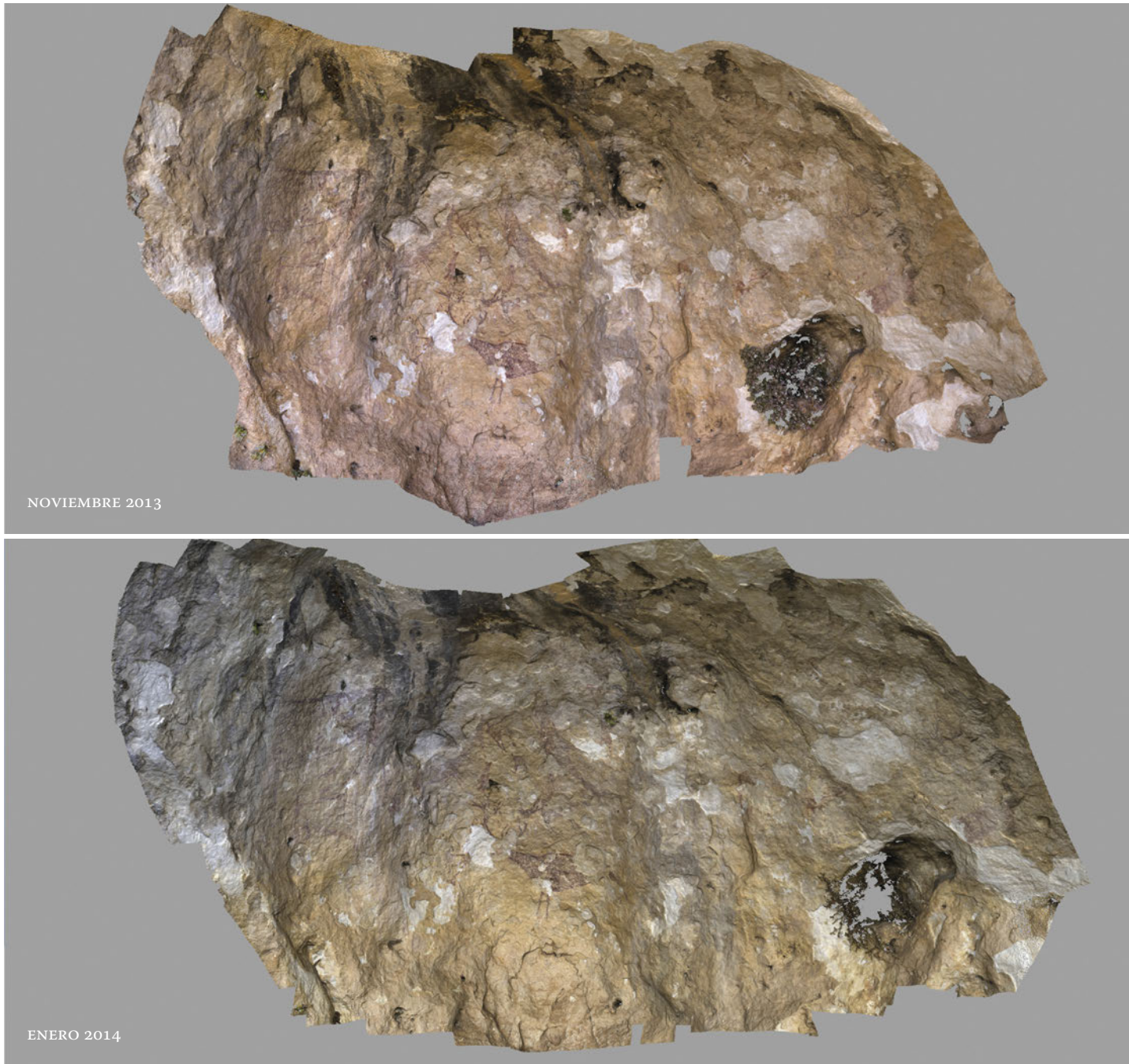
parte inferior derecha de ambos modelos. En este sector un taffoni natural de considerables dimensiones y colonizado por una planta rupícola produce una notable distorsión en la comparación. Las modificaciones identificadas corresponden en su totalidad al desarrollo de la vegetación presente en las paredes del abrigo. Como decimos la de mayor volumen y extensión se sitúa en la parte inferior derecha, pero no es la única; plantas más pequeñas, se distribuyen por varios puntos del panel, como se indica en la imagen. No se observan otros cambios en la comparación entre estos dos modelos.

La comparación entre mayo y julio arroja un resultado claramente distinto (Fig. 254). De nuevo los modelos ofrecen un bajo nivel de ruido lo que confirma que el alineamiento entre ambos sigue una distribución normal. *CloudCompare* identifica varias modificaciones, la mayoría debidas a la vegetación rupícola, pero también a alteraciones volumétricas del panel. Las primeras se sitúan en las mismas zonas identificadas en el periodo anterior, sólo que en esta ocasión se observa que el desarrollo de la vegetación ha alcanzado su culmen durante el inicio del verano, pudiendo establecerse su extensión por la comparación entre los dos modelos 3D (Fig. 255). Más preocupante es la detección de la pérdida de un fragmento de soporte en la zona del panel ocupada por las pinturas, en concreto, junto al registro gráfico 135 de Alonso (1980), un ciervo situado en la parte baja del panel. La pérdida de soporte tiene unas dimensiones aproximadas de

Figura 252. Modelo general 3D de la cavidad Solana de las Covachas VI, realizado con el material de julio de 2013. © J.F. Ruiz



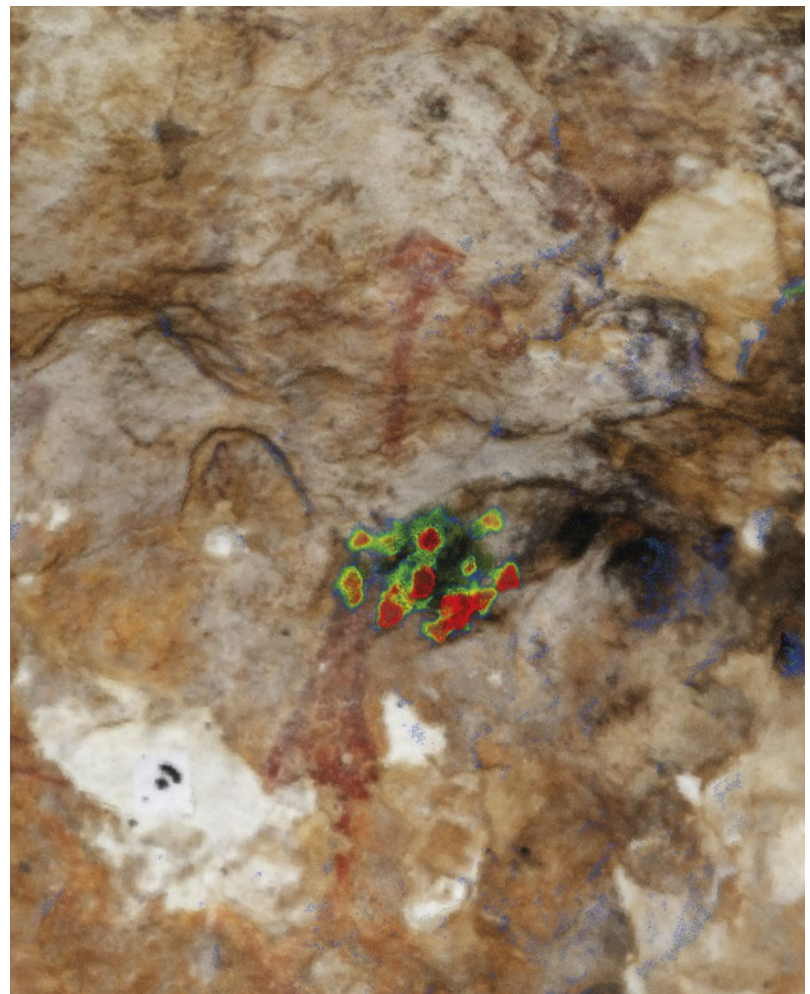
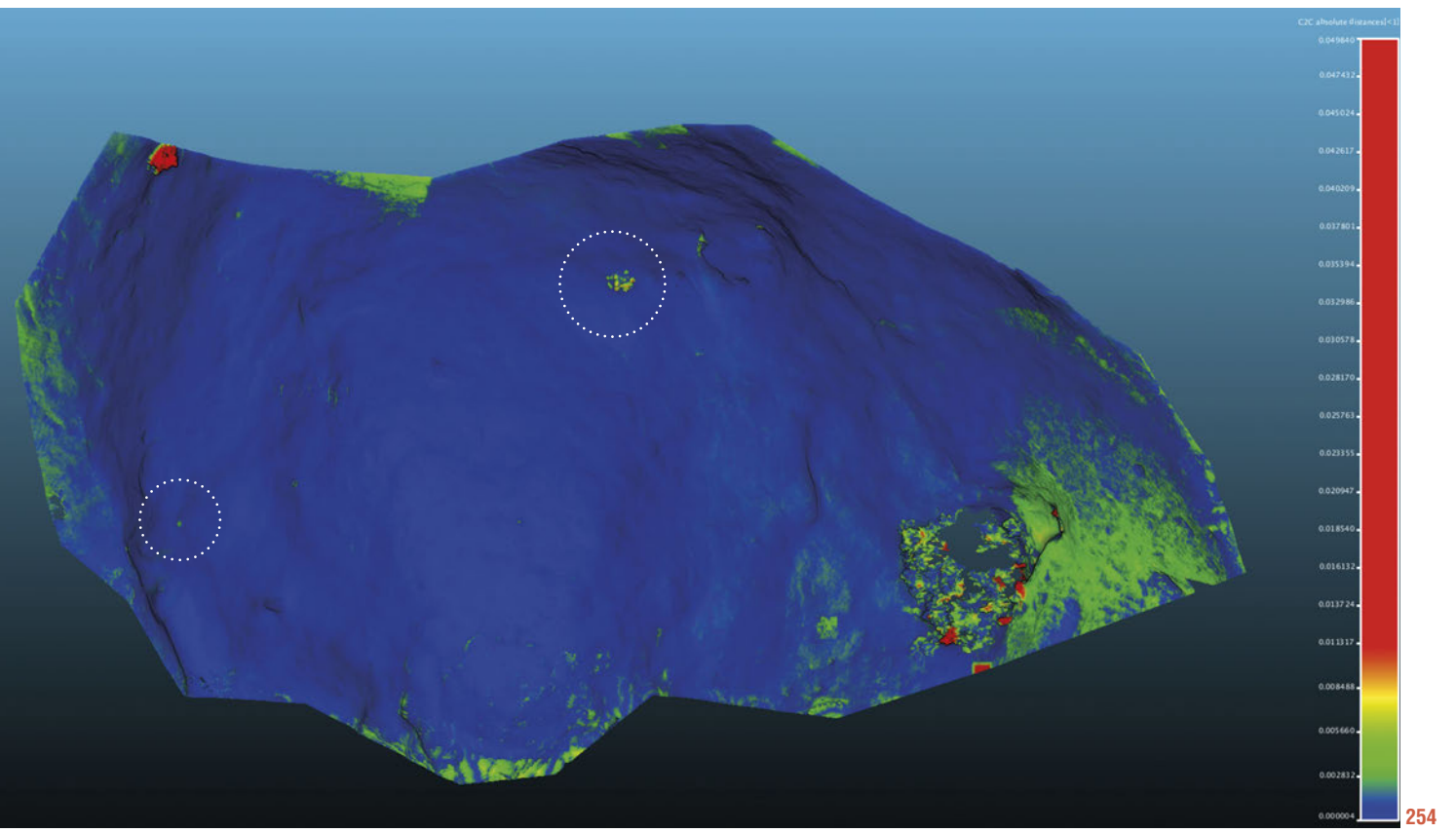




1,1 x 1,2 x 0,3 cm, y un volumen  $0,396 \text{ cm}^3$  (Fig. 256). Esta merma es especialmente preocupante ya que se ha producido a poco más de 7,5 cm de una pictografía, en un punto que ya presentaba pérdida de escamas anteriores, pero en la que no se observan restos de otras pinturas. En toda la zona las placas son frecuentes, bastantes afectando directamente a las pictografías; ahora hemos constatado que este proceso de deterioro está activo, aunque a día de hoy todavía no podemos establecer un ratio anual de alteración.

En la comparación entre los modelos de julio 2013 y noviembre 2013 (Fig. 257) se ha conseguido un buen ajuste, con un RMS de 0,0013. La distancia media entre ambos es de 0,0011 y la desviación

Figura 253. Modelos tridimensionales de cada una de las tres campañas de Solana de las Covachas VI. © J.F. Ruiz



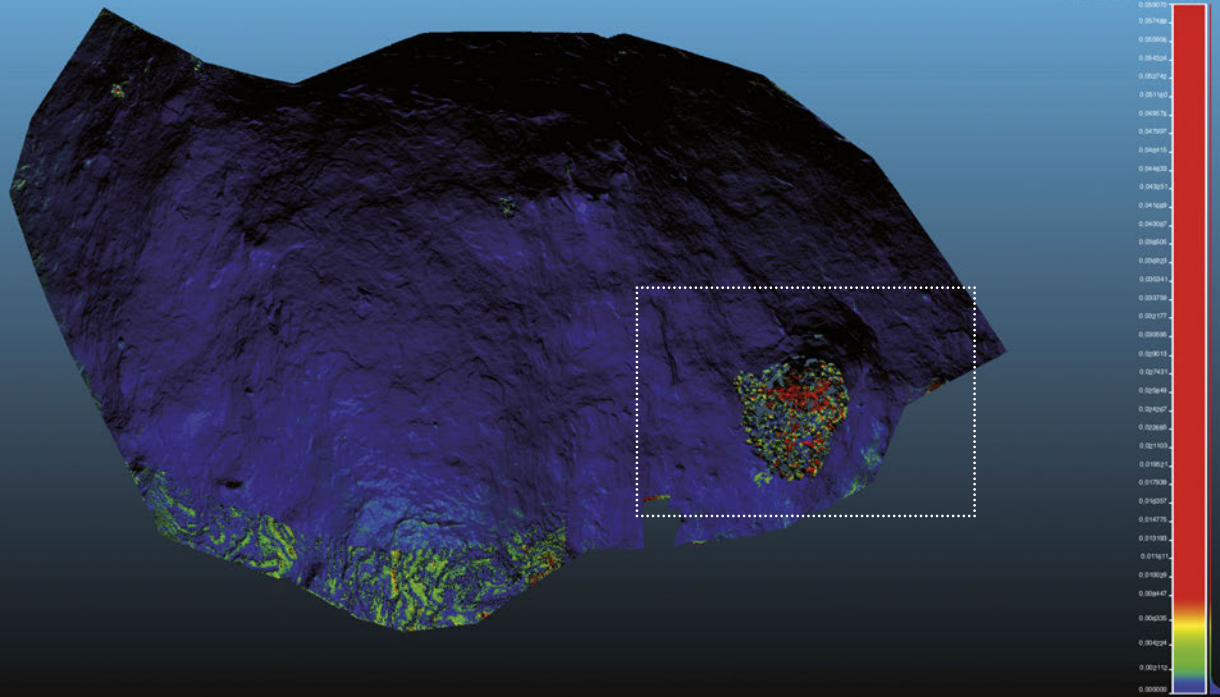
256



Figura 254. Comparativa entre mayo y julio de Solana de las Covachas VI. © J.F. Ruiz.

Figura 255. Comparación entre mayo y julio de la nube de puntos coloreada de Solana de las Covachas VI, en el que se puede apreciar el crecimiento (zonas amarillas y rojas) de las plantas en las inmediaciones del registro 159 (Alonso, 1980). © J.F. Ruiz.

Figura 256. Fotografías de detalle correspondientes a mayo (arriba) y julio (abajo) en las que se puede apreciar la pérdida de soporte detectada mediante *CloudCompare*. © J.F. Ruiz.



257



258

Figura 257. Comparativa entre julio y noviembre 2013 de Solana de las Covachas VI, con indicación de las zonas con cambios. © J.F. Ruiz.

Figura 258. Situación de la planta de *Rhamnus pumilus* en noviembre de 2013 en Solana de las Covachas VI. © J.F. Ruiz.

Figura 259. comparación entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 en Solana de las Covachas VI. © J.F. Ruiz.

Figura 260. Abajo izda.: Detalle 1 en el que se observan los notables cambios sufridos por la planta de *Rhamnus pumilus* en este período. © J.F. Ruiz.

Figura 261. Abajo dcha.: Situación de la planta de *Rhamnus pumilus* en enero de 2014 en Solana de las Covachas VI, en la que se aprecia que ha perdido todas sus hojas © J.F. Ruiz

estándar de 0,0030. Presentan una distribución normal, de acuerdo con la prueba del  $\chi^2$ . Durante este período no se ha identificado ninguna modificación de consideración en este abrigo. Las diferencias que se aprecian entre los modelos corresponden a áreas con el relieve no suficientemente definido, a zonas de sombra en el interior de pequeñas oquedades y al desarrollo de la vegetación (Fig. 257). En este sentido se puede apreciar tanto, un crecimiento en varias de estas plantas como un modelado mucho más preciso y completo en el modelo de noviembre (Fig. 258).

En el período comprendido entre noviembre 2013 y enero 2014 el ajuste es muy adecuado, como se deduce del RMS de 0,0014. La distancia media es de 0,00895 y la desviación estándar de 0,0024. De nuevo, la prueba del  $\chi^2$  señala que corresponden a una distribución normal de los

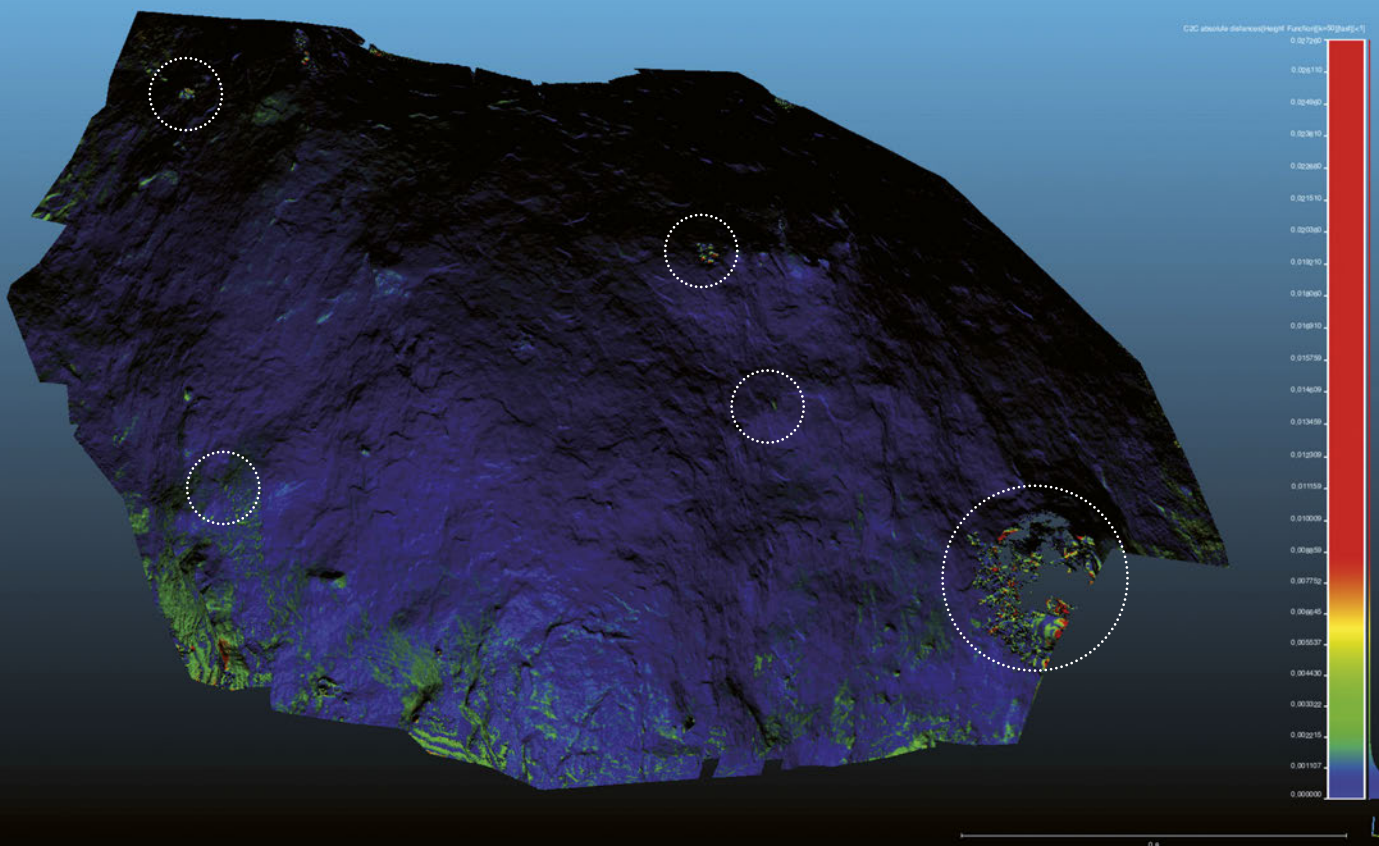


puntos, de lo que se deduce un nivel de ruido es bajo. Aparte de las consabidas variaciones en la vegetación, en la que la comparación efectuada ha identificado la pérdida de hojas acaecida en la planta de *Rhamnus pumilus*, y la disminución del tamaño de las matas de *Sarcocapnos enneaphylla* (Fig. 259-261), el único cambio registrado en este periodo corresponde a la muestra SC008 tomada en la zona de escorrentía situada en el centro del panel. Los análisis de dicha muestra se recogen en el apartado del estudio geológico.

Durante este periodo de monitoreo se han detectado multitud de factores de alteración preocupantes en Solana de las Covachas VI. La pérdida de soporte más importante se detectó durante la primera fase del proyecto y afectó a un área muy próxima a las pinturas rupestres, por lo que se ha recomendado vivamente una actuación de consolidación de todo el panel antes de que alguna de las pictografías sufra una mutilación irreversible. Por lo demás, el panel está muy afectado por diversos tipos de actividad biológica, destacando las plantas superiores de desarrollo anual que deberían ser eliminadas con prontitud para que no sigan constituyendo otro proceso de alteración que pueda poner en riesgo el arte prehistórico preservado aquí.

#### 4.4.1.4. Detección de cambios volumétricos globales en Solana de las Covachas VI

En Solana de las Covachas, zona VI, el RMS logrado es de 0,0017. La distancia media es de 0,00086 y la desviación estándar de 0,0010. El resultado (Fig. 262) permite identificar las dos pérdidas de soporte identificadas, la producida entre mayo y julio de 2013 y la producida por la toma de muestras de noviembre 2013. Además se observan algunos de los cambios de la



vegetación, pero en este caso de forma poco acusada, ya que corresponden a la misma estación del año y las plantas muestran un volumen similar. Estos resultados demuestran que con esta metodología se puede cuantificar el volumen de pérdidas producidas en el soporte en un período de tiempo, y que para un control del ciclo anual de desarrollo de la vegetación lo idóneo es realizar análisis a más corto plazo.

#### 4.4.2. Fotografía gigapíxel

En Solana de las Covachas disponemos únicamente de los calcos completos realizados por Anna Alonso (1980). Estos calcos son muy precisos, por lo que constituyen una buena referencia para conocer el estado de estas pinturas rupestres 20 años después de su descubrimiento.

Las únicas versiones alternativas que hemos podido consultar se deben a Mériac (Walker, 1970). Son dibujos a mano alzada de indudable calidad, pero poco útiles como registro de la situación del conjunto. Además sólo se publicaron fragmentos de Solana VI.

En el caso de Solana de las Covachas zona III, los gigapanes se realizaron exclusivamente sobre el sector central del panel. En la parte izquierda Alonso (1980) documentó cuatro registros gráficos, mientras que en la parte derecha hay un número más importante de pictografías levantinas, fundamentalmente antropomorfos filiformes y zoomorfos. Esta última parte no se ha documentado con gigapan porque resulta imposible el estacionamiento del equipo; este grupo de pictografías se sitúan sobre el límite de la cavidad, y además muy próximas a la reja, con lo que no hay espacio físico para la ubicación del trípode y del conjunto de *Gigapan Epic Pro* y cámara. La comparación entre el calco de Alonso (1980) y la imagen gigapíxel indica que no ha habido cambios ni pérdidas de zonas con pictografías desde 1980 hasta hoy, o al menos que no las hemos podido detectar.

El tratamiento *DStretch* ha permitido identificar varios elementos gráficos no incluidos en dicho calco. Se sitúan en el centro del panel a la izquierda del motivo 48 y a la derecha del 42. En la parte inferior de este sector se aprecian un par de líneas finas que deben relacionarse con el motivo 60, así como varias líneas bajo la figura 59 y entre ésta y la 68. También se observa una mayor extensión del arco y flechas situado bajo las pezuñas traseras de la figura 21. Por último, se aprecian restos de pigmento a la derecha de la figura 27, junto a una pérdida de escama poco patinada.

En el caso de la zona VI, tampoco se aprecian pérdidas de la superficie pintada. En *DStretch*, sólo hemos observado una par de zonas con restos de pintura no documentados en el calco de Alonso (1980). Ambas se sitúan en la zona derecha; por encima del motivo 166 existen varios trazos finos, dos de ellos convergentes, en color rojo, y a la altura del motivo 161, unos centímetros a la derecha de la cabeza se observa una línea ancha e irregular de coloración rojiza oscura. En esta zona de Solana de las Covachas es posible apreciar con claridad la distorsión que se puede llegar a generar en las imágenes gigapíxel con fotografías panorámicas que cubren una superficie que no es plana.



Figura 262. Comparación volumétrica entre los modelos 3D de febrero 2013 y enero 2014 de Solana de las Covachas VI, con indicación de las alteraciones detectadas en esta comparación © J.F. Ruiz.

Figura 263. Calco del sector izquierdo de Solana de las Covachas III, según Alonso (1980).

**SOLANA DE LAS COVACHAS, ZONA III**

<b>Panel</b>	Zona III, 07/13	Zona III, 11/13
<b>Fecha</b>	05/07/2013	11/11/2013
<b>Autor</b>	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
<b>Dimensiones pixeles</b>	50964 x 26663	45426 x 23417
<b>Proyección</b>	Hammer	Cilíndrica
<b>Fotografías usadas</b>	234	176
<b>Cámara</b>	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D
<b>Objetivo</b>	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM
<b>Autor DStretch</b>	Elia Quesada	J.F. Ruiz
<b>Transformación</b>	cb+flat 2.5+yxx(yrd); y:2.5; u:0.10;v:0.9 +20°	LDS 12.5, 16°, Auto contrast, PS sat -11





**SOLANA DE LAS COVACHAS, ZONA VI**

<i>Panel</i>	Zona VI, 07/13	Zona VI, 11/13
<i>Fecha</i>	05/07/2013	29/01/2014
<i>Autor</i>	Juan F. Ruiz	Juan F. Ruiz
<i>Dimensiones pixeles</i>	73857 x 32215	65624 x 29677
<i>Proyección</i>	Cilíndrica	Hammer
<i>Fotografías usadas</i>	253	260
<i>Cámara</i>	Canon EOS 7D	Canon EOS 7D
<i>Objetivo</i>	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM	Canon EF 100 mm f/2.8 macro USM
<i>Autor DStretch</i>	Juan F. Ruiz	J.F. Ruiz
<i>Transformación</i>	LDS	LDS 15, 16°, Auto contrast, PS sat -7, amarillo -5



Figura 264. Fotografía panorámica gigapixel del paisaje en el que se sitúa el conjunto rupestre de Solana de las Covachas, con la pedanía de Pedro Andrés al fondo. © J.F. Ruiz



Figura 265. Fotografía panorámica gigapixel del sector central de Solana de las Covachas III, fase 1. © J.F. Ruiz



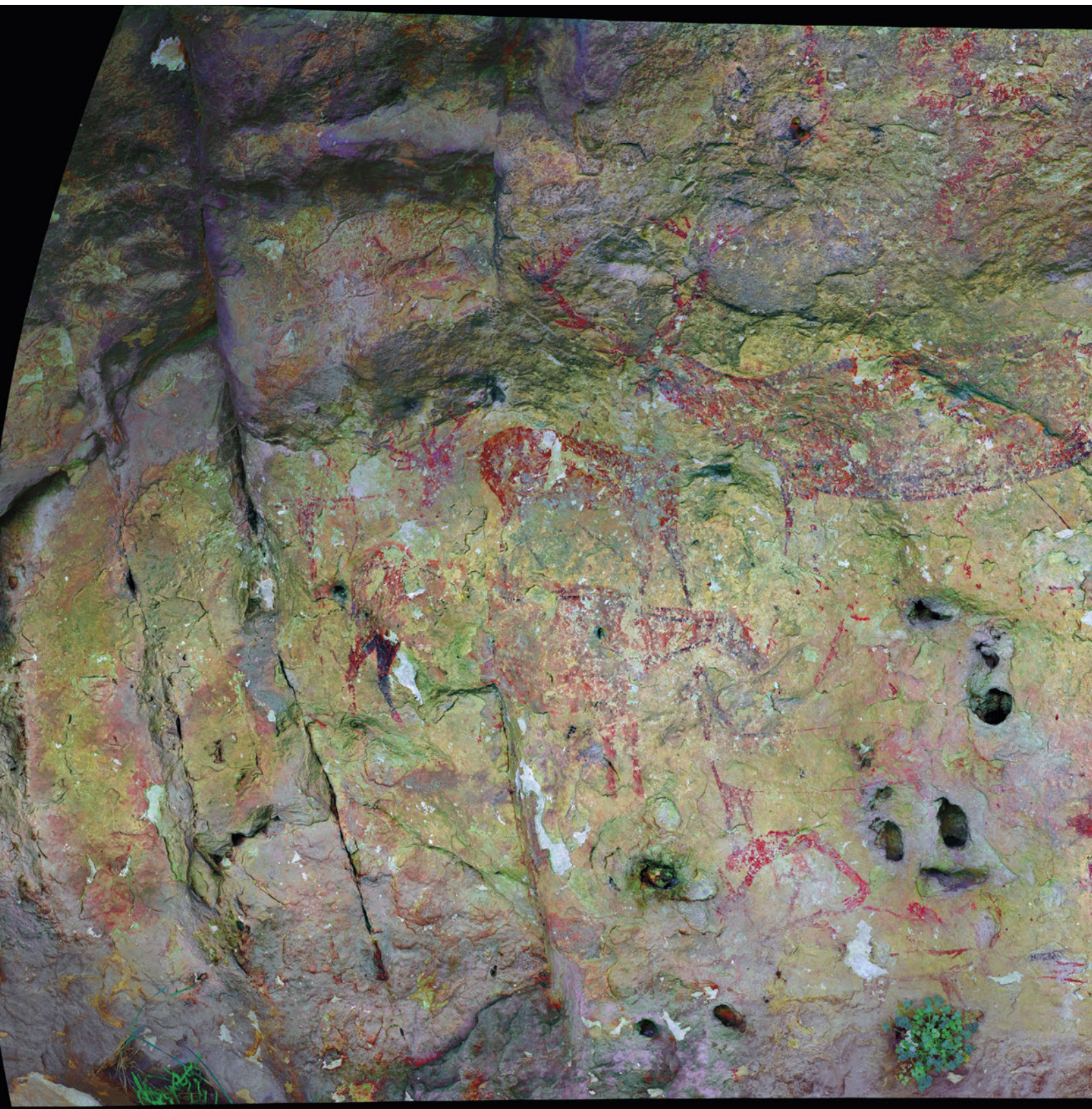


Figura 266. Fotografía panorámica gigapíxel tratada mediante *DStretch* del sector central de Solana de las Covachas III, fase 1. © E. Quesada.

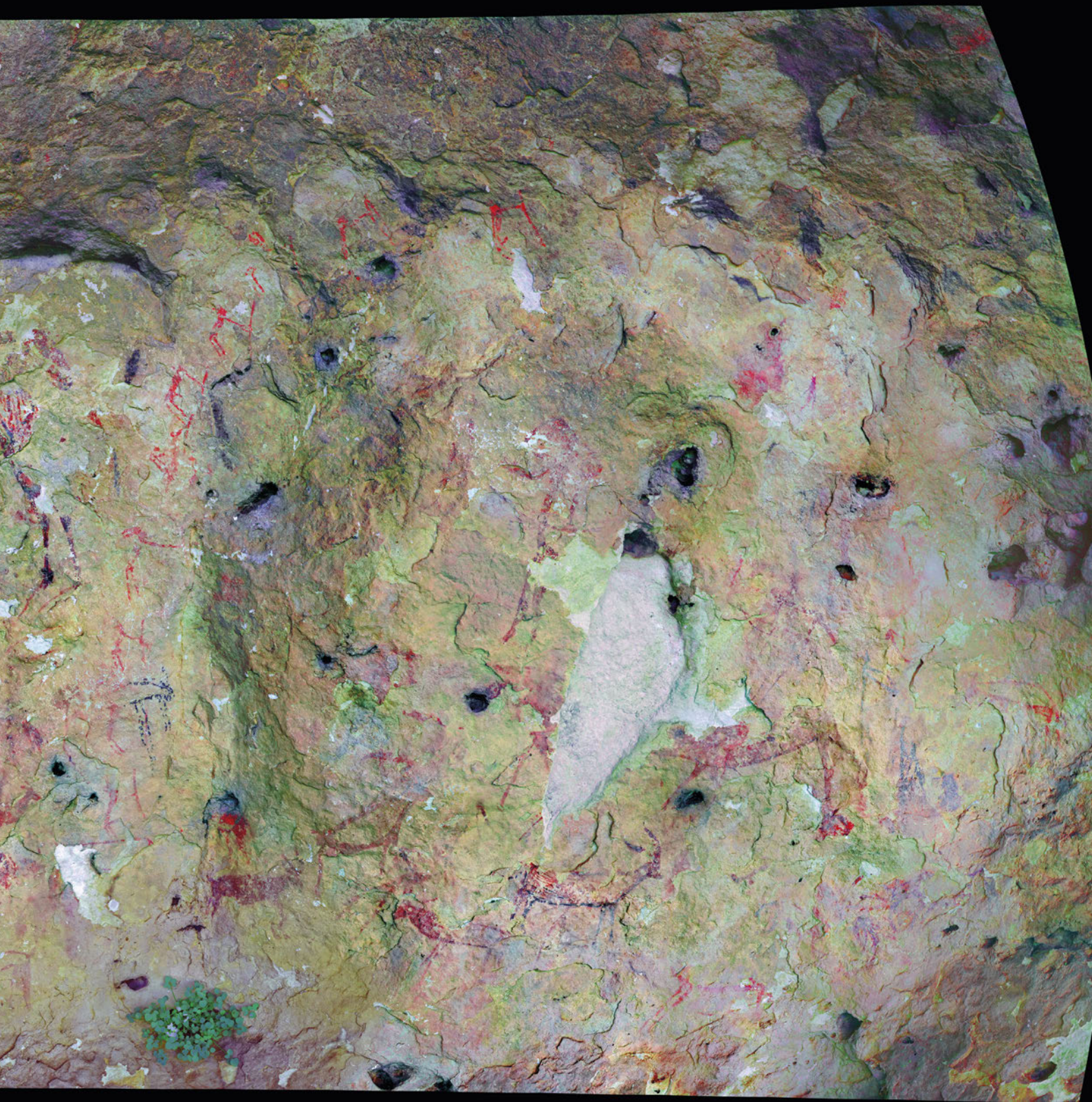






Figura 267. Fotografía panorámica gigapixel tratada mediante DStretch del sector central de Solana de las Covachas III, fase 2. © J.F. Ruiz





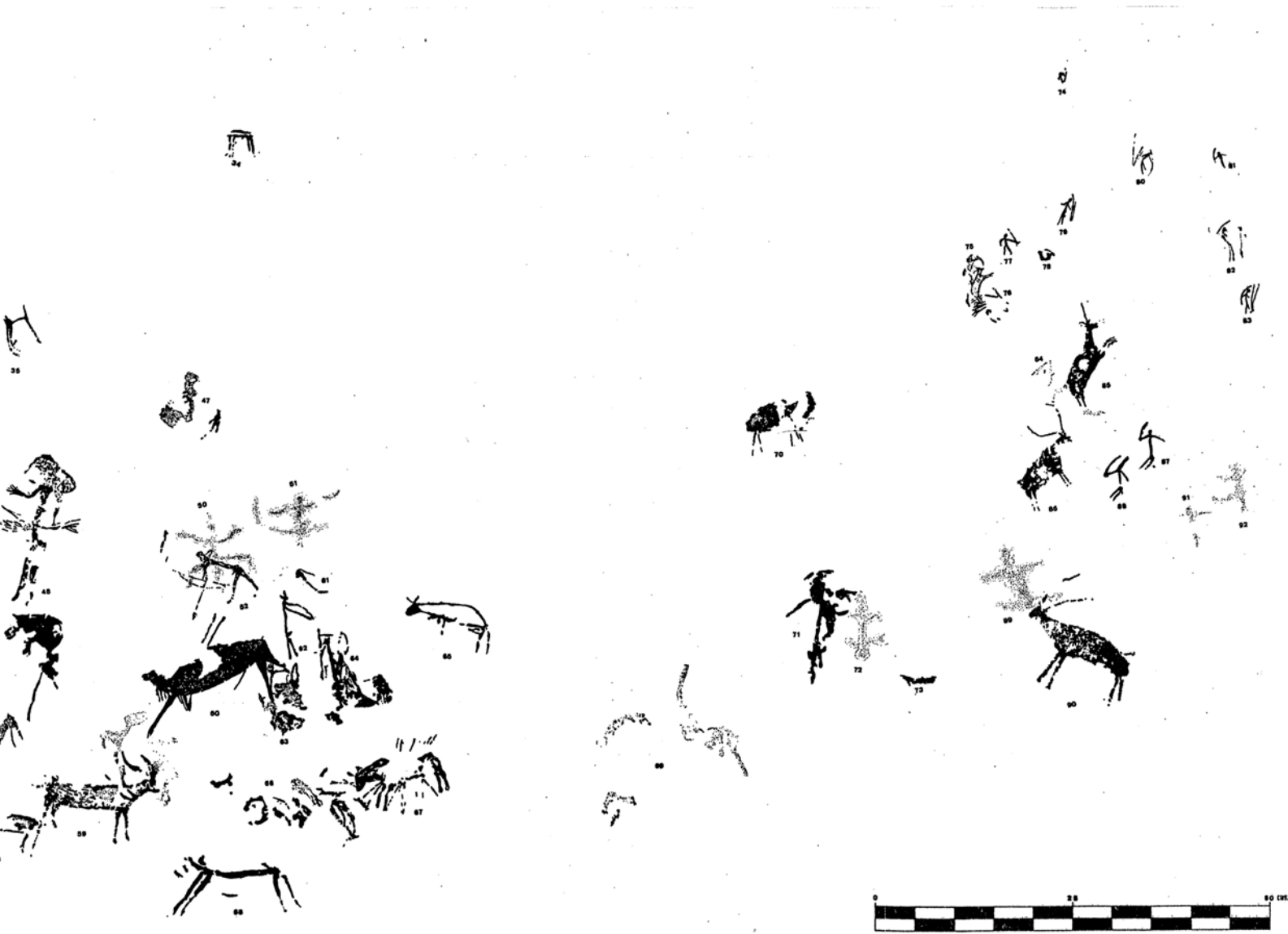


Figura 268. Calco del sector central y derecho de Solana de las Covachas III (Alonso, 1980).





Figura 269. Fotografía gigapixel de Solana de las Covachas VI, fase 1. © J.F. Ruiz

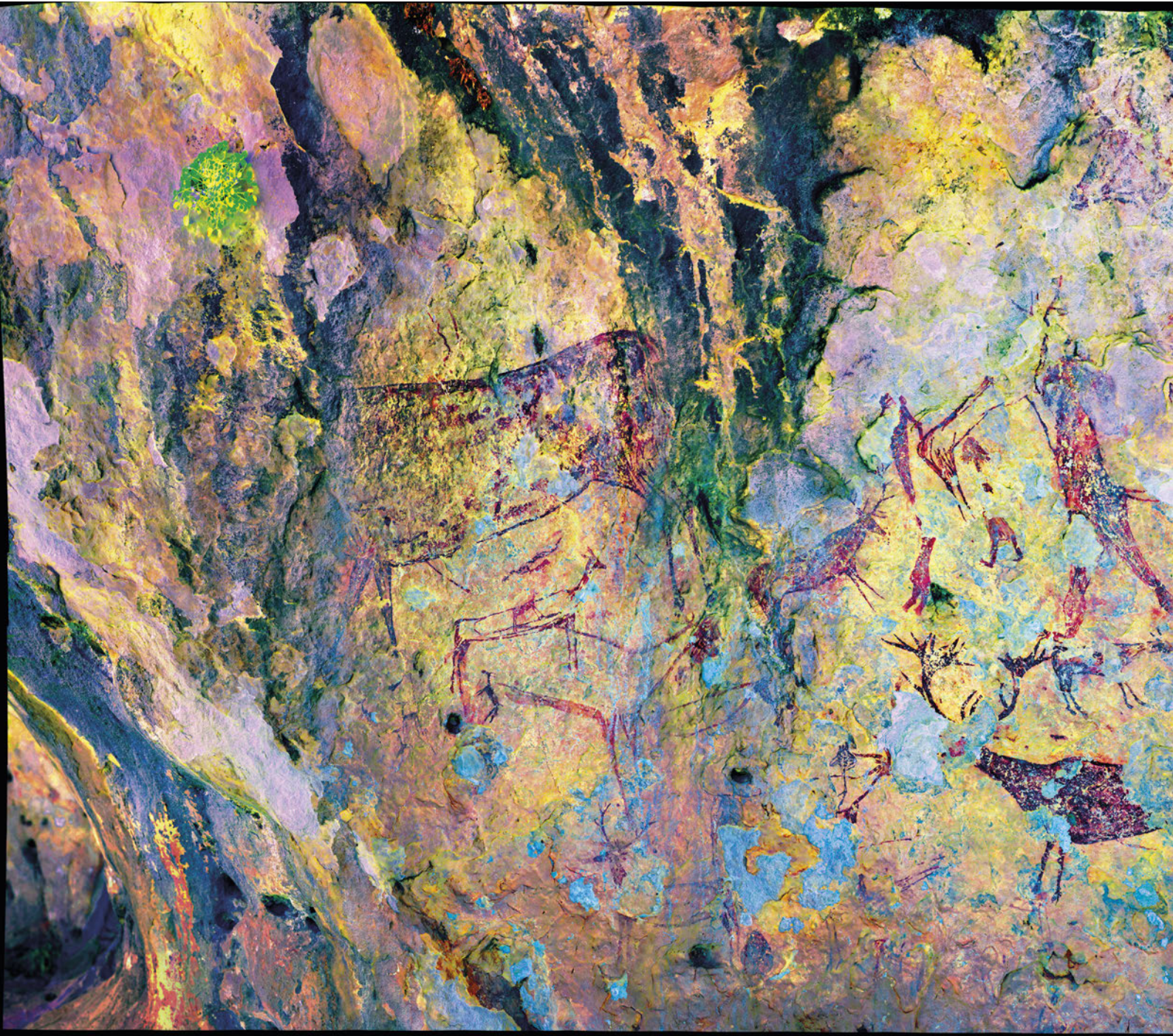




Figura 270. Fotografía panorámica *DStretch* de Solana de las Covachas VI, fase 1.  
© J.F. Ruiz



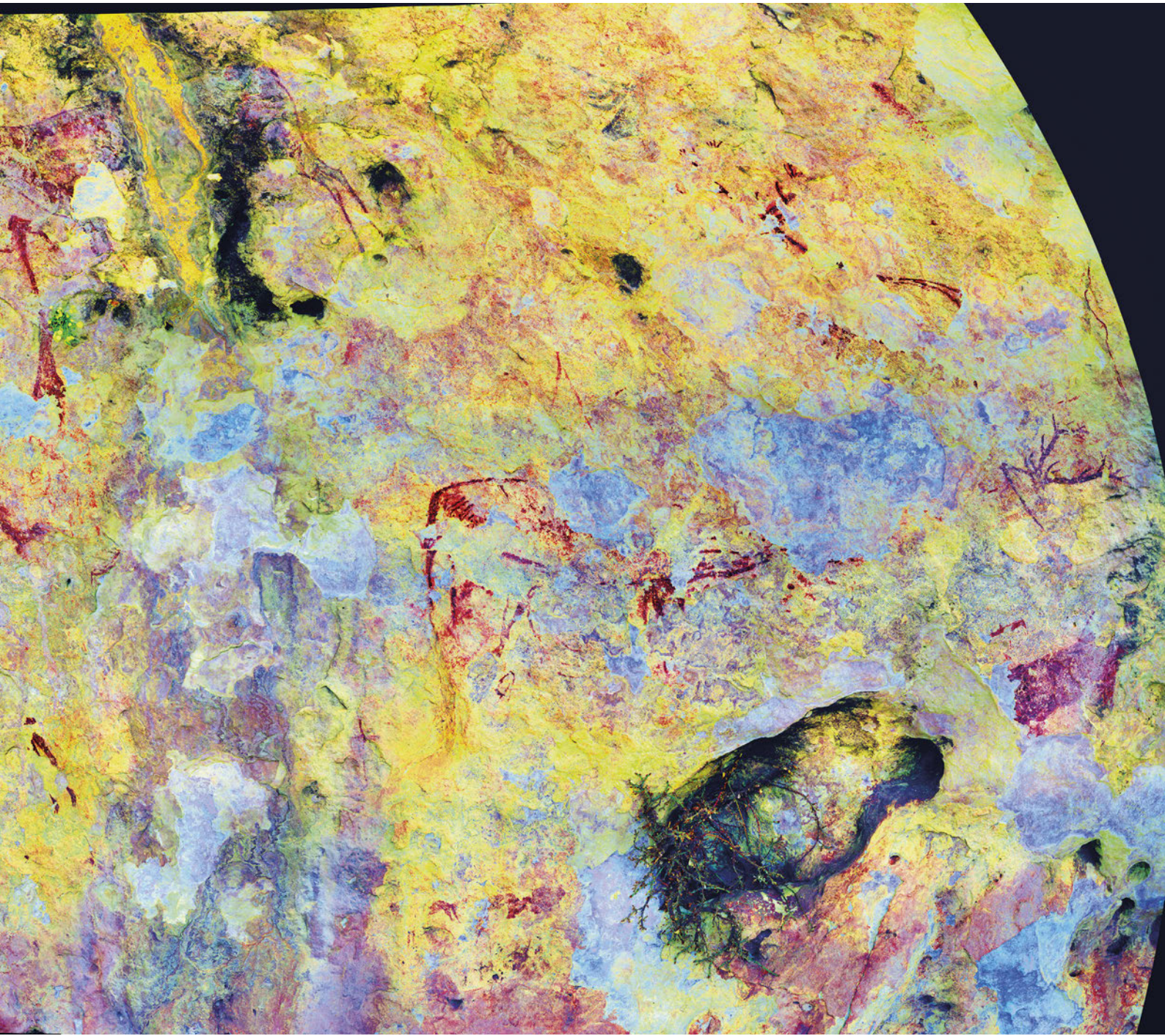


Figura 271. Fotografía panorámica *DStretch* de Solana de las Covachas VI, fase 2.  
© J.F. Ruiz



Figura 272. Calco de Solana de las Covachas VI (Alonso, 1980)





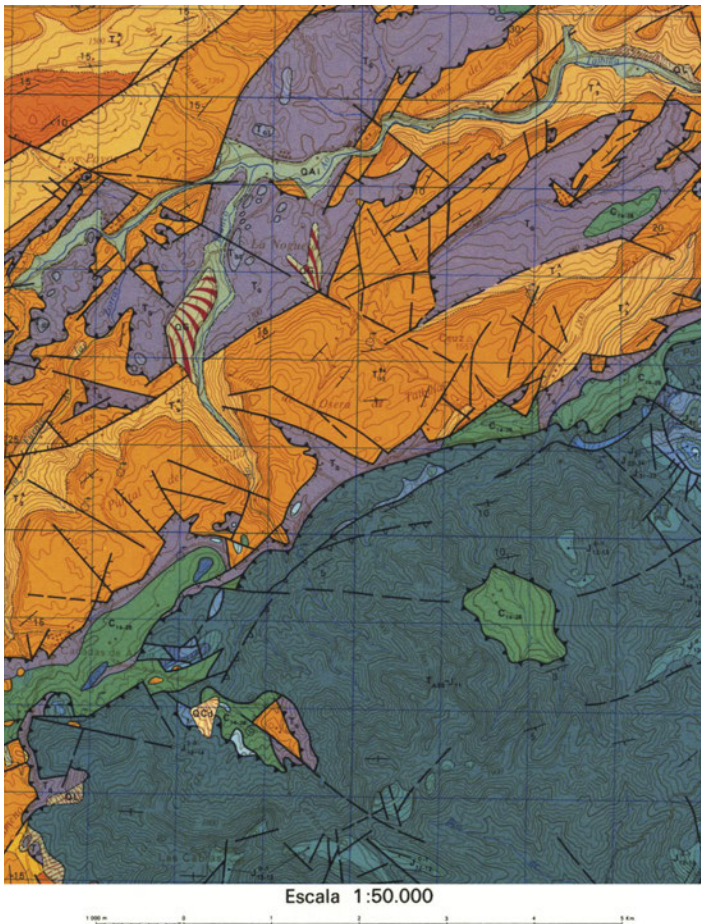
### 4.4.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico

Estamos ante un abrigo pintado en el que la actividad físico-química es acusada con la presencia de grietas que pueden alterar la estabilidad del soporte y de pérdidas de escamas de gran tamaño a lo largo de todo el panel. Se documenta igualmente, el desprendimiento de una gran placa a partir de la figura 31 (según el calco de Alonso, 1980) en la parte central del abrigo, que afecta directamente a la conservación de varios motivos.

La principal actividad biológica consiste en la presencia de vegetación activa concentrada en la parte baja del panel durante las tres campañas de toma de datos.

Existen, igualmente, alteraciones de origen antrópico que repercuten de manera directa en la conservación, por ejemplo, la presencia de cemento usado para la sujeción de las rejas que cierran el abrigo. A nivel diacrónico y de acuerdo a la unidad mínima cartografiada no se han documentado cambios que reseñar.

273



#### 4.4.3.1. Contexto geológico

Los abrigos de Solana de las Covachas se encuentran en un promontorio calizo situado junto a la vaguada por la que originalmente discurría el curso de la fuente del Taibilla, y actualmente el camino hacia el Cortijo de la Noguera / Pedanía de Pedro Andrés. Dicho promontorio está entre las Sierras de las Cabras y Taibilla, a continuación de las Sierras de Alcaraz y Segura.

Los autores del mapa geológico y la memoria asociada de la hoja de Nerpio (IGME, Mapa Geológico de España, Hoja 909, Fig. 273) definen la formación como “Calizas bioclásticas y/o areniscas” ya que en otras localidades estas calizas bioclásticas pueden ser areniscas calcáreas con un contenido en terrígenos bastante notable y en otros puntos llegan a ser calizas de algas, en particular hacia el Sur. Se estima que la edad de estos materiales sea del Mioceno Inferior (Aquitaniense–Burdigaliense) ya que se colocan por debajo de las margas y limolitas blancas del Burdigaliense–Langhiense.

Desde el punto de vista petrográfico, esta formación puede definirse como un *mudstone/wackstone* (según Dunham 1962).

#### 4.4.3.2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo

Tal y como se constató en la primera fase del proyecto, éstas son unas cavidades notablemente afectadas por la acción erosiva de distintos agentes, ya sean atmosféricos,

Figura 273. Mapa geológico de los alrededores de los abrigos de Solana de las Covachas (modificado de Mapa Geológico de España, Hoja 909 IGME). En naranja aparecen los materiales correspondientes a la formación que compone los abrigos.

biológicos y/o antrópicos. Todos ellos afectan directamente a las pinturas, provocado la pérdida de parte de las figuras, el desvanecimiento de los motivos, etc.

En este sentido Solana de las Covachas III se caracteriza por la presencia generalizada de un recubrimiento negruzco en la parte superior de la cavidad. Asimismo, la presencia de grietas es muy acusada, lo que podría llegar a alterar la estabilidad del soporte. Se documentan además procesos de descamación y desplazación a lo largo de todo el panel y en especial a la parte central del mismo, que afecta directamente a la conservación de los motivos.

Por su lado, en Solana de las Covachas VI la presencia de indicadores visuales de alteración está documentada a lo largo de todo el panel (aproximadamente un 40% de la superficie total presenta alguna afección). En este caso, se aprecian tanto modificaciones superficiales (entre los que cabe destacar: a) coladas de agua que afectan de manera directa a las pinturas; b) presencia generalizada de un recubrimiento negruzco en el techo de la cavidad; c) presencia generalizada de recubrimientos anaranjados), así como disyunciones (en este caso predomina la separación en placas).

Se documenta la presencia de plantas superiores con una actividad constante e intensa (Fig. 222-224) en ambos casos<sup>15</sup>. Es importante destacar además la presencia de algas endolíticas en Solana de las Covachas VI (Figuras 225-226). En cuanto a la acción antrópica, no se aprecian alteraciones directas sobre los paneles pero sí es de destacar la pátina provocada por el roce de pisadas y palpación directa en la plataforma de apoyo de ambos abrigos y la presencia de cemento usado para la sujeción de las rejas que cierran la cavidad nº III.

La presencia de espeleotemas en estas cavidades es notable (Figura 229), lo que sugiere que el agua ha tenido o está teniendo un papel importante.



274  
275



276



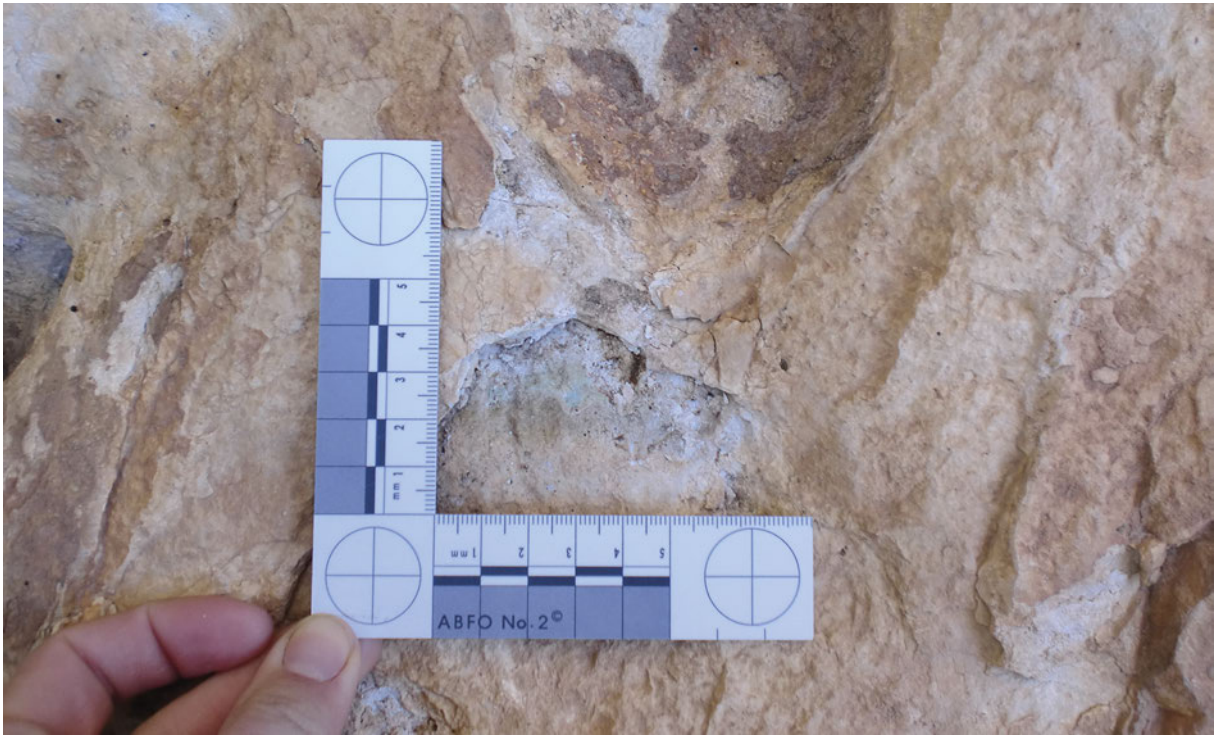
Figura 274. Ejemplar de *Hypericum ericoides*.  
© À. Pitarch.

Figura 275. Ejemplar de *Rhamnus pumilus*.  
© À. Pitarch.

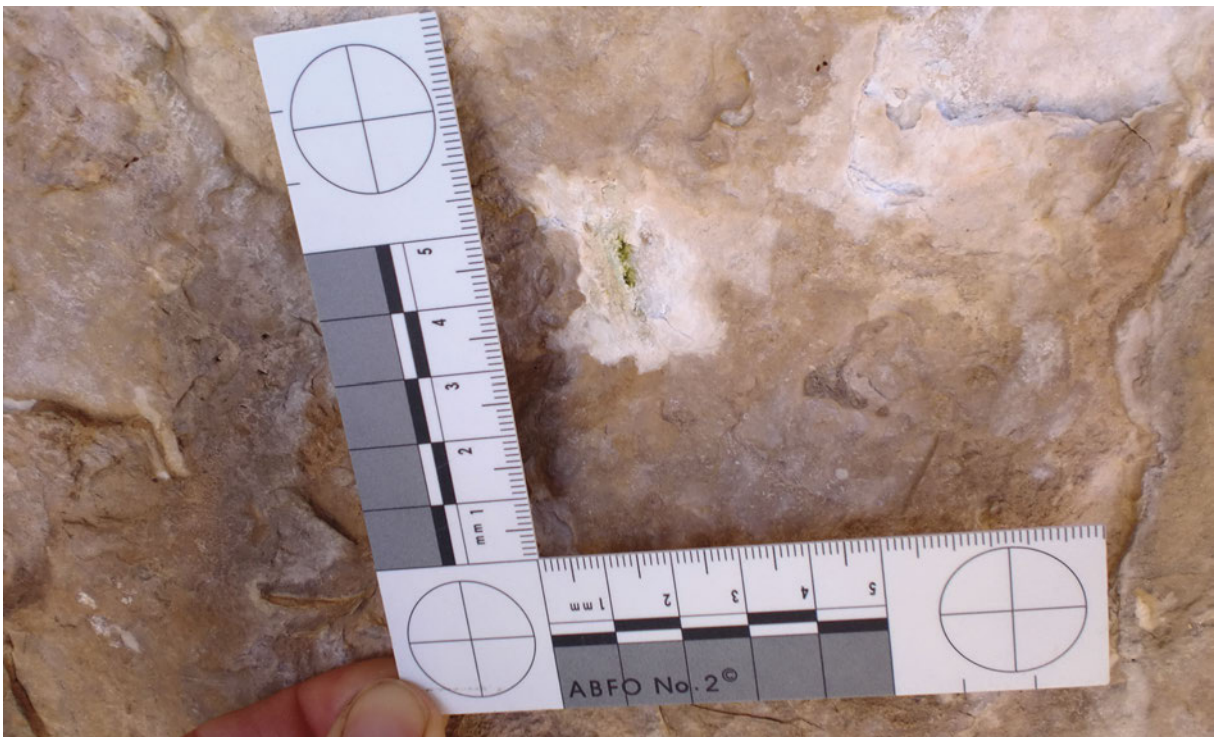
Figura 276. Ejemplar de *Teucrium rotundifolium*.  
© À. Pitarch.

.....

<sup>15</sup>. Agradecemos la colaboración del Dr. Josep Girbal Lladó (GRAPAC – Grup de Recerca Aplicada al Patrimoni Cultural, Dpto. de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología) para la identificación de las especies vegetales.



277



278

Figura 277. Presencia de algas cascómfitas. Nótese el color azulado de la roca, lo que indica la presencia de dicho individuo en profundidad. © À. Pitarch.

Figura 278. Presencia de algas cascómfitas en Solana de las Covachas VI. El individuo se descubrió después de muestrear una de las pátinas (SC008). © À. Pitarch.

#### 4.4.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial

Se han seleccionado un total de seis muestras de los productos de alteración para su descripción químico-mineralógica detallada teniendo en cuenta sus características organolépticas y su localización (Tabla 6).

SC001

SC002

SC003



50 cm

279

SC006

SC009

SC008

50 cm

280

El estudio químico-mineralógico de las muestras pone de manifiesto la existencia de un abanico muy amplio y complejo de casuísticas, con la presencia de recubrimientos de distinta morfología y textura superficial, así como con estratigrafías muy diversas. En este sentido, de la observación de las muestras mediante la lupa y microscopía óptica polarizada (MOP) (anexos 16-21)<sup>16</sup> se

.....  
<sup>16</sup> Disponible en la versión digital, descargable en <http://www.cuadernosdearterupestre.es/arterupestre/libro4D.pdf>

Figura 279. Ortofoto del sector derecho de Solana de las Covachas III con indicación de los muestreos efectuados para análisis geológico. © J.F. Ruiz.

Figura 280. Ortofoto de Solana de las Covachas VI con zonas de muestreo. © J.F. Ruiz

TABLA 14. RELACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS DE LOS ABRIGOS III Y VI DE SOLANA DE LAS COVACHAS

Referencia	Fotografías	Descripción
SC001	Figura 281 Figura 282 Anexo 16	RECUBRIMIENTO NEGRO  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color negro, de grosor considerable y con buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> mirando al panel, franja superior, parte izquierda del abrigo
SC002	Figura 283 Figura 284 Anexo 17	RECUBRIMIENTO NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color anaranjado, de poco grosor, muy compacto y buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> mirando al panel, a una altura media, parte izquierda del abrigo
SC003	Figura 285 Figura 286 Anexo 18	RECUBRIMIENTO GRIS-NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color gris – anaranjado, de muy poco grosor, muy continuo y con buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> mirando al panel, en la base de la parte izquierda del abrigo
SC006	Figura 287 Figura 288 Anexo 19	RECUBRIMIENTO NEGRO  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color negruzco, de poco grosor y con relativa buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> mirando al panel, techo parte derecha del abrigo
SC007	Figura 289 Figura 290 Anexo 20	RECUBRIMIENTO NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color anaranjado, con un grosor considerable, muy compacta y buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> parte central del panel
SC008	Figura 291 Figura 292 Anexo 21	RECUBRIMIENTO GRIS  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color grisáceo, de grosor considerable y con buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> parte central del panel

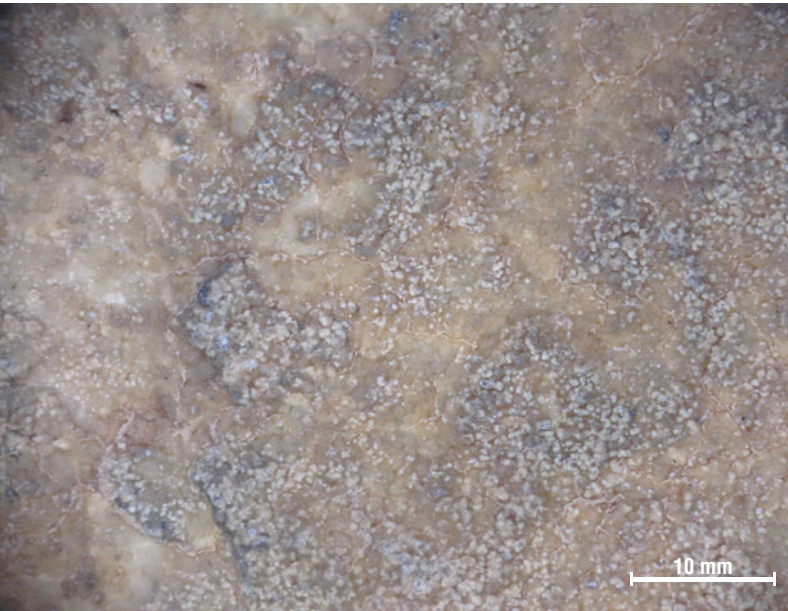
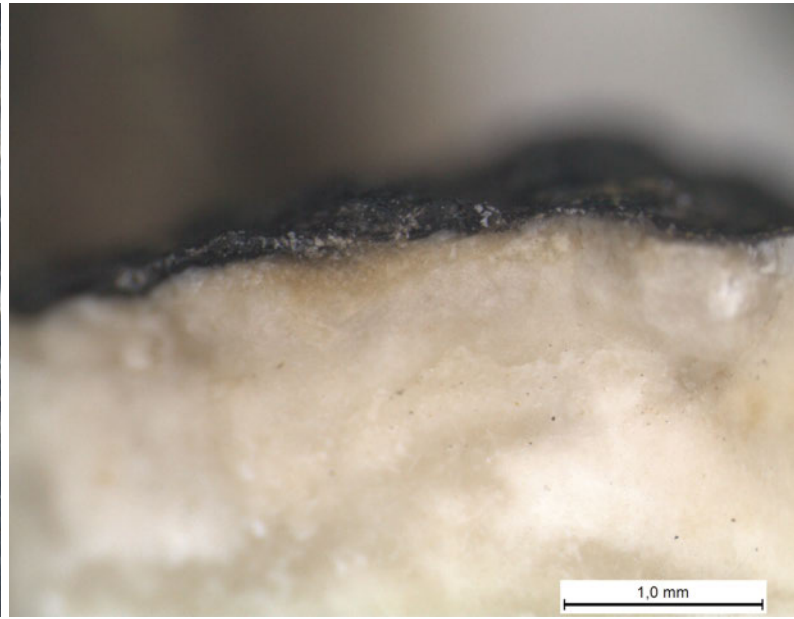
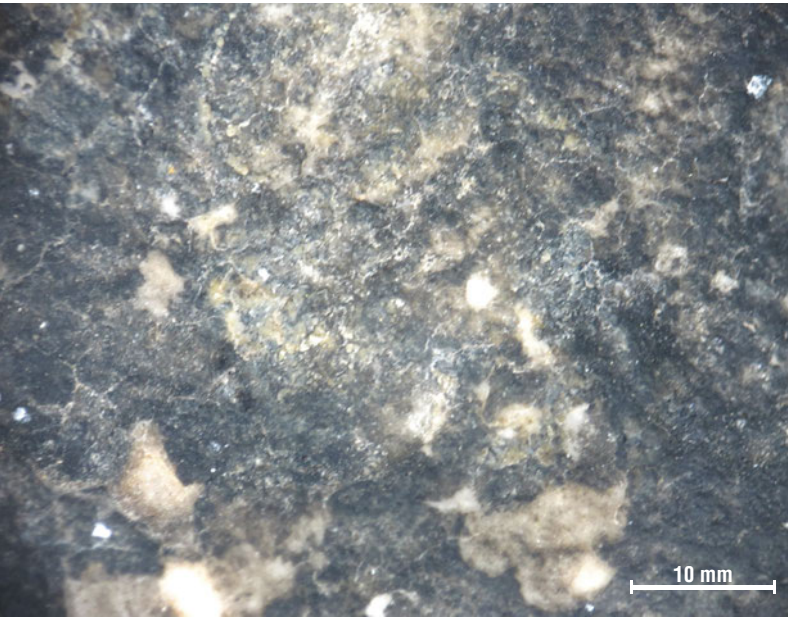
deduce, como en el caso de la Cueva del Mediodía, que no estamos ante pátinas sino que en realidad en los seis casos tendríamos que hablar de recubrimientos consolidados estratiformes, es decir, de costras.

En total se han identificado seis tipologías distintas de depósitos multi-laminares lo que corrobora, una vez más, la variedad de factores que intervienen en la formación de las mismas.

En líneas generales, el análisis EDX de la superficie de las costras permite detectar la presencia de calcio (Ca) y azufre (S), seguido de elementos como silicio (Si), aluminio (Al), potasio (K), cloro (Cl), hierro (Fe), fósforo (P), magnesio (Mg) y en ocasiones titanio (Ti) y sodio (Na).

A partir de la relación entre dichos elementos (determinada por SEM-EDX), de las morfologías cristalinas identificadas en superficie (determinadas mediante lupa y SEM-EDX) y de las estratigrafías de las secciones (determinadas por MOP), podríamos establecer tres grandes grupos:

281 282



283 284

1. Muestras SC001 y SC006: textura superficial heterogénea con presencia de oquedades, compuestas por calcio, silicio, azufre y magnesio y con estructura multi-capas. Presencia acusada de bacterias.
2. Muestras SC002 y SC008: textura superficial granular o parcialmente botroidal, compuestas principalmente por sulfato de calcio y azufre y con estructura estromatolítica multi-capas.
3. Muestras SC003 y SC007: textura superficial lisa y craquelada, compuesta mayoritariamente por calcio, silicio y fósforo y con estructura bicapas.

El hecho de que dos muestras estén en un mismo grupo no significa que éstas sean forzosamente iguales, sino que presentan rasgos texturales y composicionales similares. Así, a modo de ejemplo, las muestras SC001 y SC006 presentan una textura y composición superficial muy parecida, pero cuando observamos las secciones al MOP vemos que la sucesión de capas es totalmente distinta: SC001 presenta tres capas bien definidas donde se distingue una primera

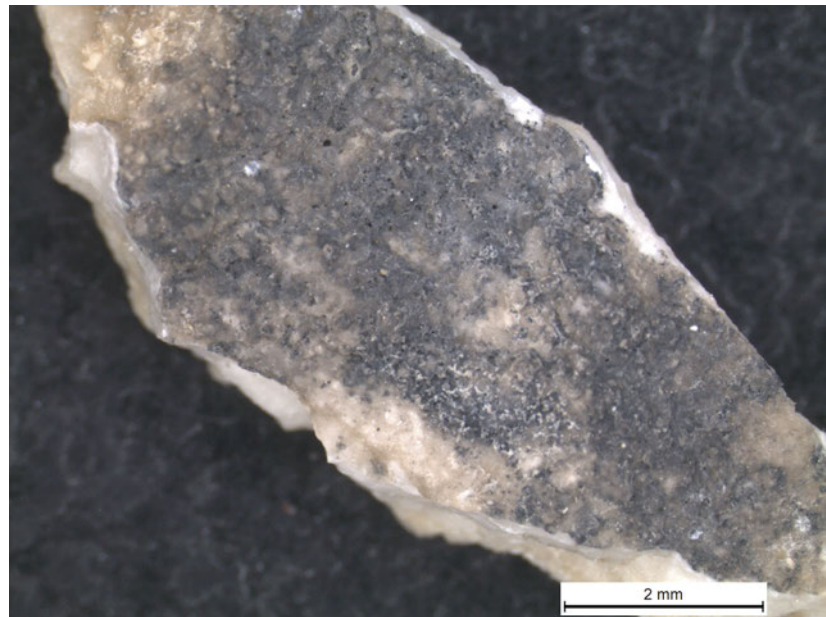
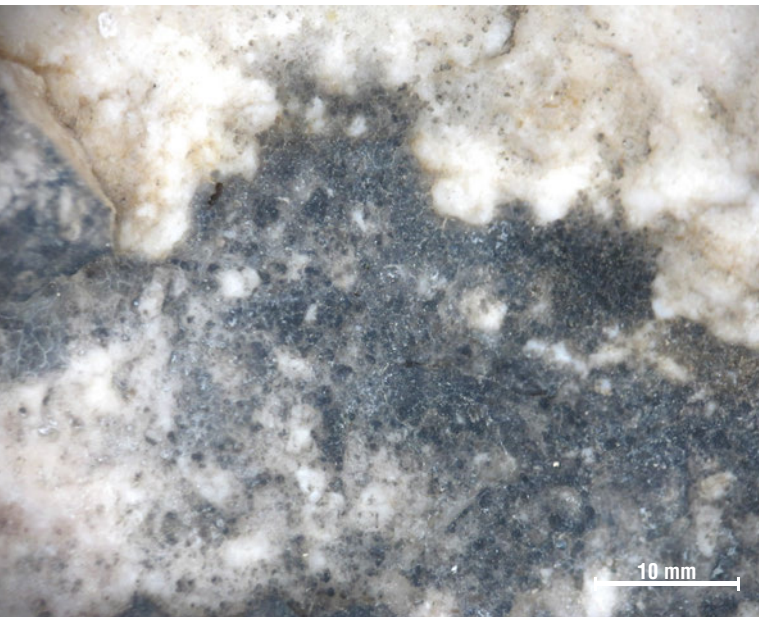
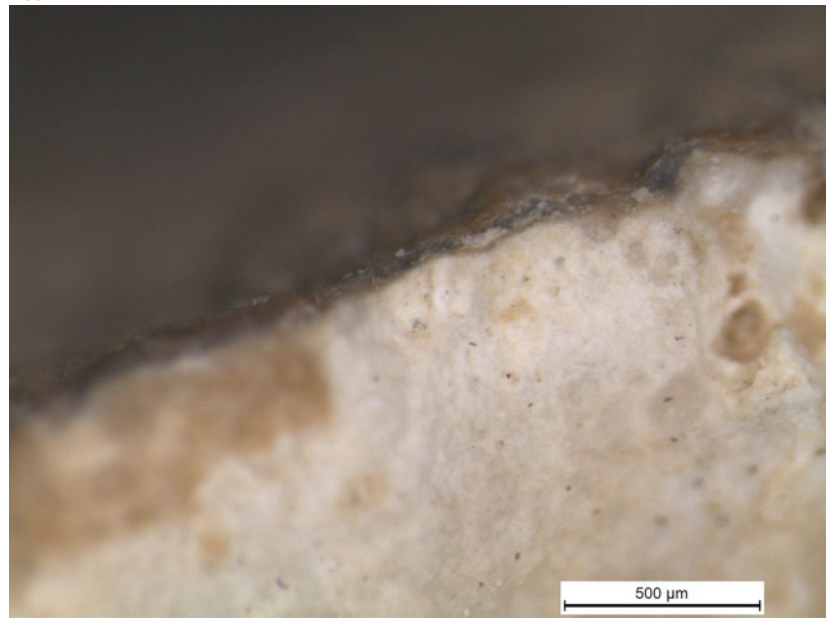
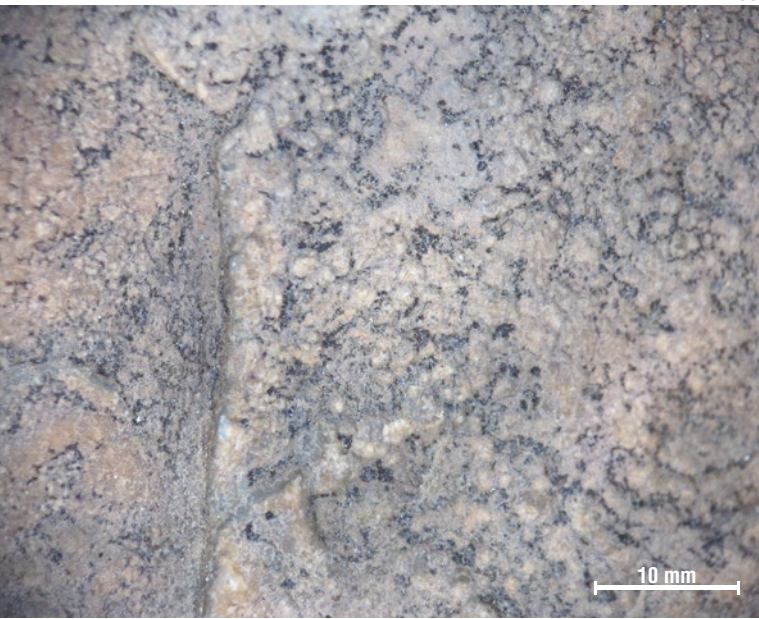
Figura 281. Microfotografía in situ de la muestra SC001. © À. Pitarch.

Figura 282. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra SC001. © À. Pitarch.

Figura 283. Microfotografía in situ de la muestra SC002. © À. Pitarch.

Figura 284. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra SC002. © À. Pitarch.

285 286



287 288

Figura 285. Microfotografía in situ de la zona de la muestra SC003. © À. Pitarch.

Figura 286. Fotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra SC003, donde se aprecia la morfología de la costra. © À. Pitarch.

Figura 287. Microfotografía in situ de la zona de muestreo SC006. © À. Pitarch.

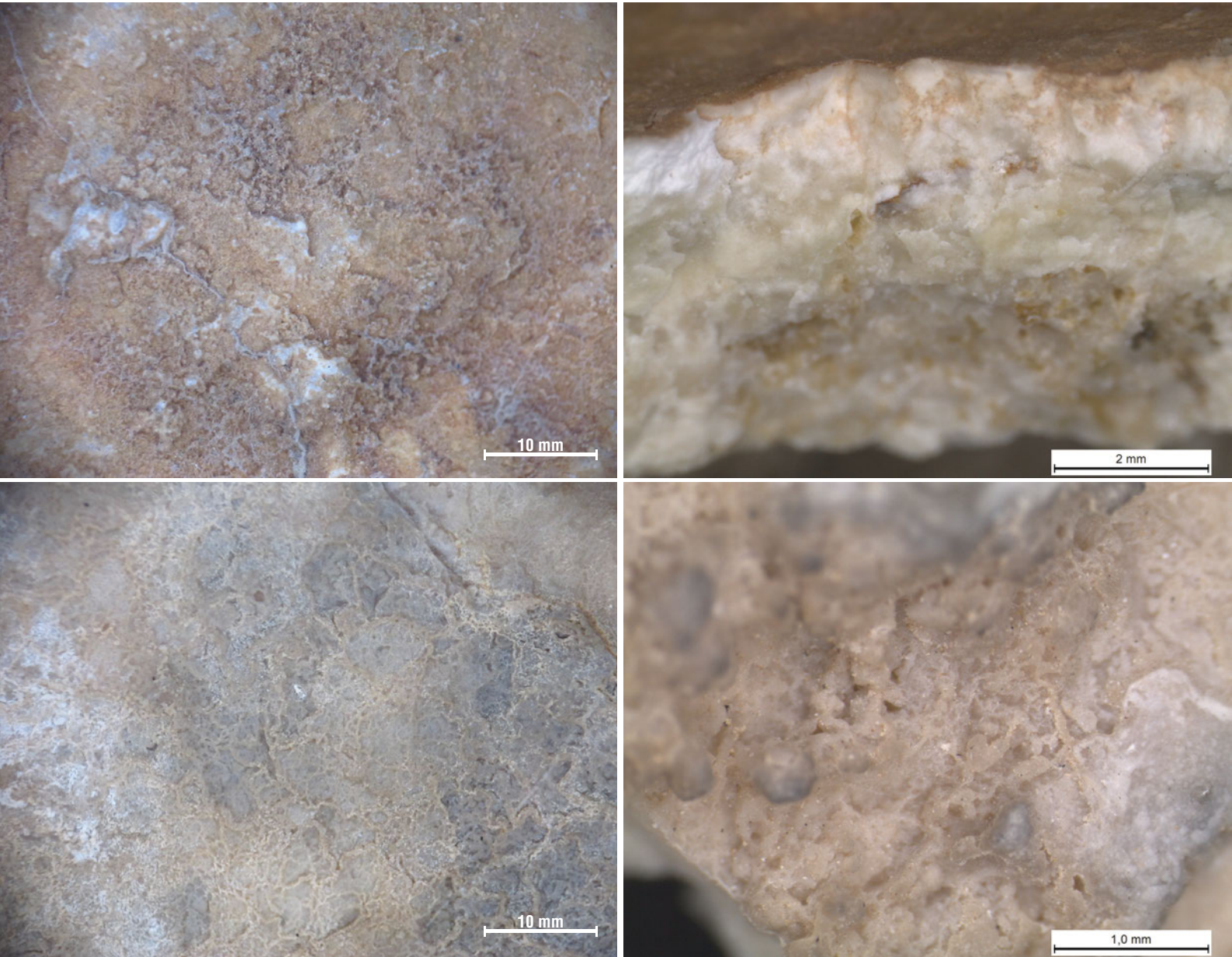
Figura 288. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra SC006. © À. Pitarch.

capa pobre en calcio (lo que sugiere que ha habido un proceso de dolomitización), una segunda capa laminar y compacta (probablemente de origen biológico) y una tercera capa con textura criptocristalina; SC006, por su parte, también presenta tres capas definidas, pero en este caso podríamos decir que se ha dado un proceso inverso, es decir, que en la primera capa ha habido un enriquecimiento en calcio, mientras que en la segunda/tercera capa tiene una estructura parcialmente laminada pero granular (lo que sugiere que el organismo que ha intervenido en su formación presenta un mecanismo de crecimiento distinto). Lo mismo ocurre en el caso de SC002 y SC008, donde se identifica claramente una estructura estromatolítica multi-capas pero se observa como los organismos que han formado dichas capas son distintos.

En base a los resultados preliminares de los análisis químico-mineralógicos realizados sobre las muestras de Solana de las Covachas III y VI podemos decir una vez más que dichas



289 290



291 292

modificaciones superficiales responden a la intervención de una gran variedad de factores donde se combinan mecanismos de crecimiento de organismos de distinta índole y/o mecanismos de degradación puramente físico-químicos.

Figura 289. Microfotografía in situ de la muestra SC007. © À. Pitarch.

Figura 290. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra SC007. © À. Pitarch.

Figura 291. Microfotografía in situ de la muestra SC008. © À. Pitarch.

Figura 292. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra SC008. © À. Pitarch



293

#### 4.4.4. Análisis químicos

Con el objetivo de complementar las técnicas de análisis de imagen para la detección de cambios y alteraciones que se hayan podido producir en los diferentes pictografías, soportes y/o patinas correspondientes a los abrigos de Solana de las Covachas III y VI se realizaron diferentes análisis in situ. Las localizaciones de los puntos donde se han realizado los citados análisis han sido seleccionados teniendo en cuenta el interés del panel y el tipo de alteraciones que se pretendía caracterizar.

Para llevar a cabo el estudio se realizaron medidas directas mediante dos equipos portátiles basados en fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) (Fig. 293) y espectroscopia Raman.

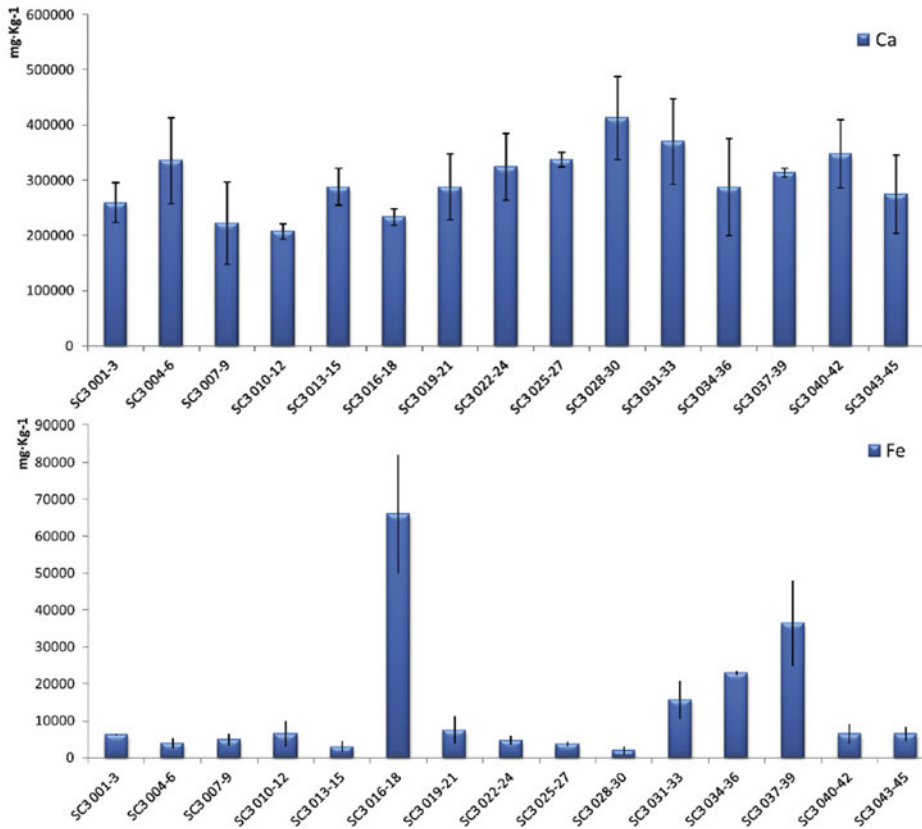
En junio de 2013 y enero del 2014 en Solana de las Covachas III fueron llevados a cabo más de 45 análisis mediante EDXRF. Por su parte, otros 55 análisis mediante EDXRF y alrededor de 5 puntos de análisis mediante espectroscopia Raman fueron efectuados en Solana de las Covachas VI.

##### 4.4.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) en Solana de las Covachas zona III

Los análisis realizados in situ por EDXRF proporcionan resultados de concentración de manera semi-cuantitativa tanto de la superficie de medida como de un pequeño grosor interior de varios milímetros. El grado de penetración alcanzado mediante esta técnica va a depender de diversos factores tales como la composición del material, la presencia de ciertos elementos y la proporción entre ellos, tamaño de partícula, textura de la superficie, su grado de compactación, estado de conservación, etc. El hecho de que los anteriores factores sean variables, puede dar origen a diferentes señales por parte del equipo de medida. Por lo que ha de ser tenido en cuenta en la interpretación de los resultados.

En las Fig. 294 y 295 aparecen los resultados de las campañas de análisis realizadas en junio de 2013 y enero de 2014, a partir de los análisis realizados mediante el espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil en el abrigo de Solana de las Covachas III. Cada uno de los datos asociados a diferentes zonas de medida se ofrece como media de tres determinaciones en el mismo punto de análisis, con el fin de obtener datos representativos. En la citada figura aparece también representada, en forma de barras, la desviación estándar asociada a las tres citadas medidas. En las Fig. 296-298 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante EDXRF.

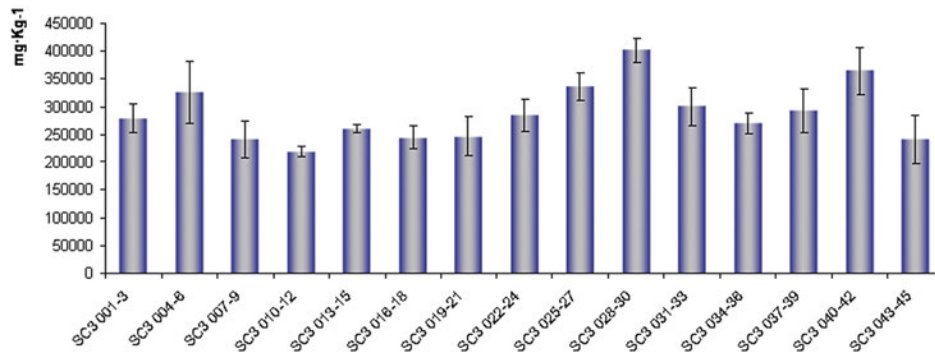
Como se ha indicado anteriormente la determinación de los elementos presentes se realiza de manera semi-cuantitativa (aproximación del valor de concentración en cada punto de



294

295

Ca (mg/Kg)



Fe (mg/Kg)

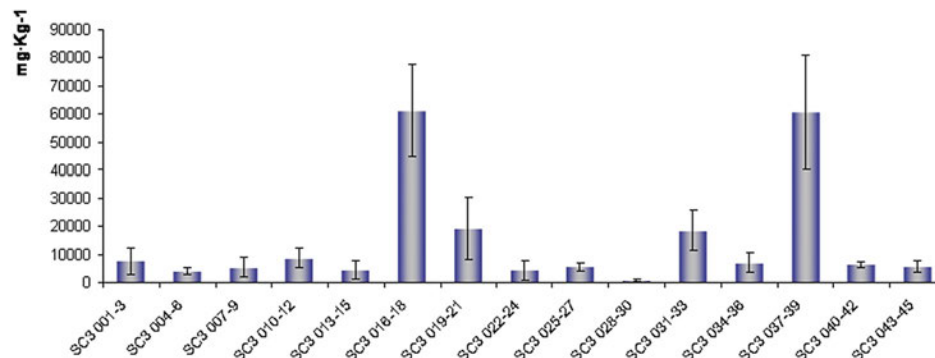


Figura 294. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro encontradas en los diferentes puntos analizados en Solana de las Covachas III. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres lecturas realizadas por punto de medida. © S. Fernández.

Figura 295. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro en los puntos analizados en la campaña de enero 2014 en Solana de las Covachas III. Las líneas horizontales del diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto. © S. Fernández

**TABLA 15. VALORES DE CONCENTRACIÓN MEDIA EN MG/KG-1 DEL CALCIO (Ca) Y HIERRO (Fe) Y TRES VECES LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIDAS REALIZADAS ENCONTRADAS EN LOS DIFERENTES PUNTOS ANALIZADOS LOCALIZADOS EN LAS CAMPAÑAS DE JUNIO 2013 Y ENERO 2014 EN EL ABRIGO DE SOLANA DE LAS COVACHAS III**

Punto de análisis	Ca (mg/kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Ca (mg/kg <sup>-1</sup> ) 01/14	Fe (mg/kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Fe (mg/kg <sup>-1</sup> ) 01/14
SC3 001-3	259265 ±35635	279260 ± 54661	6230 ±250	7624 ± 4798
SC3 004-6	335625 ±78050	325993 ± 5266	3890 ±1335	3918 ± 1217
SC3 007-9	221915 ±74290	241037 ± 72131	4970 ±1580	5478 ± 3457
SC3 010-12	207550 ±13720	218464 ± 32354	6540 ±3500	8651 ± 3468
SC3 013-15	288175 ±33225	260850 ± 46016	3040 ±1490	4460 ± 3193
SC3 016-18	233510 ±15385	243808 ± 89411	66020 ±16088	61063 ± 16639
SC3 019-21	288320 ±59985	246635 ± 32742	7550 ±3545	19241 ± 11095
SC3 022-24	324920 ±60250	284343 ± 93679	4690 ±1195	4298 ± 3628
SC3 025-27	337065 ±12930	336456 ± 35268	3800 ±565	5576 ± 1366
SC3 028-30	412895 ±75720	402002 ± 153592	2025 ±1180	768 ± 468
SC3 031-33	370700 ±77330	300765 ± 76238	22925 ±5140	18596 ± 7193
SC3 034-36	287730 ±87470	270890 ± 30164	5040 ±635	7030 ± 3475
SC3 037-39	314050 ±7885	292950 ± 3262	36460 ±11495	60514 ± 20353
SC3 040-42	347905 ±61140	364374 ± 16134	6450 ±2790	6400 ± 1079
SC3 043-45	274270 ±70975	240545 ± 75192	6480 ±1980	5771 ± 2191

medida del panel del abrigo), es decir, únicamente se considera válida para comparar diferentes puntos en un mismo panel.

Salvo en contadas ocasiones, en los análisis realizados no se detectaron elementos minoritarios (aquellos que están en concentraciones menores al 5%) y el resto de elementos detectados por debajo del 1% se obviaron, dada la incertidumbre de la medida. Como era de esperar, tanto en la campaña de análisis realizada en junio de 2013 como en la de enero de 2014 únicamente dos elementos aparecen como elementos mayoritarios, el calcio (Ca) y el hierro (Fe).

El calcio aparece como elemento mayoritario en todo el abrigo de Solana de las Covachas III, indicando así que se trata de un soporte calcáreo. Esta hipótesis se confirma por los resultados del análisis Raman que se obtuvieron en junio 2013, donde se identifica calcita (CaCO<sub>3</sub>) como compuesto principal de la roca. El calcio proviene de la roca madre aunque no se puede descartar la presencia de otros compuestos en forma de pátina como veremos en los resultados relativos a la espectroscopia Raman.

En lo que respecta al hierro, su presencia en el abrigo es debida a dos fuentes. Por un lado, tendríamos el hierro que pueda encontrarse formando parte de silicatos de la propia roca madre, arcillas o aquel que pueda llegar al panel del abrigo por escorrentía. Por otro, el hierro que compone el pigmento utilizado en la pictografía, mientras que su mayor o menor concentración se debe al diferente espesor de la capa pictórica existente. Estas diferencias encontradas pueden observarse en dos espectros de EDXRF encontrados en dos puntos de medida del panel (Fig. 299).

Comparando los valores encontrados en distintas zonas del panel del Abrigo de Solana de las Covachas III en enero del 2014 se pueden apreciar diferencias en las concentraciones medias de ambos elementos (ver Tabla 15). En todos los puntos se encontró una mayor concentración de calcio con respecto al hierro.



296



297

Figura 296. Situación de los puntos de medida EDXRF (código SC3Xnnn-nnn) en la parte superior e izquierda de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.

Figura 297. Situación de los puntos de medida EDXRF (código SC3Xnnn-nnn) en la parte derecha de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.



298

299

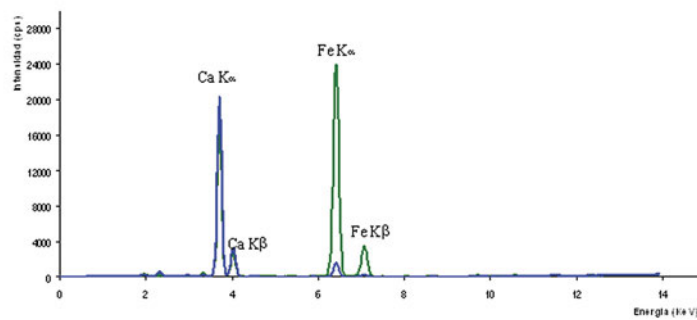
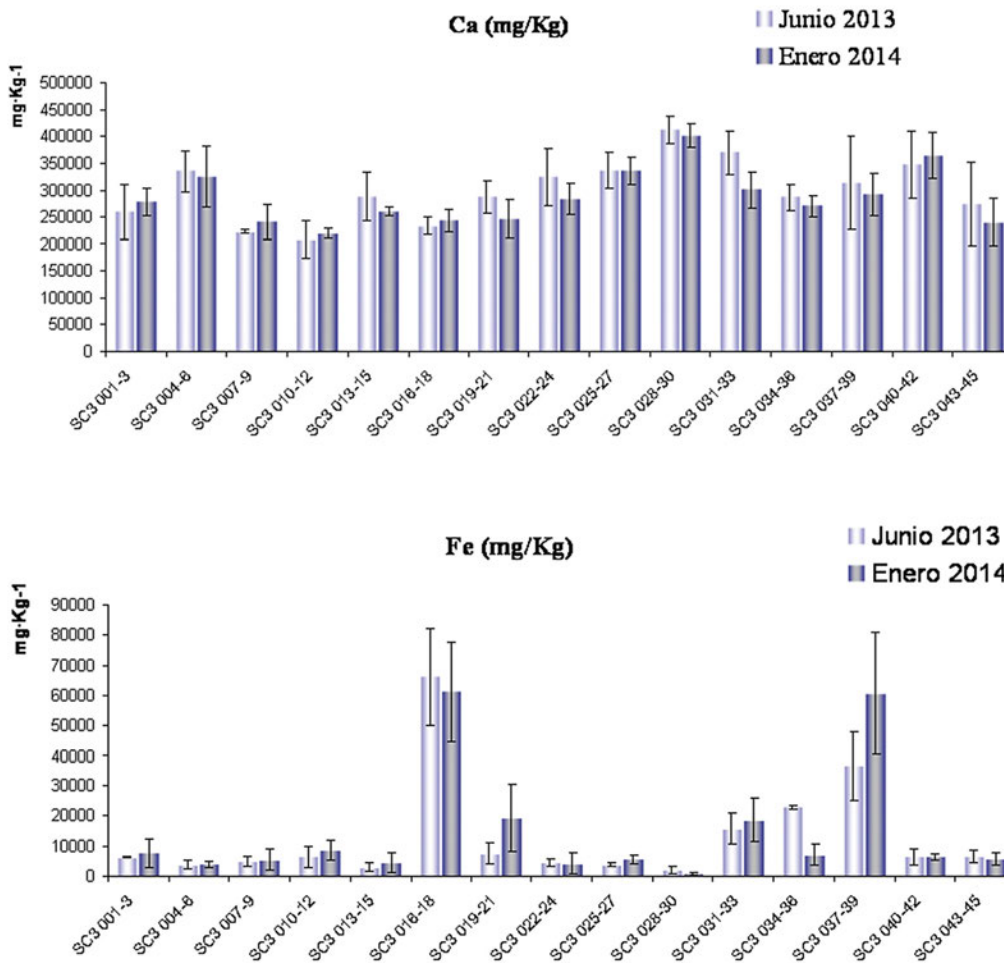


Figura 298. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código SC3Xnnn-nnn) y Raman (código SC3Rnn y color verde) en la parte central de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.

Figura 299. Espectros EDXRF comparativos del material soporte (línea de color azul) y de uno de los análisis en una pictografía (línea de color verde), ambos análisis realizados in situ en enero del 2014 del Abrigo de Solana de las Covachas III © S. Fernández

Al igual que pasaba en junio del 2013, en enero del 2014 los puntos con mayor concentración de hierro (SC3 016-18 y SC3 037-39) corresponden a motivos que presentan un color rojo más oscuro, lo que podría indicar una capa de pigmento más gruesa. Otros dos puntos de medida (SC3 019-21 y SC3 031-33) que dan elevada concentración en hierro presentan también un color rojo oscuro.

Los puntos de medida con menos concentración de hierro se corresponden a zonas sin motivos pictóricos o donde el panel aparece menos rojizo (SC3 004-6; SC3 007-9; SC3010-12;



300

SC3 013-15; SC3 025-27, SC3 028-30; SC3 034-36; SC3 040-42 y SC3 043-45). Al igual que pasaba en junio del 2013, el punto de análisis SC3 028-30 vuelve a presentar un mínimo de concentración en hierro; dicho punto de análisis se localiza en la roca madre, probablemente compuesta por calcita, ya que la concentración de calcio es significativamente mayor al resto de puntos analizados.

Por otro lado existen puntos como el SC3 022-24 con menor concentración de hierro que la esperada, a pesar de localizarse sobre pictografías. Esto ocurre porque las intensidades de señal obtenidas para cada uno de los elementos dependen de varios factores inherentes a la técnica, como ya se ha descrito.

A modo de conclusión final de este apartado resaltar el hecho de que en el Abrigo de Solana de las Covachas III no se han encontrado diferencias respecto a composición química en estos últimos meses. Se ha tratado de identificar variaciones en la composición química de los abrigos objeto de estudio a lo largo del tiempo, con objeto de posibilitar la identificación de alteraciones debidas al ciclo natural, aparición de patinas, cambios de coloración del soporte o de las pictografías presentes, aparición de fracturas, pérdidas de soporte o figuras, etc. Por ello los análisis del

Figura 300. Arriba: Comparación de las concentraciones medias ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) de calcio y hierro de los puntos analizados en junio 2013 (azul claro) y enero 2014 (azul oscuro) en Solana de las Covachas III. Las líneas verticales en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de cada una de las tres medidas realizadas. © S. Fernández.

**TABLA 16. COMPUESTOS ENCONTRADOS EN DIFERENTES ZONAS DE MEDIDA CORRESPONDIENTES A SOLANA DE LAS COVACHAS III EN JUNIO 2013**

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
1	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
2	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
3	1462, 1490	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
4	1463, 1489	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
5	1463, 1490	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
6	1085, 1463, 1493	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
7	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
8	1463, 1490	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
9	-	
10	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)

presente estudio se realizaron con una diferencia temporal de ocho meses y coincidiendo con estaciones del año contrarias, es decir, los primeros análisis fueron realizados en junio del año 2013 coincidiendo con el verano (época de sequía, mayor temperatura y menor humedad) y los últimos análisis fueron realizados en invierno (época con menor temperatura y mayor humedad) del presente año (enero 2014).

Si se comparan los resultados de ambas campañas de análisis (Fig. 300) tanto para el caso del calcio como para el hierro se puede llegar a la conclusión de que no hay diferencias significativas entre la concentración encontradas en los distintos puntos de análisis en este pequeño transcurso de tiempo a pesar de las diferentes condiciones climáticas en que han sido realizados los análisis químicos. Todos los valores de concentración de la campaña de junio 2013 y enero 2014 en el mismo punto de análisis aparecen siempre dentro del intervalo de confianza de la concentración encontrada. Esto pone de manifiesto que el protocolo/procedimiento de análisis químico expuesto en el presente proyecto es apropiado para las condiciones existentes en los abrigos objeto de estudio y que dicho protocolo debería ser incluido en un programa de monitorización a lo largo de los años para constatar si el estado de conservación de las diferentes pictografías existentes en el abrigo se mantiene.

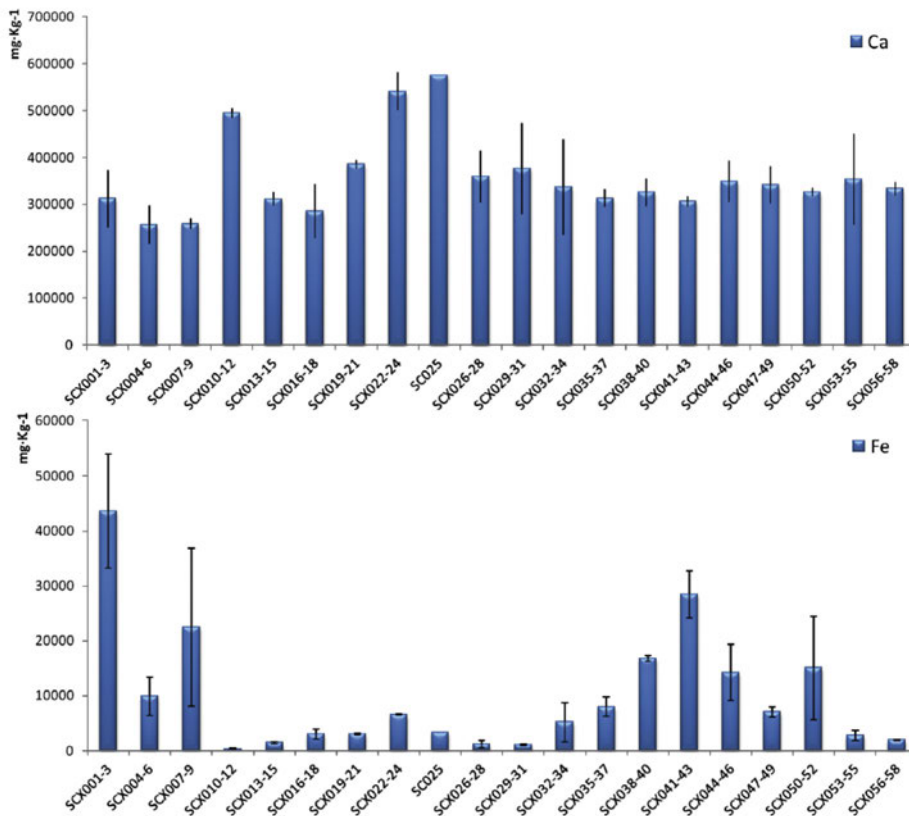
#### 4.4.4.2. Resultados espectroscopia Raman en Solana de las Covachas zona III

La espectroscopia Raman permite habitualmente identificar diversos compuestos relacionados tanto con la roca madre como con los pigmentos que hallamos en las pinturas rupestres.

Desafortunadamente, debido a las bajas temperaturas que se sufrieron durante la campaña de análisis en enero 2014 (proximas a los 0° C), no fue posible obtener espectros Raman (el laser no emite haz en muy bajas temperaturas).

En el panel de Solana de las Covachas III se pudo identificar en junio del 2013 calcita (carbonato de calcio, CaCO<sub>3</sub>) y whewellita (oxalato de calcio monohidrato, CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O). Debido a la elevada fluorescencia (que viene de la presencia de pátinas superficiales), fue imposible obtener un espectro Raman representativo de los restos de pigmentación de los pictografías

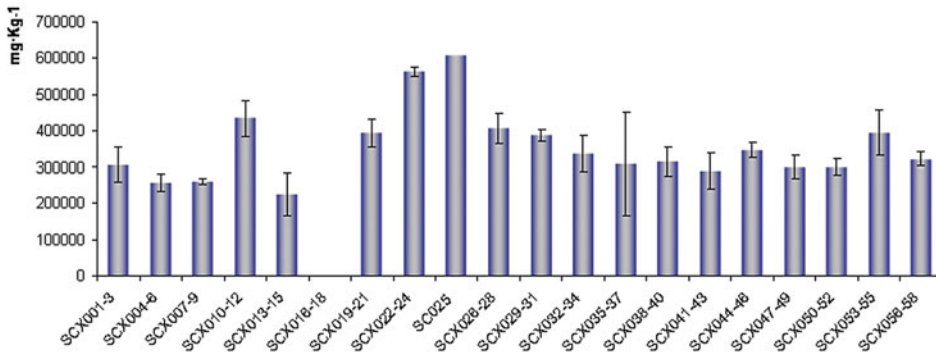




301

302

**Ca (mg/Kg)**



**Fe (mg/Kg)**

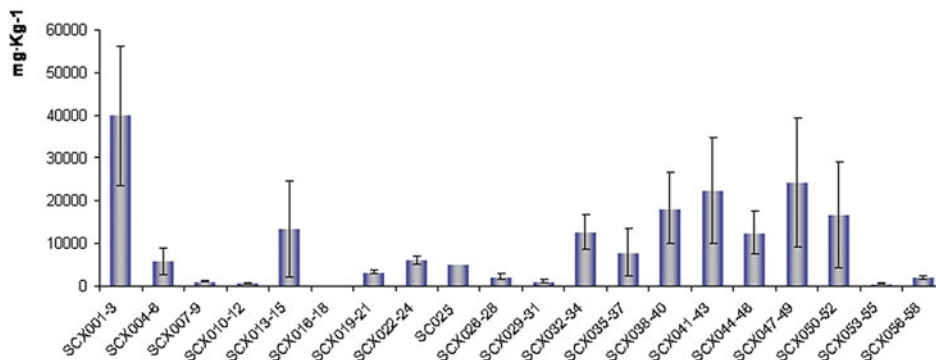


Figura 301. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro encontradas en los diferentes puntos analizados en Solana de las Covachas VI en junio de 2013. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres lecturas realizadas por punto de medida. © S. Fernández.

Figura 302. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro en los puntos analizados en la campaña de enero 2014 en Solana de las Covachas VI. Las líneas horizontales del diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto. © S. Fernández.

presentes en Solana de las Covachas III. Por ese motivo fue imposible la determinación de la composición molecular del pigmento, aunque por los resultados de EDXRF se constata la presencia de hierro, siendo el pigmento más común la hematita.

#### 4.4.4.3. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) en Solana de las Covachas, zona VI

Los resultados de las campañas de análisis realizadas en junio de 2013 y enero de 2014 en las Fig. 301-302, a partir de los análisis realizados mediante el espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil en el abrigo de Solana de las Covachas VI. Cada uno de los datos asociados a diferentes zonas de medida se ofrece como media de tres determinaciones en el mismo punto de análisis, con el fin de obtener datos representativos. En la citada figura aparece también representada, en forma de barras, la desviación estándar asociada a las tres citadas medidas. En las Fig. 303-305 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante EDXRF.

Salvo en contadas ocasiones, en los análisis realizados no se detectaron elementos minoritarios (aquellos que están en concentraciones menores al 5%) y el resto de elementos detectados por debajo del 1% se obviaron, dada la incertidumbre de la medida. Como era de esperar, tanto en la campaña de análisis realizada en junio de 2013 como en la de enero de 2014 únicamente dos elementos aparecen como elementos mayoritarios, el calcio (Ca) y el hierro (Fe).

El calcio aparece como elemento mayoritario en todo el abrigo de Solana de las Covachas VI, indicando así que se trata de un soporte calcáreo. Esta hipótesis se confirma por los resultados del análisis Raman, donde se identifica calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). El calcio proviene de la roca madre aunque no se puede descartar la presencia de otros compuestos en forma de pátina como veremos en los resultados relativos a la espectroscopia Raman.

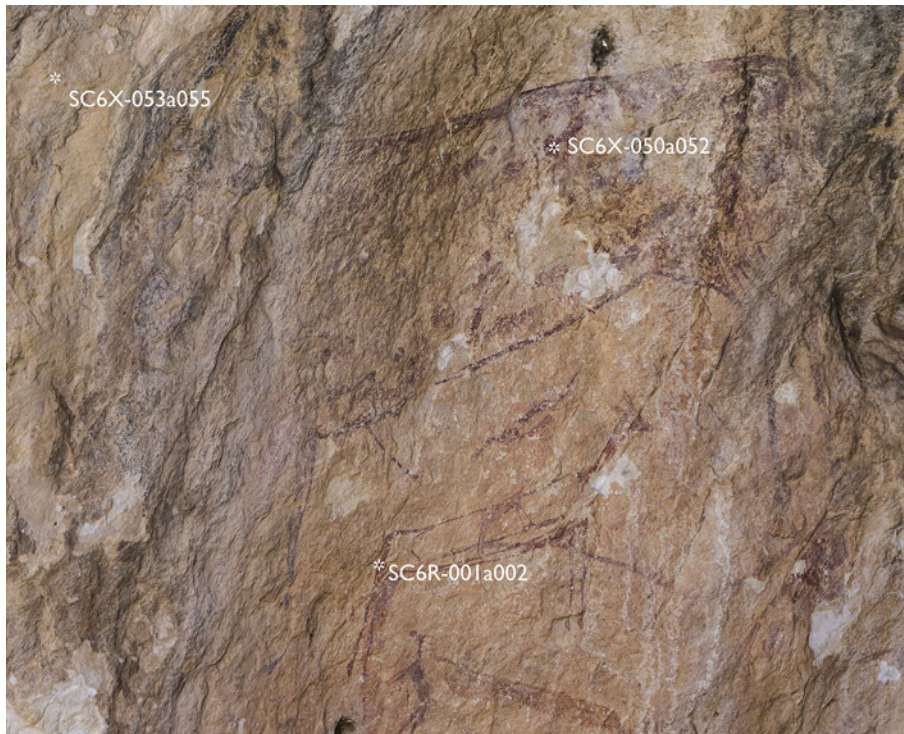
En lo que respecta al hierro, su presencia en el abrigo es debida a dos fuentes. Por un lado, tendríamos el hierro que pueda encontrarse formando parte de silicatos de la propia roca madre, arcillas o aquel que pueda llegar al panel del abrigo por escorrentía. Por otro, el hierro que compone el pigmento utilizado en el pictografía, mientras que su mayor o menor concentración se debe al diferente espesor de la capa pictórica existente. Estas diferencias encontradas pueden observarse en dos espectros de EDXRF encontrados en dos puntos de medida del panel (Fig. 306).

Comparando los valores encontrados en distintas zonas del panel de Solana de las Covachas VI en enero del 2014 se pueden apreciar diferencias en las concentraciones medias de ambos elementos (ver Tabla 17). En todos los puntos se encontró una mayor concentración de calcio con respecto al hierro, lo que sugiere, en aquellos puntos donde se ha medido una pictografía, que la capa de pigmento es muy fina, que puede existir pérdida de granos de pigmento etc.

Al igual que pasaba en junio del 2013, en enero del 2014 los puntos con mayor concentración de hierro (SCX001-3, SCX038-40, SCX041-43 y SCX047-49) corresponden a motivos que presentan un color rojo más oscuro, lo que podría indicar una capa de pigmento más gruesa. Otros puntos de medida (SCX032-34, SCX044-46 y SCX050-52) que dan elevada concentración en hierro presentan también un color rojo.



303



304

Figura 303. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código SC6Xnnn-*nnn*) en la parte inferior derecha de Solana de las Covachas VI. © J.F. Ruiz

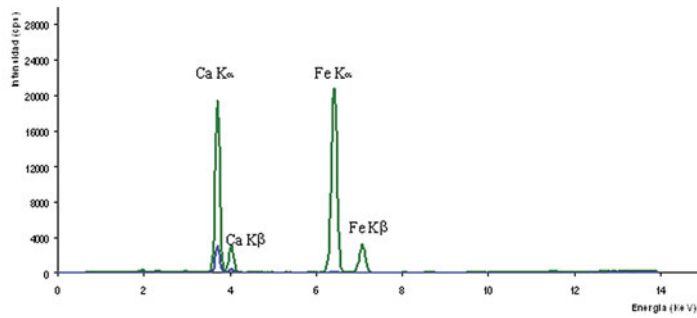
Figura 304. Ubicación de los puntos de medida EDXRF (código SC6Xnnn-*nnn*) y Raman (código SC6Rnn) en la parte izquierda de Solana de las Covachas VI. © J.F. Ruiz



305

Figura 305. Situación de los puntos de medida EDXRF (código SC6Xnnn-*nnn*) en la parte superior de Solana de las Covachas VI. © J.F. Ruiz.

Figura 306. Espectros EDXRF comparativos del material soporte (línea de color azul) y de uno de los análisis en una pictografía (línea de color verde) ambos análisis realizados in situ en enero del 2014 en Solana de las Covachas VI. © S. Fernández

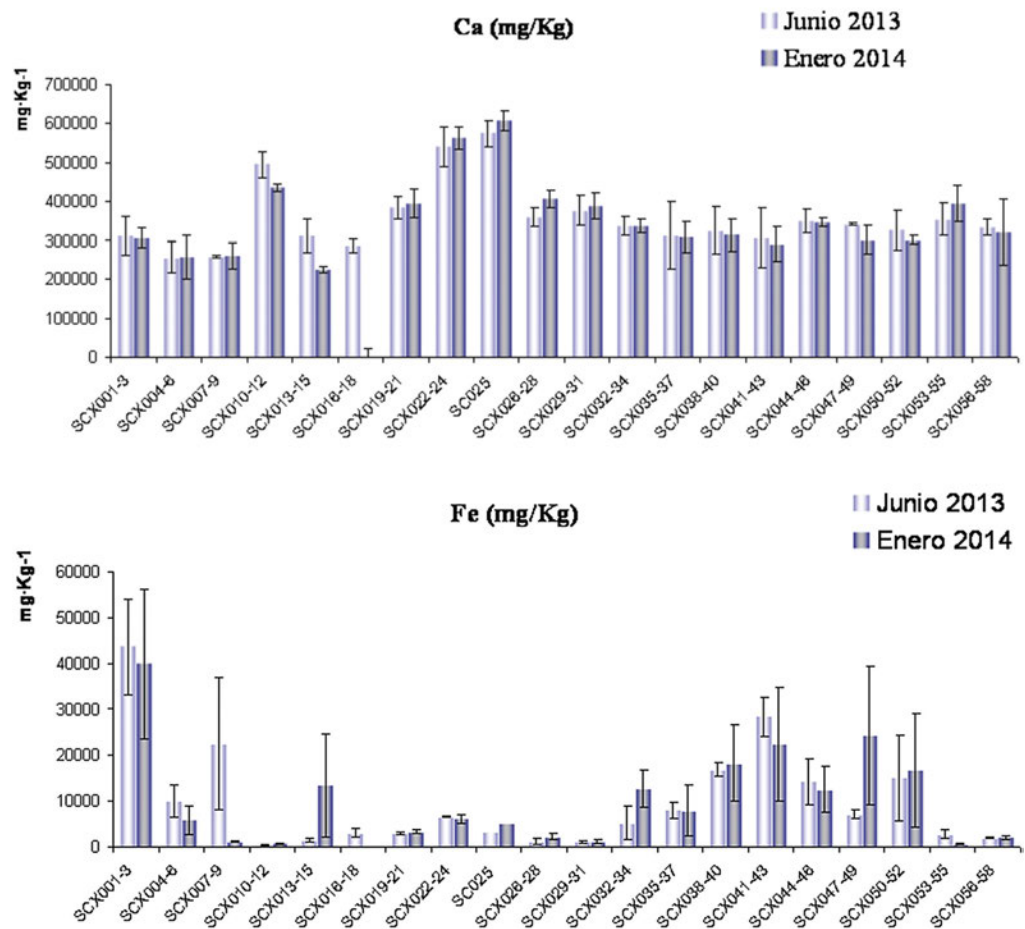


**TABLA 17. VALORES DE CONCENTRACIÓN MEDIA EN MG/KG-1 DEL CALCIO (CA) Y HIERRO (FE) Y TRES VECES LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIDAS REALIZADAS ENCONTRADAS EN LOS PUNTOS ANALIZADOS EN LAS CAMPAÑAS DE JUNIO 2013 Y ENERO 2014 EN EL ABRIGO DE SOLANA DE LAS COVACHAS VI. (ND: NO DETERMINADA)**

Punto de análisis	Ca (mg/Kg <sup>1</sup> ) 06/13	Ca (mg/Kg <sup>1</sup> ) 01/14	Fe (mg/Kg <sup>1</sup> ) 06/13	Fe (mg/Kg <sup>1</sup> ) 01/14
SCX001-3	312220 ± 61750	305867 ± 46569	43665 ± 10400	39983 ± 16342
SCX004-6	255905 ± 40740	256554 ± 24833	9935 ± 3465	5851 ± 3017
SCX007-9	258545 ± 11240	260103 ± 7809	22495 ± 14410	1149 ± 110
SCX010-12	495095 ± 10390	434901 ± 48573	370 ± 70	710 ± 162
SCX013-15	311635 ± 14515	224555 ± 58276	1440 ± 490	13428 ± 11198
SCX016-18	285010 ± 57340	ND	3035 ± 900	ND
SCX019-21	384745 ± 9590	395198 ± 37929	3015 ± 265	3346 ± 404
SCX022-24	540680 ± 40230	563395 ± 12315	6595 ± 145	6088 ± 1049
SC025	–	607955 ± 0	–	5005 ± 0
SCX026-28	359180 ± 55305	406109 ± 41706	1170 ± 655	2189 ± 659
SCX029-31	376590 ± 97235	388854 ± 15316	1080 ± 185	1173 ± 446
SCX032-34	326110 ± 29635	337745 ± 50023	5230 ± 3570	12732 ± 4020
SCX035-37	312855 ± 19205	307947 ± 143499	8015 ± 1760	7943 ± 5590
SCX038-40	326110 ± 29635	314452 ± 40479	16810 ± 1460	18124 ± 8239
SCX041-43	305890 ± 11180	288714 ± 49325	28460 ± 4305	22487 ± 12470
SCX044-46	348980 ± 43495	345420 ± 22440	14245 ± 5075	12553 ± 4970
SCX047-49	341610 ± 39970	299333 ± 31191	7085 ± 930	24234 ± 15119
SCX050-52	326770 ± 9025	300118 ± 22511	15040 ± 9350	16655 ± 12349
SCX053-55	353570 ± 96730	393772 ± 62938	2825 ± 900	616 ± 102
SCX056-58	333080 ± 13845	321257 ± 20381	1985 ± 180	2048 ± 325

Los puntos de medida con menos concentración de hierro se corresponden a zonas sin motivos pictóricos o donde el panel aparece menos rojizo (SCX007-12, SCX019-31 y SCX053-55). El punto de medida SCX013-15 presenta bastante elevada concentración de hierro a pesar de que no está sobre pictografía.

Por otro lado existen puntos como el SCX004-6 y el SCX035-37 con menor concentración de hierro que la esperada, a pesar de localizarse sobre pictografías. Esto ocurre porque las intensidades de señal obtenidas para cada uno de los elementos dependen de varios factores inherentes a la técnica, como ya se ha descrito. Otro motivo por el que se encuentran diferencias en la concentración media de hierro en los distintos pictografías del panel del abrigo puede estar relacionado con el tamaño del área de medida de la pistola de EDXRF (9 mm) con respecto a la superficie pictórica objeto de análisis.



307

A modo de conclusión final de este apartado resaltar el hecho de que en Solana de las Covachas VI no se han encontrado diferencias significativas respecto a composición química en estos últimos meses. Si se comparan los resultados de ambas campañas de análisis (Fig. 307) tanto para el caso del calcio como para el hierro se puede llegar a la conclusión de que no hay diferencias significativas entre las concentraciones encontradas en los distintos puntos de análisis en este pequeño transcurso de tiempo a pesar de las diferentes condiciones climáticas en que han sido realizados los análisis químicos. Todos los valores de concentración de la campaña de junio 2013 y enero 2014 en el mismo punto de análisis aparecen siempre dentro del intervalo de confianza de la concentración encontrada. Esto pone de manifiesto que el protocolo/procedimiento de análisis químico expuesto en el presente proyecto es apropiado para las condiciones existentes en los abrigos objeto de estudio y es una metodología que debería ser aplicada como parte de un plan de monitorización para continuar conociendo el estado de conservación de los distintos pictografías presentes en el abrigo.

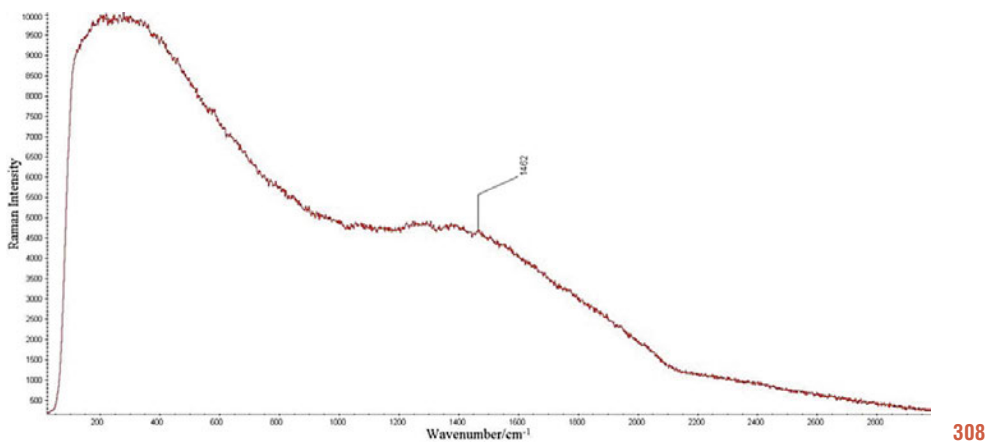
Figura 307. Comparación de las concentraciones medias (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro de los puntos analizados en junio 2013 (azul claro) y enero 2014 (azul oscuro) en Solana de las Covachas VI. Las líneas verticales en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de cada una de las tres medidas realizadas. © S. Fernández

#### 4.4.4.4. Resultados espectroscopia Raman en Solana de las Covachas, zona VI

En las Fig. 303-305 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante espectroscopia Raman.

**TABLA 18. COMPUESTOS ENCONTRADOS EN DIFERENTES ZONAS DE MEDIDA DE SOLANA DE LAS COVACHAS VI EN LAS CAMPAÑAS DE JUNIO 2013 Y ENERO 2014**

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
1	1008	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, sulfato de calcio dihidrato)
	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
2	1462, 1489	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
RC	282, 712, 1086	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
Cuerno ciervo	1462, 1489	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)



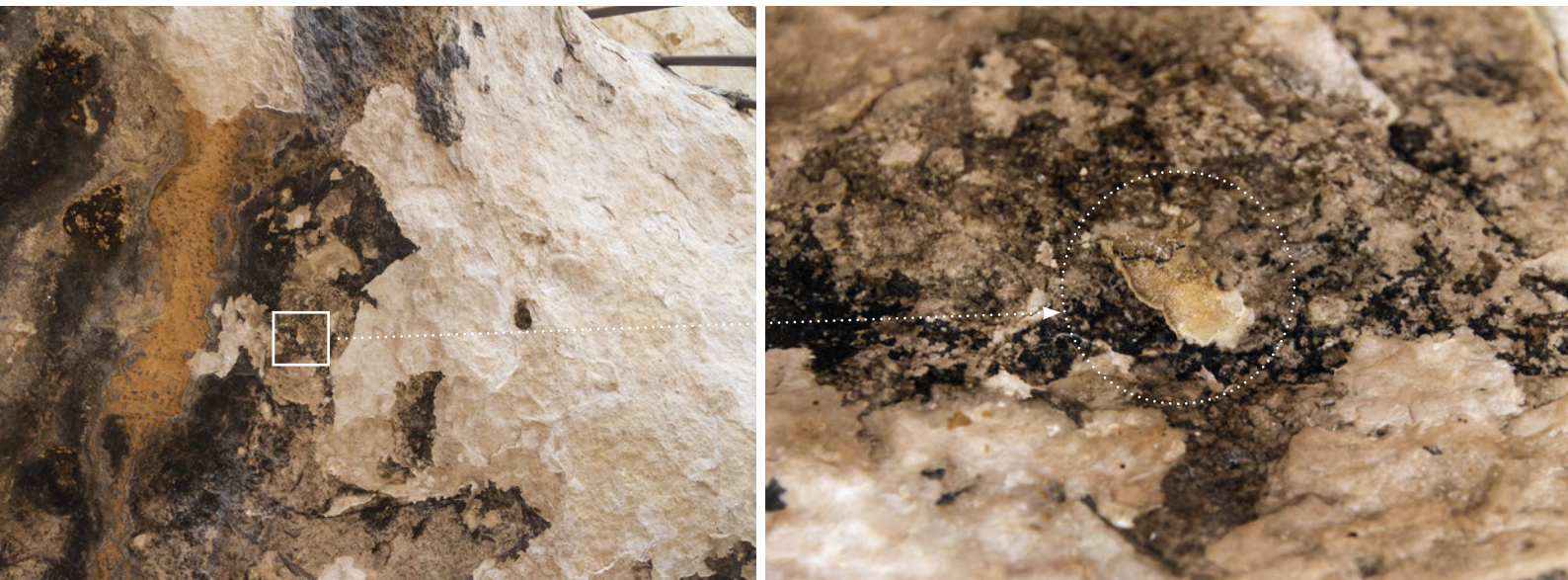
Al igual que en junio del 2013, en el panel de Solana de las Covachas VI se pudo identificar calcita (carbonato de calcio, CaCO<sub>3</sub>) (ver zona de medida RC en la Tabla 18) (banda principal en torno a 1085 cm<sup>-1</sup>) en la roca madre. La presencia de calcita podría indicar que dicho abrigo corresponde a un abrigo calcáreo.

Otro producto que se ha detectado a través de espectroscopia Raman fue yeso (sulfato de calcio dihidrato, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), que se produce cuando la calcita reacciona con ácido sulfúrico presente en la atmósfera.

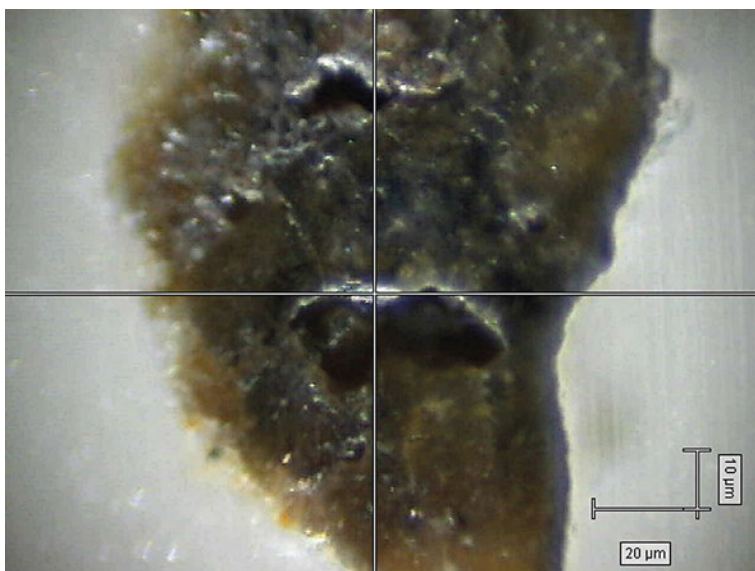
Además, se identificó whewellita (oxalato de calcio monohidrato, CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) (Fig. 308). La presencia de costras de whewellita (en algunos casos también aparece la forma dihidratada o weddellita) se encuentran frecuentemente en la superficie de rocas, muros y monumentos como resultado de la actividad metabólica de líquenes, hongos, bacterias y microbios que colonizan la superficie de los materiales pétreos (Krumbein et al., 2003; Tournié et al., 2011; Ravindran et al., 2013). Este tipo de microorganismos son capaces de excretar ácido oxálico, el cual puede reaccionar con el sustrato calcáreo provocando la formación de cristales de oxalato de calcio. Este tipo de costras se detectan frecuentemente en abrigos rocosos con pinturas prehistóricas.

Debido a la elevada fluorescencia, fue imposible obtener un espectro Raman representativo de los restos de pigmentación de los pictografías presentes en Solana de las Covachas VI.

Figura 308. Situación de los puntos de medida EDXRF (código SC3Xnnn-nnn) en la parte superior e izquierda de Solana de las Covachas III. © J.F. Ruiz.



309



310

#### 4.4.5. Conclusiones de la monitorización de Solana de las Covachas

Las dos cavidades analizadas en Solana de las Covachas presentan importantes problemas de conservación. Ambas se abren en un farallón de calizas del Mioceno. Los dos abrigos están afectados por la actividad físico-química del agua, con importantes zonas de escorrentía, grietas y costras calcíticas. No obstante, no se observan yeso ni otras eflorescencias salinas aunque los elevados niveles de fluorescencia podrían haber enmascarado su señal en Raman.

La actividad biológica es muy intensa en ambas cavidades. En la zona III hay desarrollo de plantas rupícolas en la parte inferior del panel, mientras que en la zona VI varios pies de esta misma especie, *Sarcocapnos enneaphylla*, están acompañados por un ejemplar de *Rhamnus*

Figura 309. Localización de la muestra tomada en Solana de las Covachas VI para análisis Raman en laboratorio. © J.F. Ruiz

Figura 310. Abajo: Microfotografía de la sección transversal tomada con la videocámara del espectrómetro Raman. © S. Fernández



*pumilus*, una planta de mayor porte que está afectando a una zona con pictografías; de hecho, en el interior de la oquedad en que se ubica esta planta se han identificado restos de pigmento no documentados por Ana Alonso (1980). El crecimiento observado en ambas especies mediante las comparaciones volumétricas indica un intenso desarrollo durante la primavera, que contrasta con su decaimiento en las fases de otoño e invierno. Destaca especialmente la pérdida de hojas del ejemplar de *Rhamnus pumilus* entre noviembre de 2013 y enero de 2014.

Ambos paneles presentan zonas de intensa descamación y desconchones profundos. Algunas de estas placas, como la situada en el centro de la zona III, quizás producida por una acción antrópica, tienen una profundidad considerable lo que podría acabar afectando a la estabilidad del panel. En Solana de las Covachas, zona III, las alteraciones detectadas no incluyen pérdidas de soporte. En el caso de la zona VI el análisis volumétrico ha permitido identificar una pérdida de soporte, de pequeño tamaño pero muy cerca de una de las pictografías, lo que la hace especialmente preocupante.

Los recubrimientos multilaminares son muy frecuentes en ambos abrigos. Los techos de las dos cavidades presentan una costra negruzca; en los análisis efectuados mediante EDXRF se ha observado que en estas zonas se aprecia una menor concentración de calcio, indicio de que deben tener una composición química ligeramente distinta al resto del soporte. En otras zonas, los recubrimientos son anaranjados, probablemente con presencia de algún silicato que lleva aparejada una elevada fluorescencia en Raman.

En la zona III se ha constatado la presencia de whewellita in situ. En laboratorio se han observado microestratigrafías complejas y de diversos orígenes. Estas costras multilaminares presentan una composición química similar pero morfologías cristalinas diferentes. Las oscuras del techo tienen una acusada presencia de bacterias. También hay un componente orgánico en las estructuras estromatolíticas multicapa de color anaranjado de la parte media del panel. Pero cada una de las capas de esta cavidad parecen tener un origen distinto en cada muestra, lo que da cuenta de las variaciones a escala microscópica que pueden acaecer en un abrigo.

Hemos identificado un reducido número de pictografías no documentadas con anterioridad en la zona III, por lo que recomendaríamos que se realizase una nueva reproducción digital mediante técnicas actuales.

En Solana de las Covachas, zona VI, se ha identificado la presencia de algas casmófitas en uno de los puntos de muestreo para análisis geológico localizado en el interior de la escorrentía que divide verticalmente el panel. Estas formaciones están vinculadas a la presencia de humedad en las capas interiores de la roca, probablemente el mayor problema de conservación de esta cavidad. Este tipo de comunidades biológicas pueden estar desarrollándose también en el amplio abanico de afecciones que presenta el panel, entre las que son especialmente preocupantes las fisuras, escamas y placas que pueden afectar a las pictografías en cualquier momento, lo que hace imprescindible acometer con la mayor brevedad posible una intervención de consolidación.

Las formas y procesos de alteración son muy similares a los identificados y descritos para Solana de las Covachas, zona III. En este caso, la incidencia de las escorrentías de agua presentes en el abrigo son las que deben considerarse como factor principal desencadenante de algunas formas concretas de alteración y probablemente sea también la responsable de la proliferación de colonias biológicas en el soporte de este abrigo.

Los análisis Raman *in situ* han permitido caracterizar la presencia de whewellita en las costuras de esta cavidad, así como calcita y yeso. No obstante, la intensa fluorescencia Raman impidió caracterizar los pigmentos de ambas cavidades, por lo que sólo se puede indicar la elevada concentración de hierro observada en los análisis EDXRF.

Las afecciones antrópicas también son importantes, principalmente por el mal aspecto que presentan los cerramientos en la boca de las cavidades, así como por los restos de cemento que se aprecian por doquier.

Una muestra fue tomada en la zona superior del panel (Fig. 309), lejos de las pictografías de este abrigo (Fig. 305). La muestra se caracteriza por una incrustación negra desarrollada sobre la roca madre de color beige. Para analizar mejor las capas de ésta, se ha creado una sección transversal al encapsular la muestra en metacrilato; tras pulirla en el laboratorio fueron medidas cada una de las capas presentes mediante espectroscopia Raman. Las capas se pueden apreciar a simple vista (Fig. 310), como capas no uniformes y muy finas. Los resultados de la espectroscopia Raman revelaron la presencia de calcita como compuesto de la roca madre. En concordancia con los resultados *in situ*, también se identificó yeso como uno de los productos de deterioro y alteración del panel.

## 4.5. Abrigo Grande de Minateda

### 4.5.1. Análisis 4D de los cambios volumétricos

El Abrigo Grande de Minateda es, con notable diferencia, el mayor conjunto de todos los incluidos en este proyecto. Sus dimensiones superan los 15 m de longitud (Fig. 311), lo que nos ha llevado a dividir el abrigo en dos sectores que facilitasen su análisis temporal. En el modelo 3D del sector oeste, situado en la parte alta de la cavidad (Fig. 312 y 314), se incluyen las pictografías que se disponen hasta aproximadamente el caballo de grandes dimensiones del centro de la abrigo, mientras que en el sector este, la parte baja (Fig. 313 y 315), se incluyen desde esa pictografía hasta la figura más oriental del conjunto.

Se han realizado modelos de detalle de las áreas con pintura, y modelos generales del relieve de la pared norte de la estación en cada una de las campañas. La disposición de la reja dificulta realizar fotografías que puedan cubrir la totalidad del volumen de la cavidad.

En la comparación entre los modelos de enero y mayo del sector oeste el ruido apreciado es muy escaso, a pesar de que la alineación entre ellos no es tan perfecta como sería deseable. En todo caso, no se observan modificaciones entre ambos modelos. *CloudCompare* resalta diferencias en la alineación entre los dos modelos en sendos extremos del sector y en las áreas de sombra causada por oquedades o resaltes del panel, aunque esto no indica la presencia de cambios reales durante este periodo.

Por su parte, en el sector este en el periodo entre febrero y mayo se vuelve a observar un acoplamiento que no es óptimo, con áreas que presentan una distancia respecto al modelo de base más elevada de lo que sería deseable. Quizás una estrategia diferente de captura de imágenes podría conseguir resultados más apropiados. El nivel de ruido, en consecuencia, es

#### ABRIGO GRANDE DE MINATEDA. SECTOR IZQUIERDO

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	100	724.922	19.999.999	–	0,265936	13	5,619	0,240295
Mayo	98	638.568	20.000.000	–	0,439012	20	6,650	0,484829
Julio	158	1.112.367	28.000.000	–	0,286271	12	5,521	0,458827
Noviembre	136	880.617	24.222.747	–	0,344364	13	1,328	0,237373
Enero <sup>1</sup>	200	1.430.649	20.975.506	166.850.179	0,275348	13	0,771	0,165636

#### ABRIGO GRANDE DE MINATEDA. SECTOR DERECHO

	Posiciones de cámara	Puntos de enlace	Malla poligonal	Malla original	Resolución mm/píxel	Puntos de control	Error medio modelo mm	Error medio píxel punto de control
Febrero	134	976.533	20.000.000	–	0,248895	13	5,101	0,638354
Mayo	96	628.432	19.999.999	–	0,471345	9	3,206	0,520167
Julio	146	1.247.090	28.000.000	–	0,310892	11	4,682	0,558916
Noviembre	261	1.887.909	22.632.550	–	0,302806	10	0,819	0,093269
Enero <sup>1</sup>	200	1.430.649	24.074.094	166.850.179	0,275348	13	0,771	0,165636

<sup>1</sup>. El modelo de enero 2014 se realizó completo, por lo que los datos para ambas mitades del abrigo son idénticos.

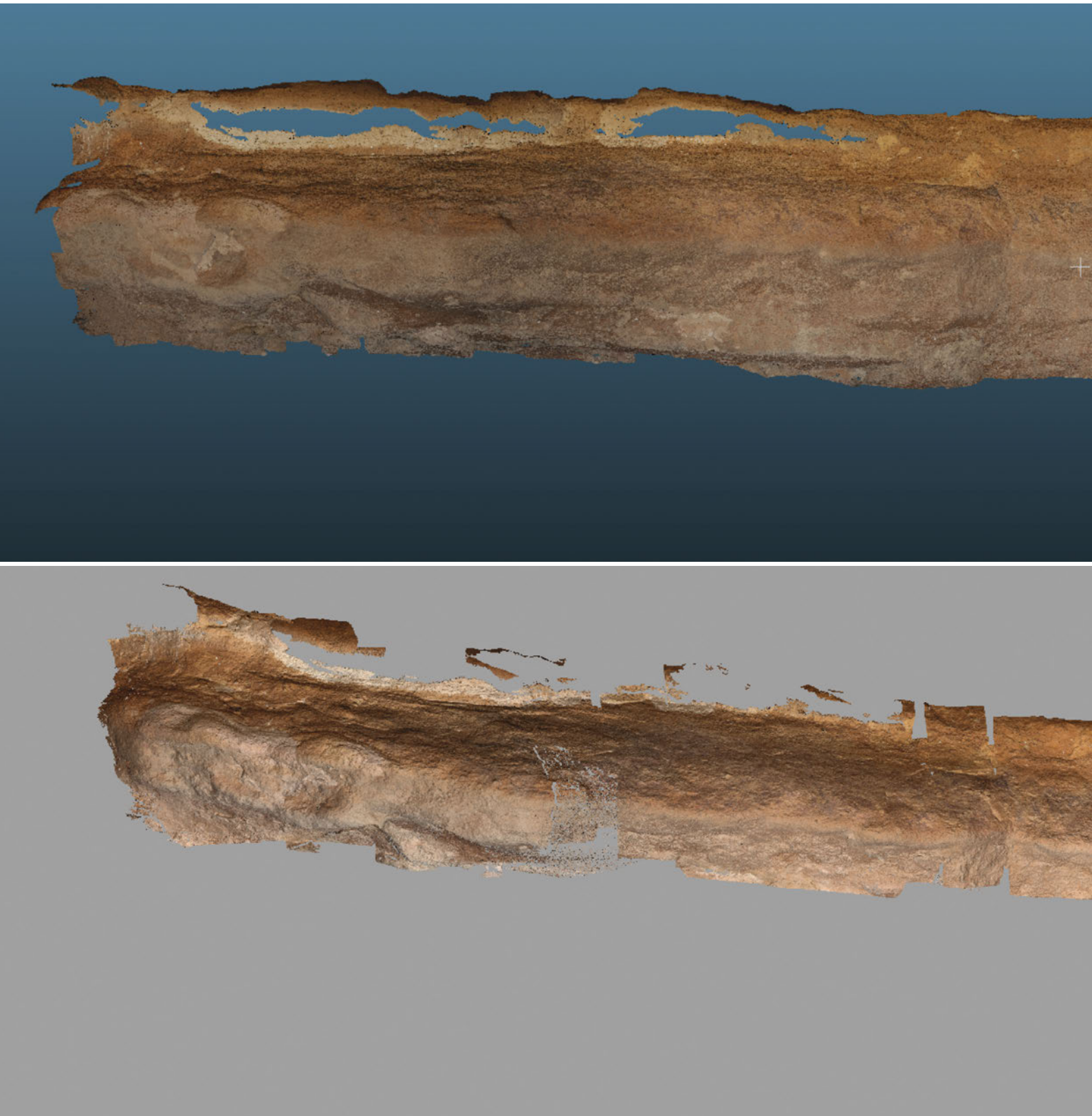
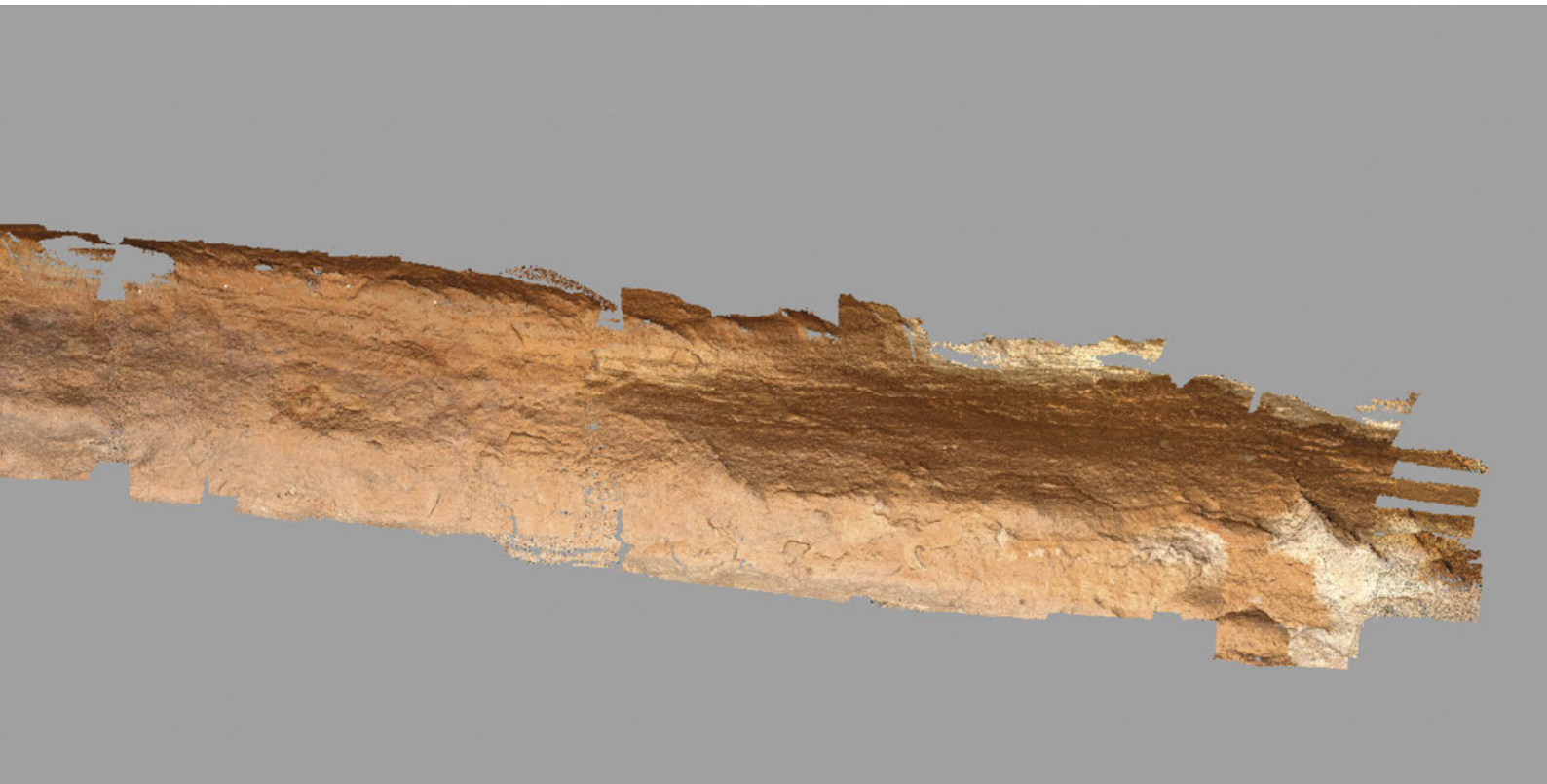
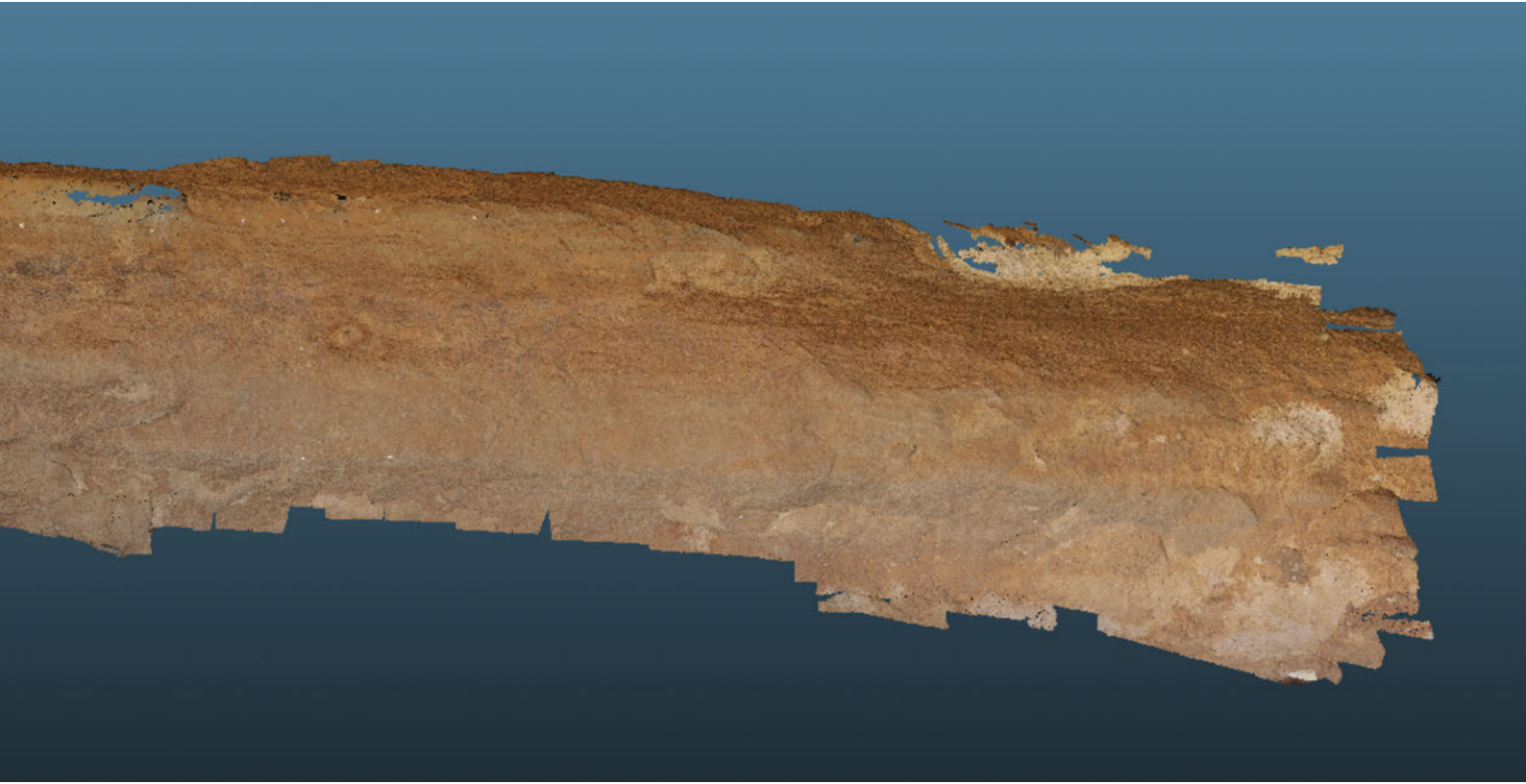


Figura 311. Modelos 3D completos del Abrigo Grande de Minateda realizado con las fotografías correspondientes a las campañas de julio 2013 (arriba) y enero 2014 (abajo).  
© J.C. Lorente



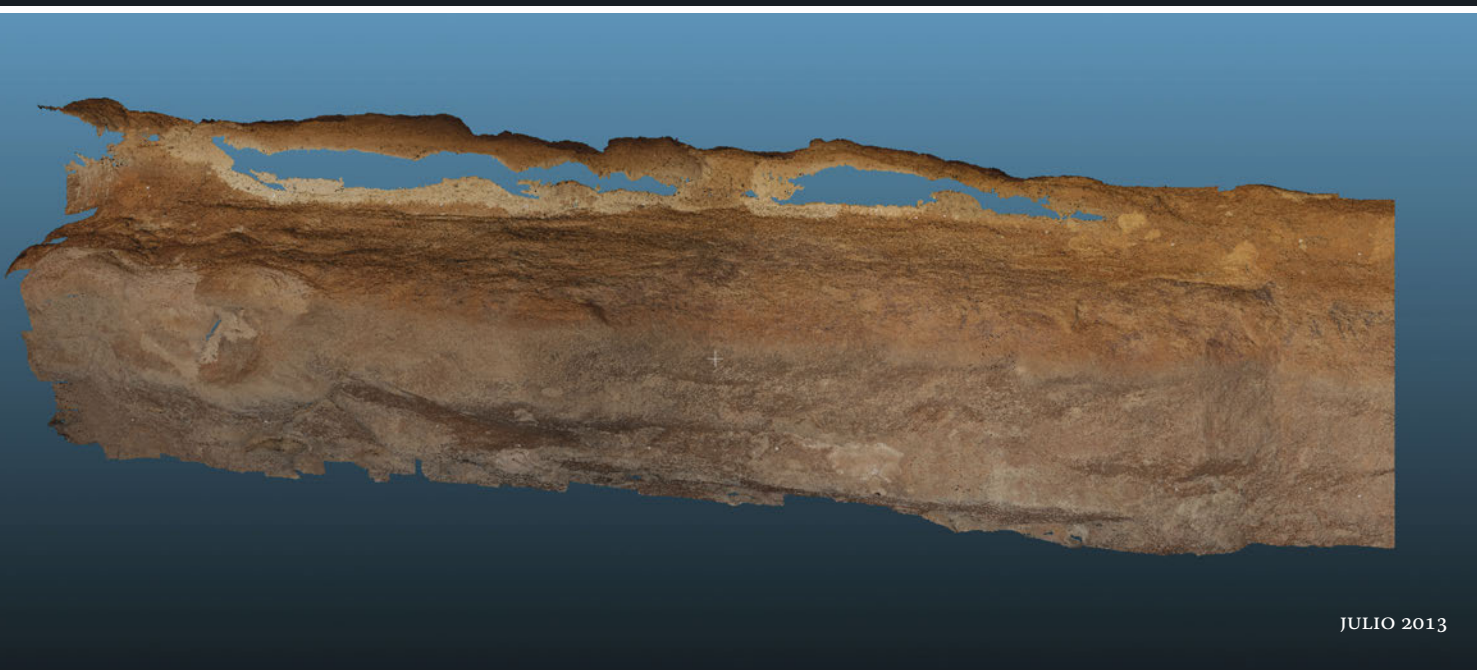
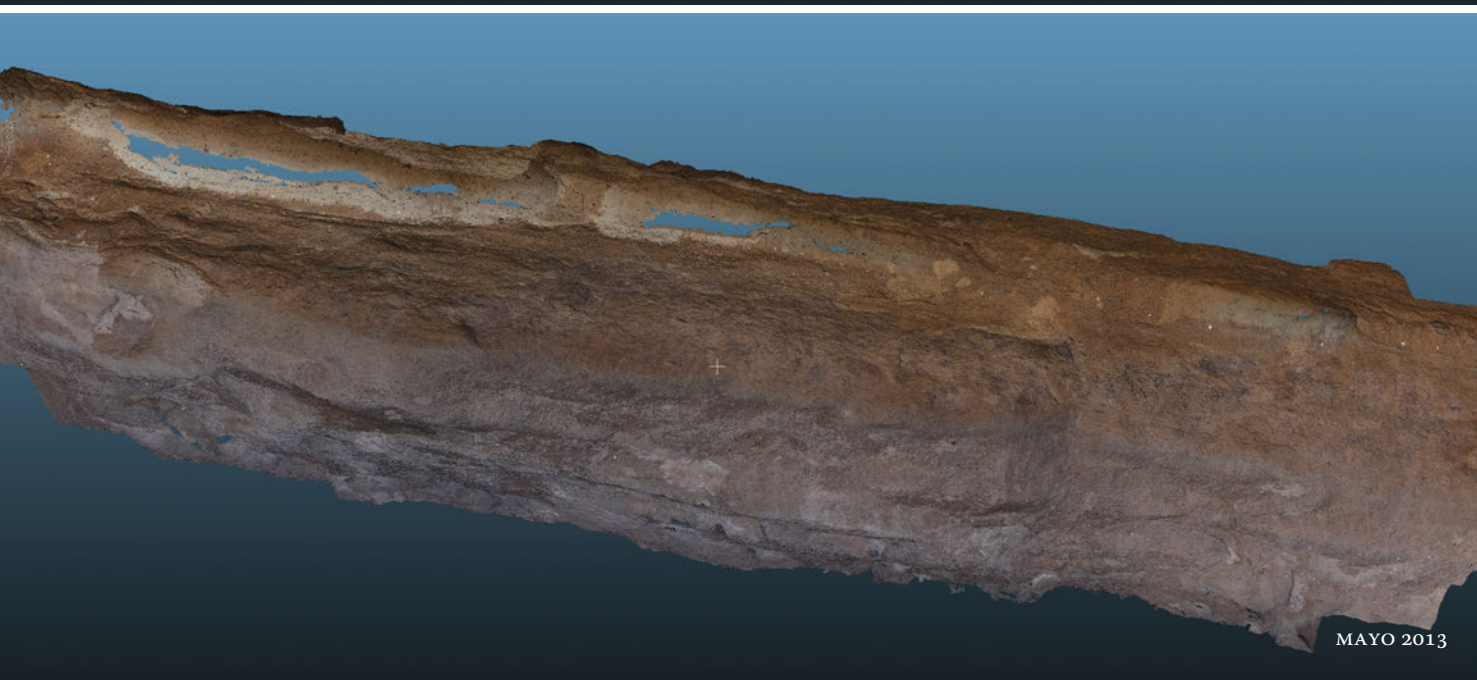
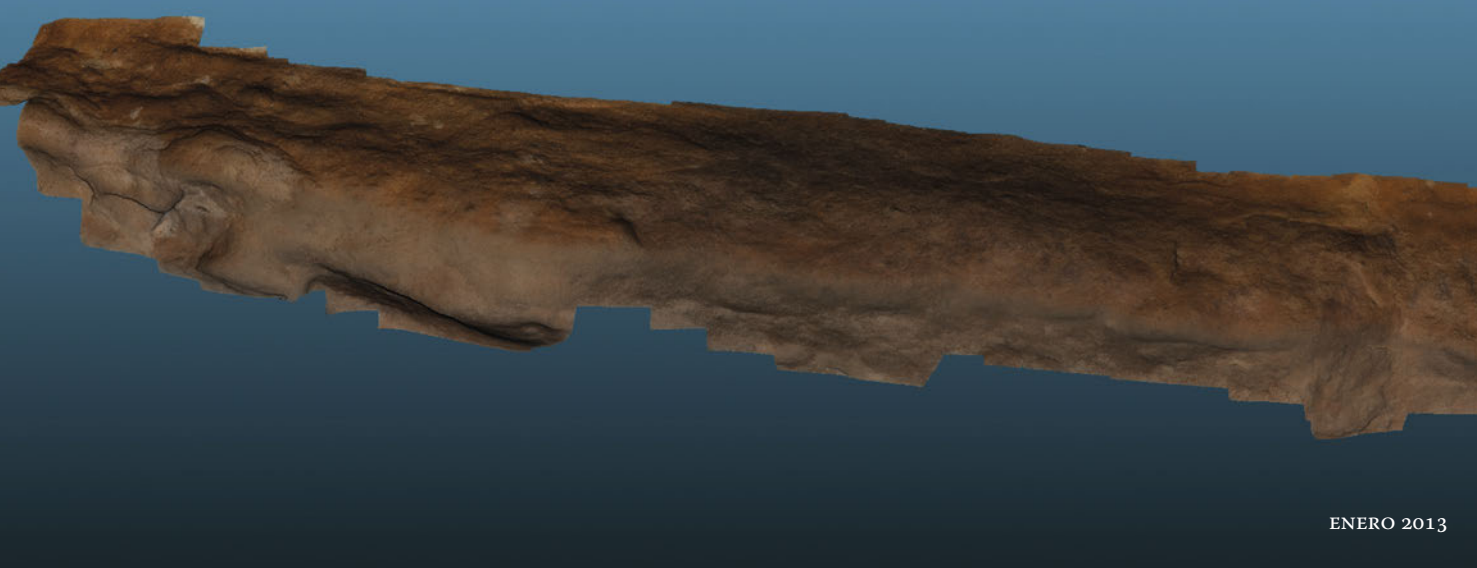
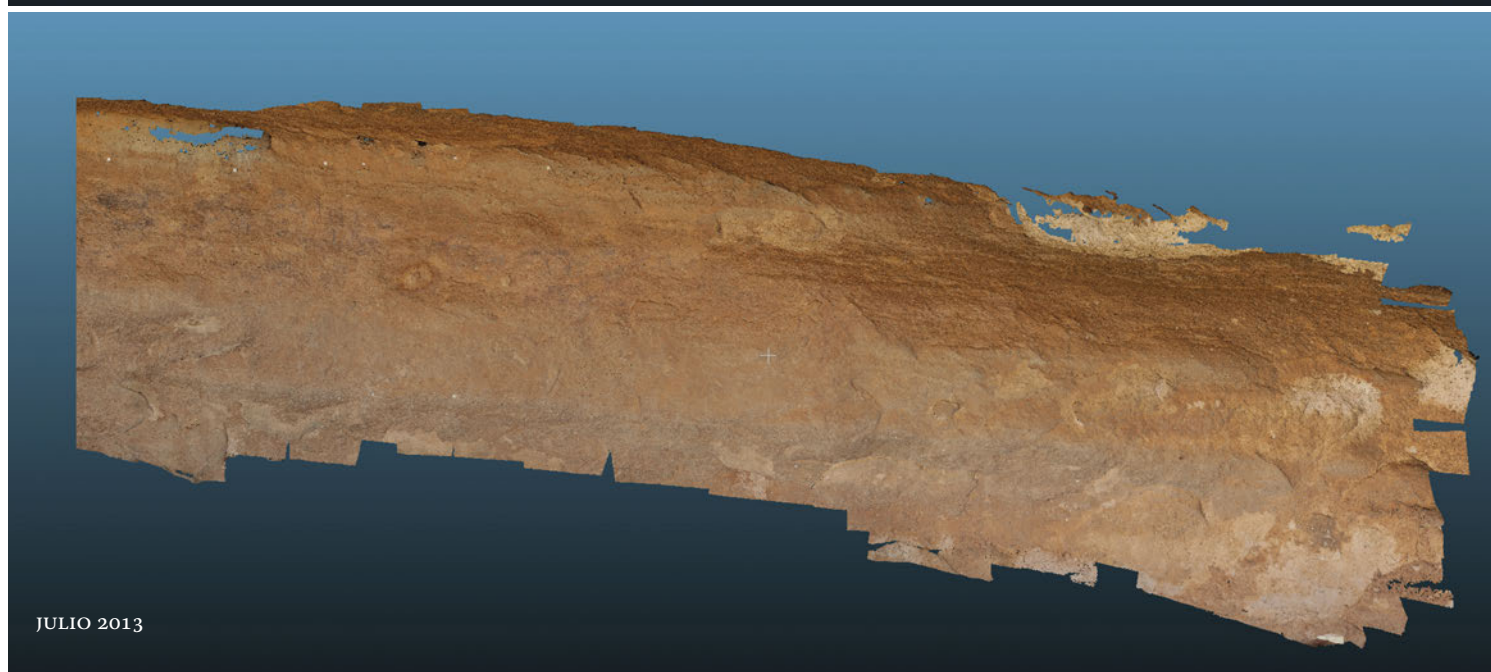
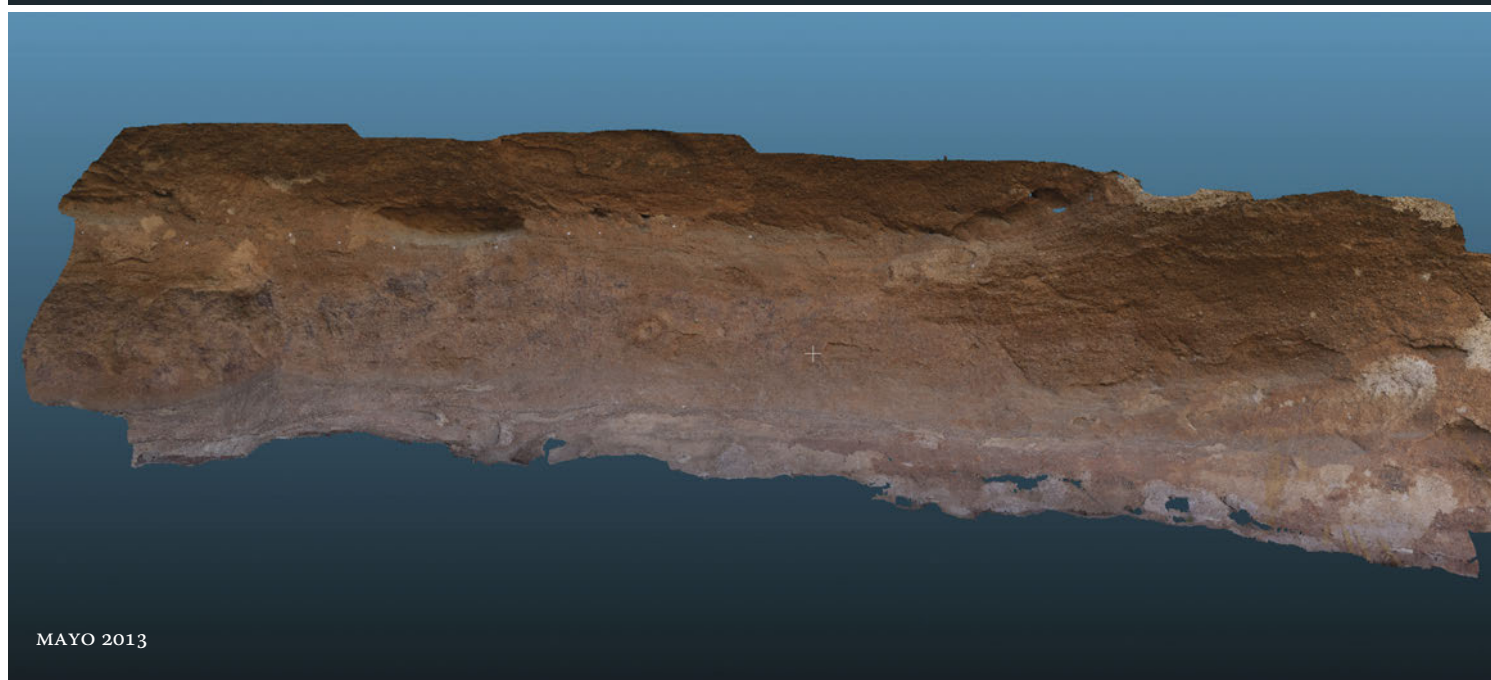
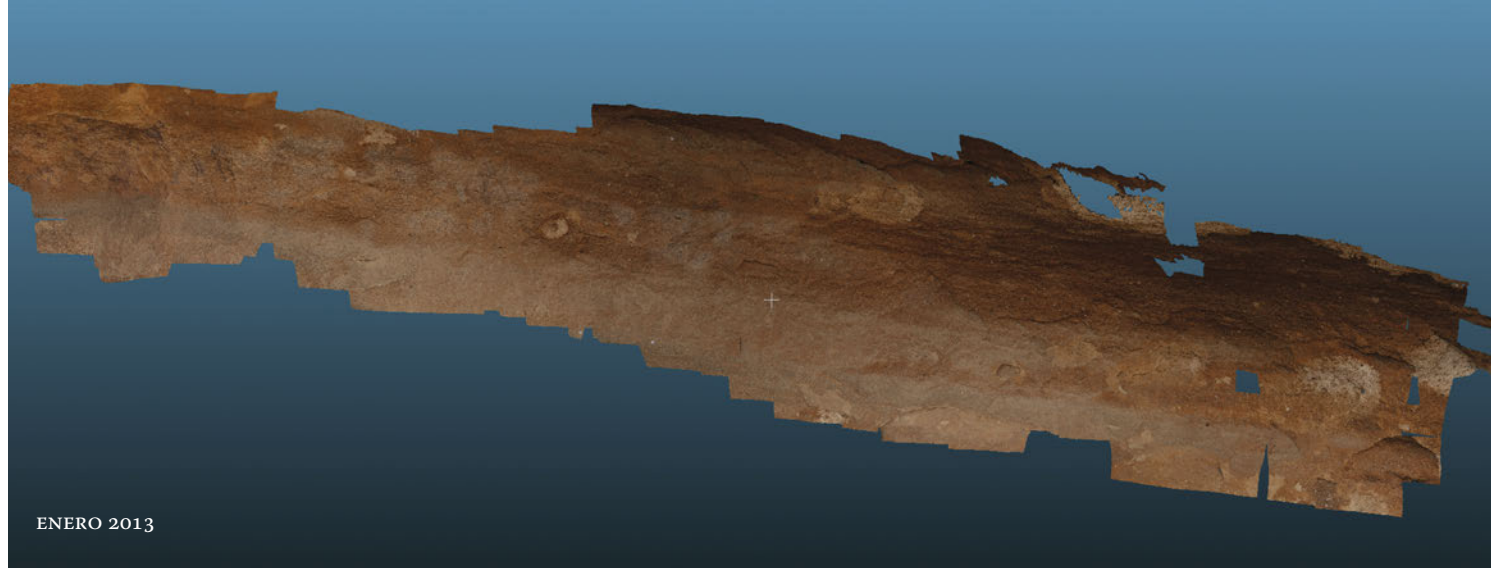


Figura 312. Modelos tridimensionales del sector occidental del Abrigo Grande de Minateda correspondientes a las tres campañas efectuadas. © J.C. Lorente



elevado, indicando que un mayor número de puntos se alejan de la nube de referencia, fuera de los límites de una distribución gaussiana. En cuanto a la comparación entre ambos modelos, y teniendo en cuenta las prevenciones indicadas, no se aprecian cambios reseñables; las únicas áreas resaltadas por *CloudCompare* corresponden a oquedades naturales o a zonas en sombra.

En el caso del periodo mayo-julio (Fig. 316) se reproduce una situación similar. El alineamiento entre ambas nubes de puntos es aceptable, con un nivel de ruido muy bajo, como señalan los



Figura 314. Modelos tridimensionales del sector occidental del Abrigo Grande de Minateda usados en las comparaciones de la segunda fase del proyecto 4D © J.C. Lorente



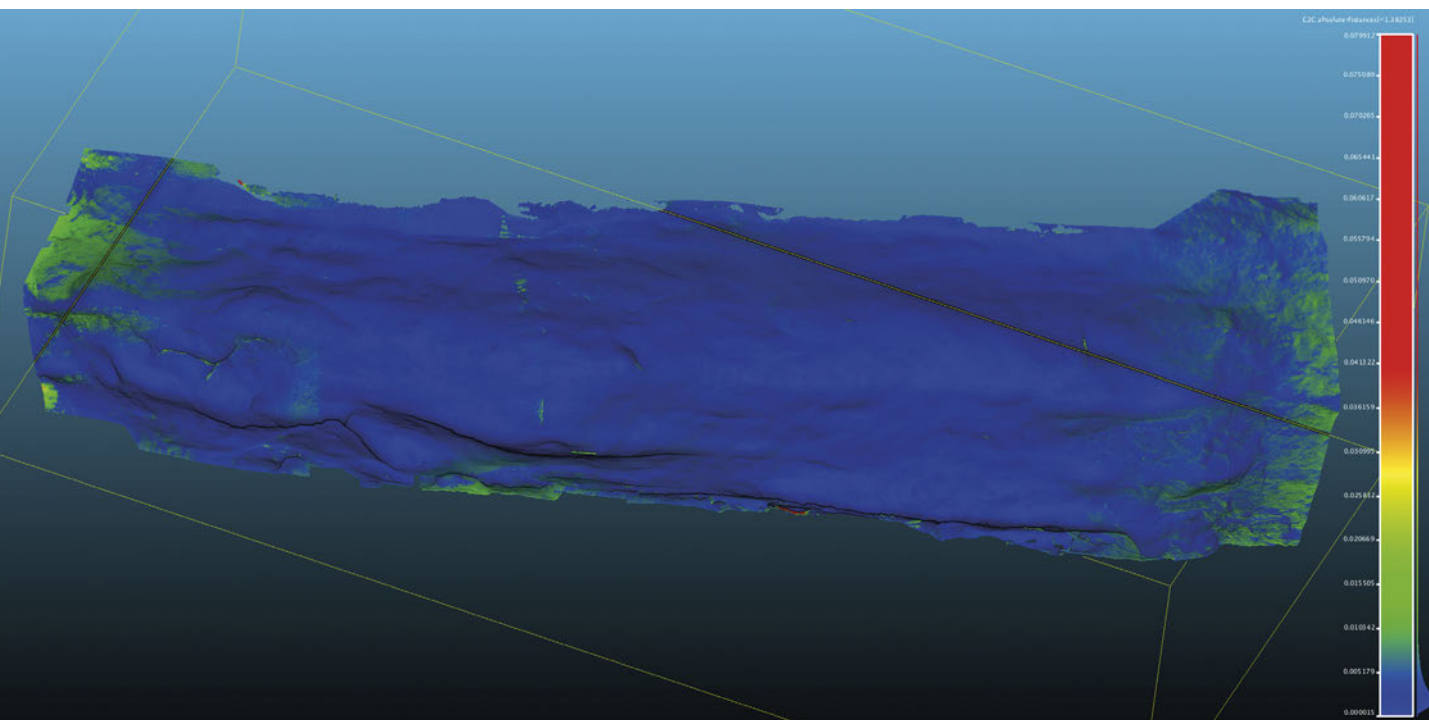
valores del test de  $\chi^2$ . No se identifican alteraciones volumétricas en este sector del abrigo mediante *CloudCompare*. Tan sólo se detectan áreas de sombra diferenciadas en el interior de oquedades profundas y algunas formas de relieve generadas por *PhotoScan* pero inexistentes en la realidad.

En la comparativa entre mayo y julio (Fig. 318) del sector oeste se aprecian los mismos problemas reseñados para el periodo enero-mayo. El modelo de mayo presenta algunos problemas geométricos, lo que genera que el acoplamiento entre los dos momentos no sea tan preciso como

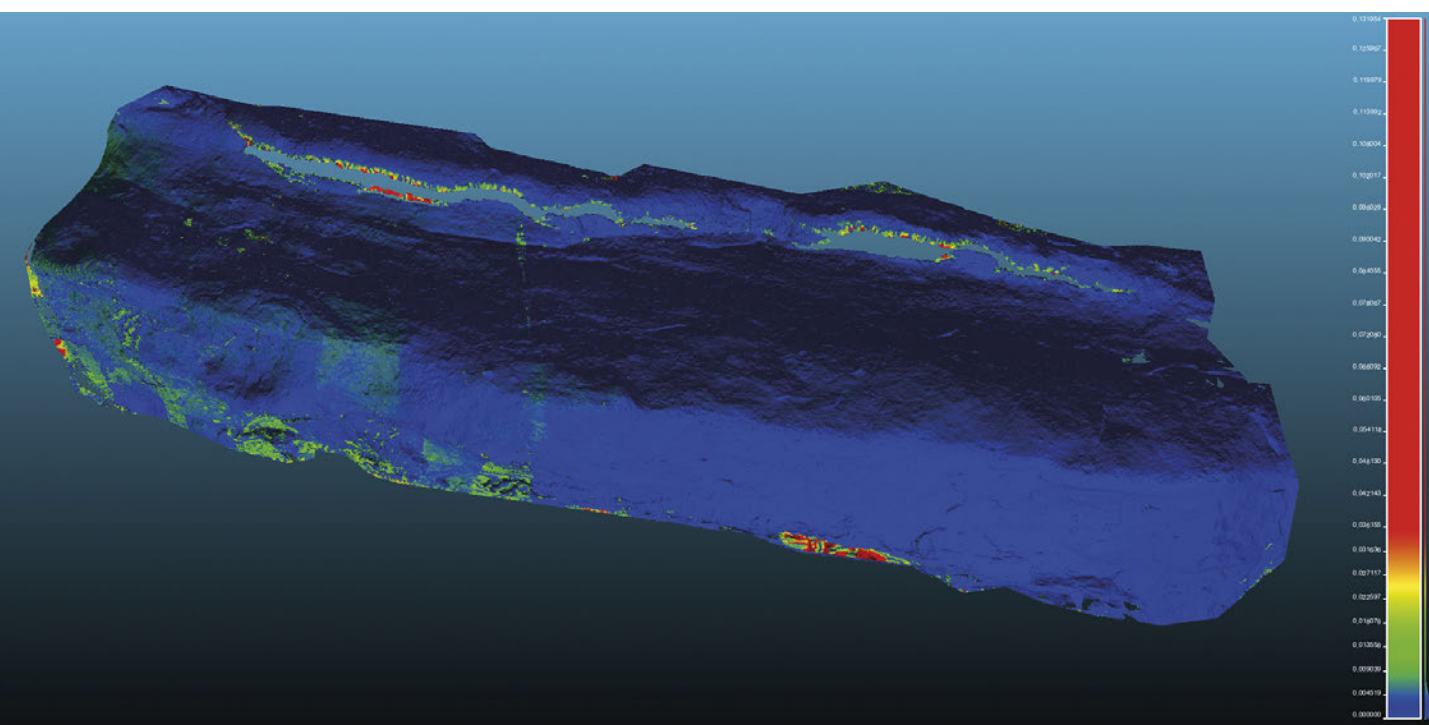


315

Figura 315. Modelos 3D del sector oriental del friso del Abrigo Grande de Mineda, usadas en la segunda fase del proyecto 4D. © J.C. Lorente



316



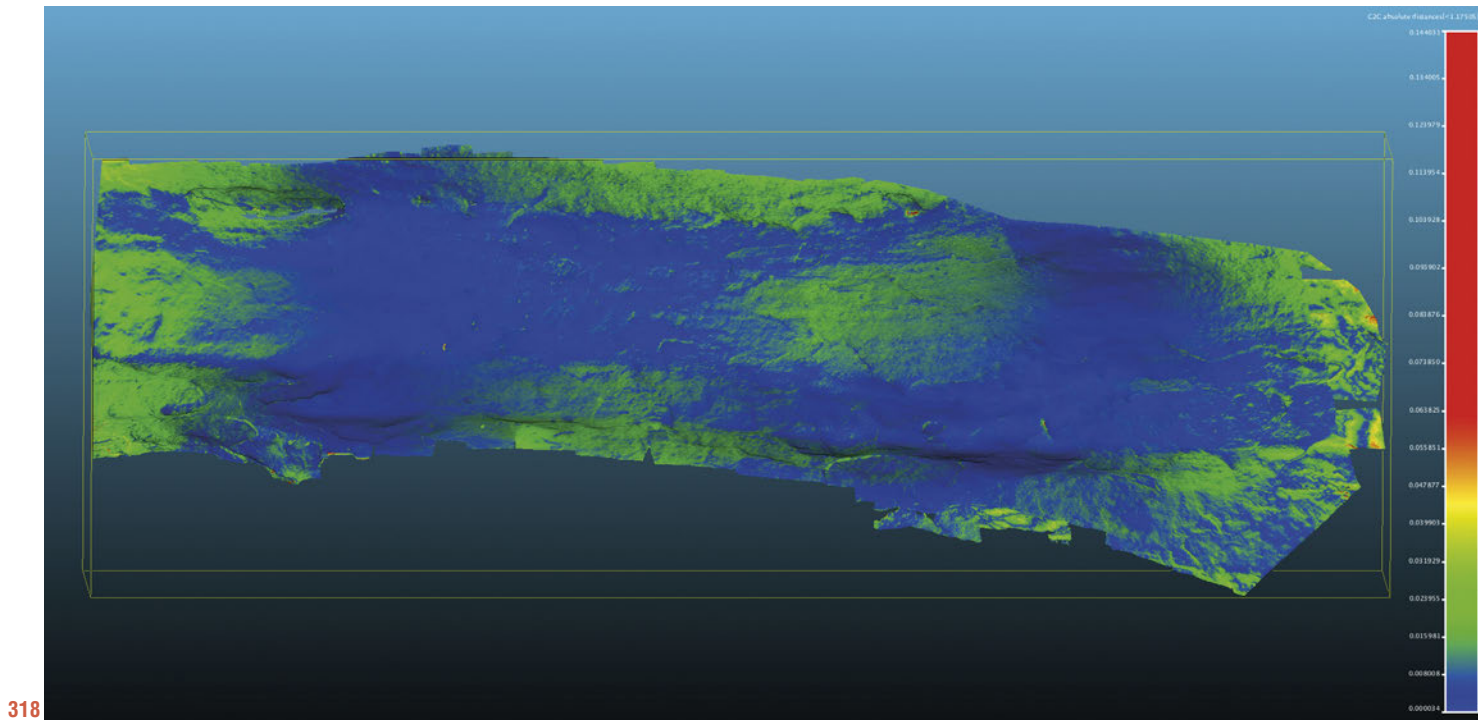
317

Figura 316. Comparativa de los modelos 3D de mayo y julio en el sector occidental del Abrigo Grande de Minateda. © J.F. Ruiz.

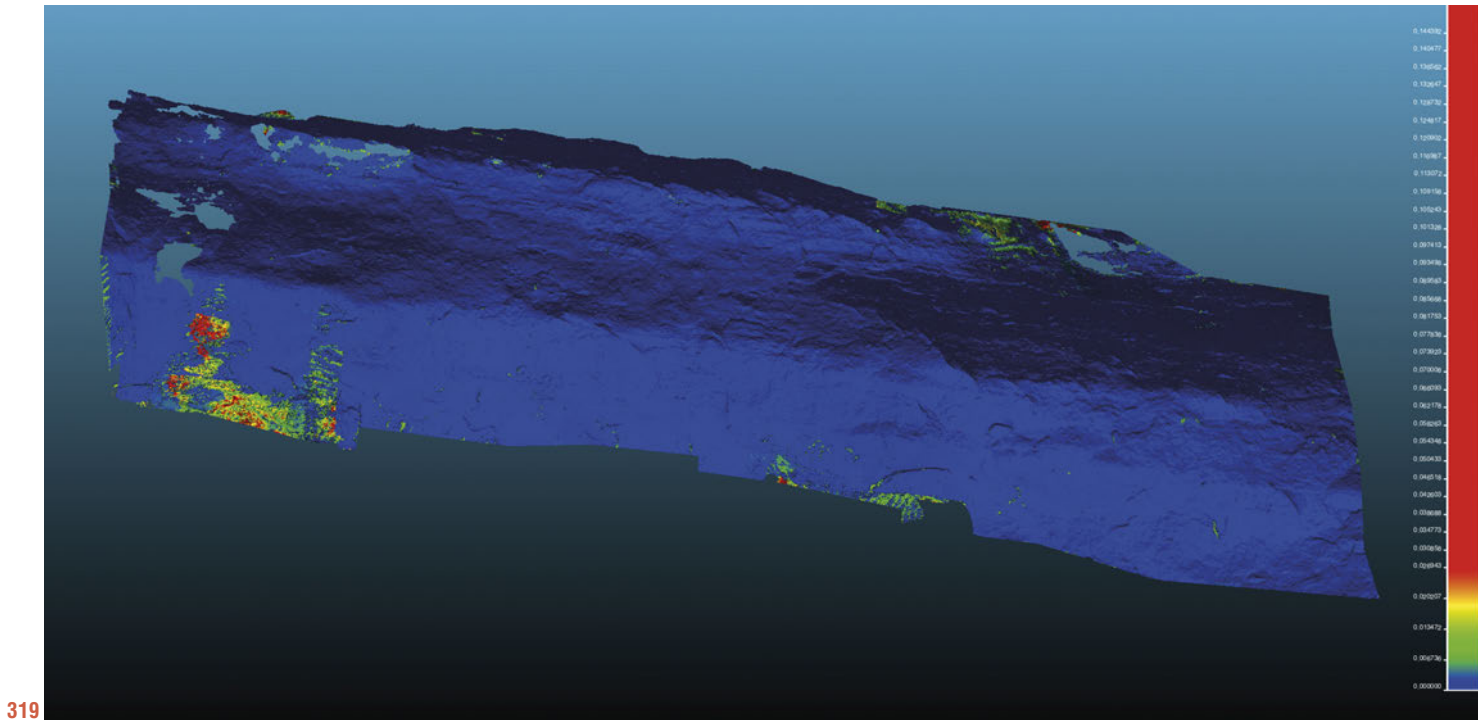
Figura 317. Arriba: comparación efectuada entre los modelos 3D de julio y noviembre 2013 en el sector occidental del Abrigo Grande de Minateda. © J.F. Ruiz.

sería deseable. El único punto donde podría haber sucedido un cambio volumétrico corresponde al suelo del abrigo bajo los caballos situados en el centro del panel. Se trata del interior de un recoveco en el que se detecta un cambio, que las fotografías no confirman, y que fue verificado in situ, siendo descartado. Aparte de esto, las modificaciones que identifica *CloudCompare* corresponden a las diferentes apariencias que presentan las áreas de sombra y las oquedades en ambos modelos.

En la comparación del sector izquierdo u occidental en el período julio-noviembre hemos observado que el encaje entre ambos modelos no ha sido óptimo (Fig. 317), con un RMS de



318



319

0,0065, probablemente debido a la presencia de zonas con mala cobertura y elevado nivel de ruido en el modelo de noviembre 2013. La distancia media es de 0,0031 y la desviación estándar de 0,0051. No se observa ningún tipo de cambio en el panel que se deba a alteraciones, o pérdidas. Todas las diferencias que se aprecian son debidas a las reconstrucciones de la geometría a partir de un número insuficiente de imágenes. No obstante, se deberían haber identificado los cambios ocasionados por alguna de las muestras tomadas a primeros de noviembre para análisis geológico. La única muestra que se encuentra en una zona incluida en el modelo, y que,

Figura 318. Comparación entre los modelos 3D de mayo y julio del sector oriental del Abrigo Grande de Minateda. © J.F. Ruiz  
 Figura 319. Arriba: comparativa entre julio y noviembre 2013 del sector oriental del Abrigo Grande de Minateda. © J.F. Ruiz.

por tanto, se debería haber detectado, es la muestra AGM003. *CloudCompare* no ha conseguido identificar ese cambio. Las razones de esto pueden deberse tanto a las propias dimensiones de la muestra (es casi superficial, no más allá de 2 mm de espesor, aunque con una superficie importante), como debido a la resolución con que se ha construido el modelo. No obstante, la resolución es de alrededor de 0,3 mm/píxel, lo que está bastante por encima de la media del resto de modelos 3D realizados, pero sin ser el modelo de más baja resolución. Probablemente se trate de una combinación de ambos factores.

La comparación entre los modelos de julio y noviembre 2013 en la parte oriental o derecha (Fig. 319) arroja un RMS es de 0,0023, lo que refleja que la calidad final de estos dos modelos es superior a los logrados en la parte izquierda. La distancia media es de 0,0026 y la desviación estándar de 0,0051. No se aprecian cambios reales en la parte meridional del friso. Las únicas variaciones corresponden a defectos en la generación del relieve por parte de *PhotoScan*.

En el período noviembre 2013 a enero 2014 la situación es parecida. El RMS es de 0,0046, con una distancia media de 0,0057 y una desviación estándar de 0,0073. Al igual que en el período anterior no hemos podido detectar ningún cambio que podamos considerar real. Todas las diferencias corresponden a problemas de la reconstrucción del relieve.

El resultado apreciado en la comparación entre los modelos de noviembre 2013 y enero 2014 en la parte meridional es muy similar. El RMS es de 0,0083, sin duda debido a las dos zonas con relieve defectuoso producido por una cobertura fotográfica insuficiente. La distancia media es de 0,0045 y la desviación estándar de 0,0084. La totalidad de los cambios que se observan en la comparativa son resultado de problemas en el relieve generado o debido a las sombras que se producen en la multitud de oquedades que presenta este panel.

En conclusión, durante el período analizado no se han apreciado cambios volumétricos en el Abrigo Grande de Minateda. No obstante, los modelos generados presentan problemas de geometría que condicionan la capacidad de detección.

#### 4.5.2. Fotografía gigapíxel

Como hemos señalado anteriormente en este abrigo se han realizado cuatro calcos en diferentes momentos históricos. Dos de ellos se efectuaron a principios de siglo XX; por un lado, el publicado por Breuil (1920) y, por otro, el realizado por Benítez Mellado bajo la supervisión de Hernández-Pacheco (1959), calco depositado en el Museo Nacional de Ciencias Naturales y que no ha sido publicado en su integridad. A principios del siglo XXI se han realizado otros dos calcos; el dirigido por Mauro S. Hernández, al que no hemos tenido acceso, y el dirigido por Martí Mas en colaboración con Rafael Maura por encargo del Museo Comarcal de Hellín. La autorización concedida para usar esta última reproducción nos ha servido para comparar el estado actual del abrigo con el documentado por Breuil o Benítez Mellado, y para comparar las fotografías gigapíxel con la última referencia existente sobre el conjunto.

Entre los calcos consultados no existen grandes discrepancias, más allá de la precisión de la especie de algunos animales que Breuil consideraba de fauna glacial. Por un lado se observa que respecto a la reproducción de Breuil faltan una serie de figuras en ambos extremos del panel, que fueron expoliadas años atrás. No obstante, la ausencia más notable se sitúa en el

centro del panel, por encima del caballo localizado más a la izquierda, en el que Breuil documentó varias figuras humanas en un área que se presenta muy alterada en la actualidad, quizás por acción antrópica, aunque no se puede descartar un deterioro natural. Curiosamente, el sector del panel en el que falta un profundo fragmento de forma casi circular, y en el que se supone que en fechas recientes se arrancó una figura, no presenta ningún elemento gráfico en el calco de Breuil, por lo que la única forma de conocer la apariencia de esta supuesta figura sería comparar con los calcos depositados en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, o acceder a algún registro fotográfico que pudiese haber registrado dicha zona con anterioridad a la agresión.

Es necesario indicar que el calco de Breuil cuenta con serias distorsiones de escala y que las pictografías de ambos extremos fueron reubicadas y concentradas para facilitar su publicación. En un par de lugares, el trabajo realizado por el equipo de M. Mas ha permitido la identificación de figuras no documentadas inicialmente por Breuil.

La captura de imágenes gigapixel y su transformación mediante *DStretch* no ha detectado ninguna alteración de las pictografías desde la fecha de realización del calco del equipo de Mas hasta el presente. Únicamente se han detectado manchas de coloración intensa en las zonas inferior y superior del área recientemente limpiada por Eudald Guillamet, que podrían responder a restos de pictografías muy alteradas.

El tratamiento *DStretch* llevado a cabo en la segunda fase del proyecto resalta de modo más claro alguna de las pictografías que en la versión de la primera campaña no se percibían correctamente; aunque menos frecuentemente, algunos grupos de imágenes (como es el caso de los arqueros listados de la fase 6 de Breuil, 1920) se aprecian peor en esta nueva versión. Es especialmente interesante la identificación de lo que podría ser un grupo de líneas paralelas, aparentemente infrapuestas a varios zoomorfos levantinos en el centro del panel (Fig. 340). Estos elementos podrían corresponder a motivos encuadrables en el denominado arte esquemático antiguo (Hernández, 2006). El nuevo tratamiento *DStretch* de las fotografías gigapixel permite apreciar con claridad la multitud de repintes existentes en el panel, y en muchos casos se puede observar el complejo proceso de superposición existente. Asimismo, la descorrelación de estas imágenes hace visibles motivos realizados siguiendo modelos formales similares pero que fueron ejecutados con pinturas de diferente tonalidad.

<b>ABRIGO GRANDE DE MINATEDA</b>				
<b>Panel</b>	Sector 0 05/13	Sector 0 01/14	Sector 1 05/13	Sector 1 01/14
<b>Fecha</b>	06/05/2013	04/01/2014	06/05/2013	04/01/2014
<b>Autor</b>	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente
<b>Dimensiones pixeles</b>	19900 x 16471	25743 x 23349	19900 x 17976	22455 x 21393
<b>Proyección</b>	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica
<b>Fotografías usadas</b>	84	88	56	54
<b>Cámara</b>	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II
<b>Objetivo</b>	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM
<b>Autor DStretch</b>	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz
<b>Transformación</b>	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.7 cyan 0.6, Flat 20	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.7 cyan 0.6, Flat 20

<b>Panel</b>	Sector 5 05/13	Sector 5 01/14	Sector 6 05/13	Sector 6 01/14
<b>Fecha</b>	06/05/2013	04/01/2014	06/05/2013	04/01/2014
<b>Autor</b>	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente
<b>Proyección</b>	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica
<b>Dimensiones pixeles</b>	19900 x 18527	24788 x 18798	18260 x 19900	24999 x 21332
<b>Fotografías usadas</b>	48	56	54	70
<b>Cámara</b>	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II
<b>Objetivo</b>	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM
<b>Autor DStretch</b>	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz
<b>Transformación</b>	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 10	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 10

Sector 2 05/13	Sector 2 01/14	Sector 3 05/13	Sector 3 01/14	Sector 4 05/13	Sector 4 01/14
06/05/2013	04/01/2014	06/05/2013	04/01/2014	06/05/2013	04/01/2014
Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente
19900 x 18370	26036 x 24782	19900 x 19528	24367 x 21673	19900 x 18896	24707 x 17581
cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica
63	78	69	70	64	62
Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II
Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM
Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz
LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 20	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 15	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 15

Sector 7 05/13	Sector 7 01/14	Sector 8 05/13	Sector 8 01/14	Sector 9 05/13	Sector 9 01/14
06/05/2013	04/01/2014	06/05/2013	04/01/2014	06/05/2013	04/01/2014
Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente	Juan Carlos Lorente
cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica
19739 x 19900	23555 x 17274	19900 x 18004	27360 x 19552	19900 x 15836	32358 x 19599
70	56	76	72	100	72
Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II	Canon EOS 5D Mark II
Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM	Canon EF 70-200 mm f/4 L IS USM
Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz	Juan Carlos Lorente	Juan F. Ruiz
LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 10	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 10	LXX > LDS (10) > L: 0.40 / A: 1.00 / B: 0.50 + HSL + Luminance mult 1.3/ Saturation mult 0.8 > Simple > Flat 5	LAB 19, AC, ADJ sat 0.8 cyan 0.7, Flat 10

L'ANTHROPOLOGIE



Partie gauche du grand abri de Minateda

Figura 320. Calco del sector occidental del Abrigo Grande de Minateda (Breuil, 1920)



T. XXX, Pl. I.



la — Echelle : 1/10.

L'ANTHROPOLOGIE



Partie droite du grand abr

Figura 321. Calco del sector oriental del Abrigo Grande de Minateda (Breuil, 1920)

T. XXX, Pl. II.



de Minateda — Echele : 1, 20.



Figura 322. Composición con los dos calcos parciales elaborados por Breuil (1920)

L'ANTHROPOLOGIE

T. XXX, P. II.



Partie droite du grand abri de Minateda — Echelle : 1/10.

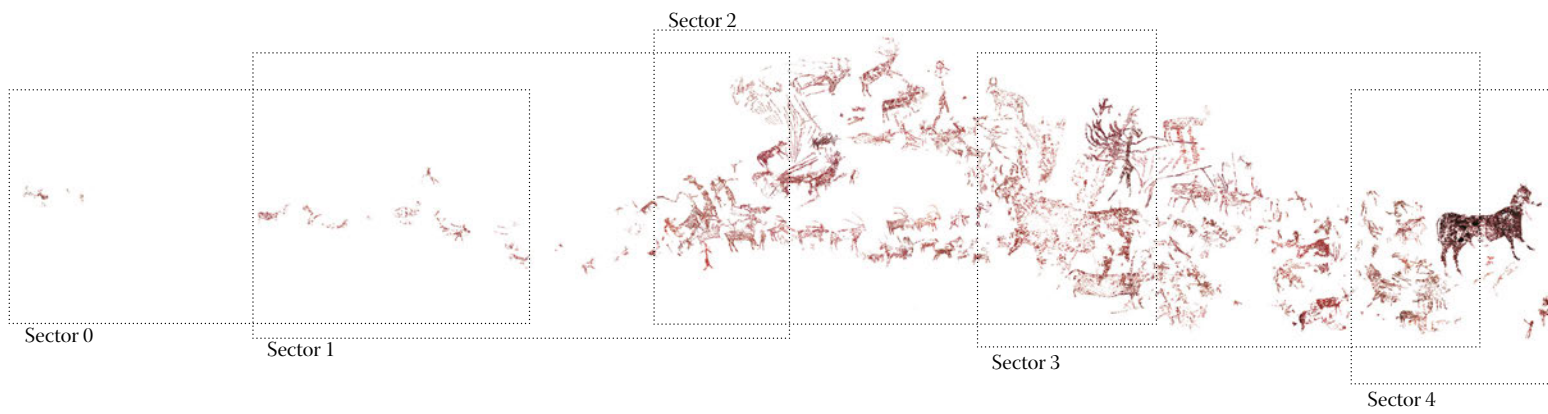
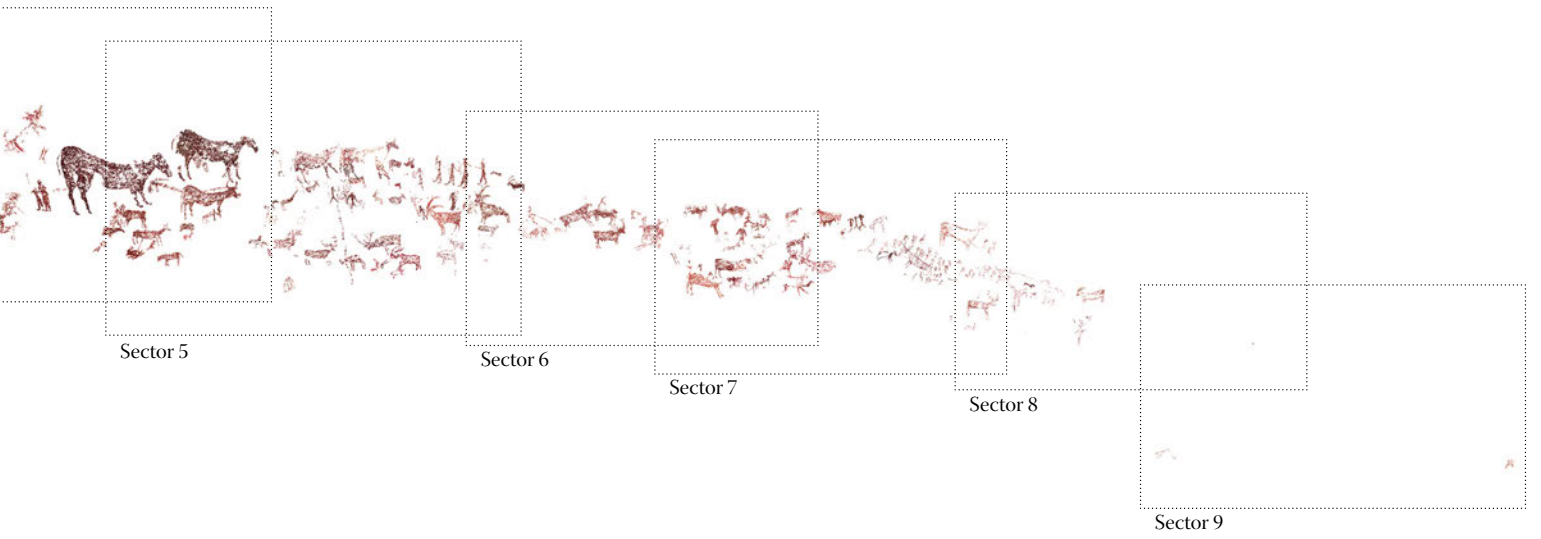


Figura 323. Calco del Abrigo Grande de Minateda efectuado por M. Mas y R. Maura en colaboración con el Museo de Hellín, y ubicación sobre él de las áreas que abarcan las fotografías gigapíxel elaboradas en el proyecto 4D





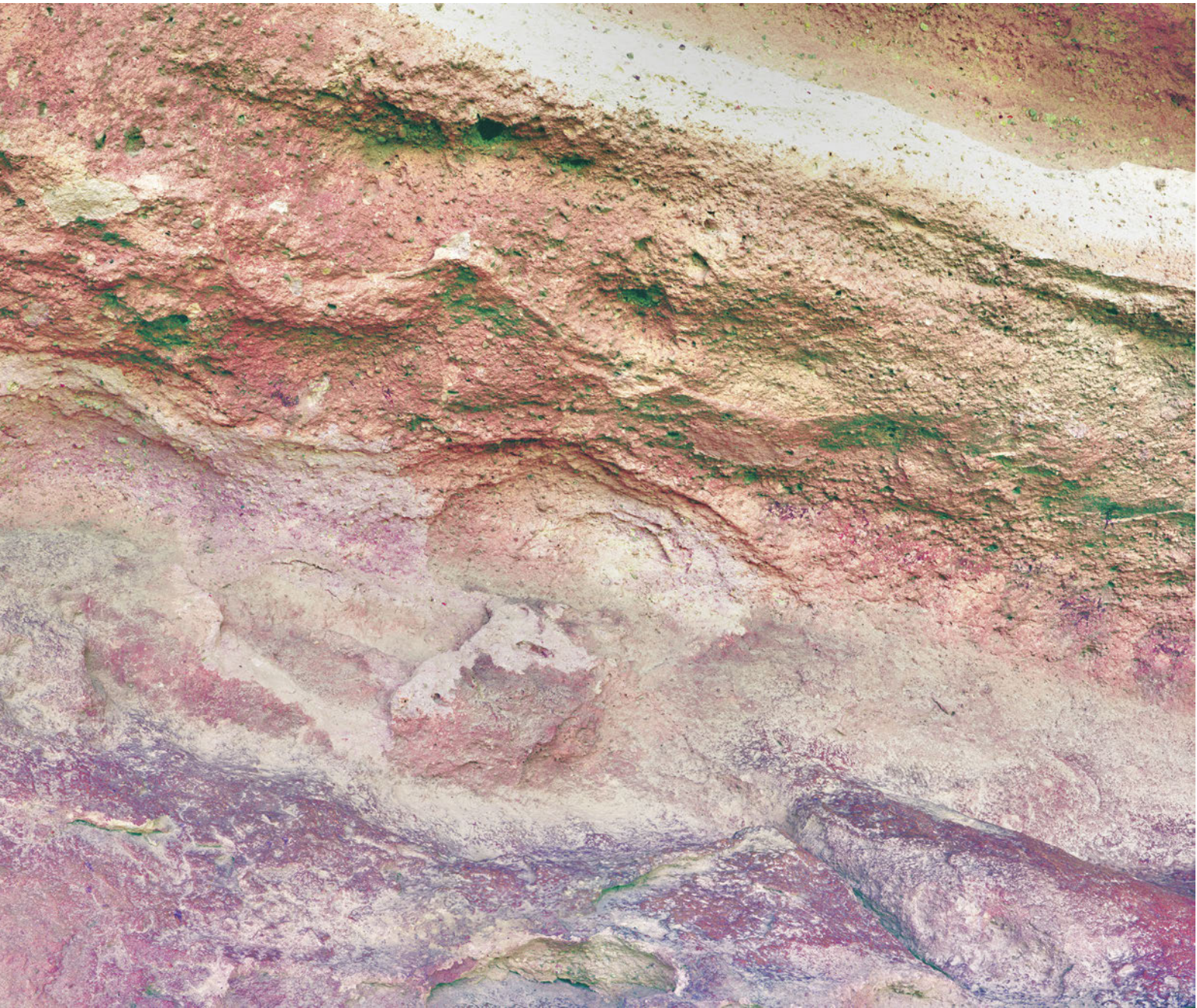
324

Figura 324. Fotografía gigapíxel del sector 0 del Abrigo Grande de Minateda, fase 1. © J.C. Lorente.

Figura 325. Fotografía gigapíxel del sector 1, fase 1, del Abrigo Grande de Minateda © J.C. Lorente





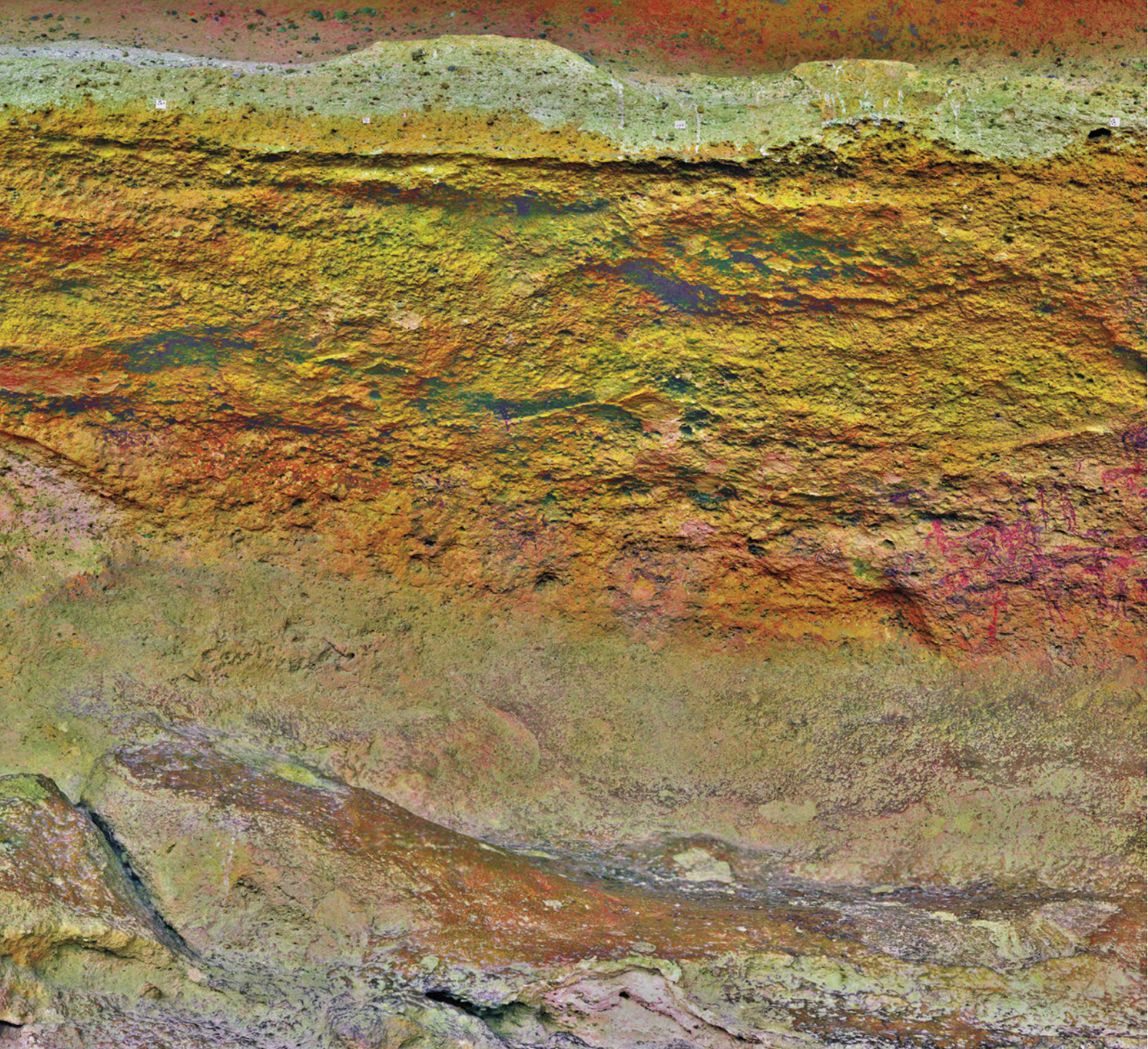




327

Figura 326. Fotografía gigapíxel del sector 0 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 1. © J.C. Lorente y E. Quesada.

Figura 327. El conjunto de motivos pictóricos del sector 0 fueron concentrados por Breuil (1920), distorsionando su posición real en el panel. El grupo de motivos a la izquierda es el que presenta mayores discrepancias.





329

Figura 328. Fotografía gigapíxel del sector 1 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 2. © J.F. Ruiz

Figura 329. Fragmento del calco de Breuil (1920) correspondiente al sector 1. Algunas de las pictografías dispuestas en este sector fueron reubicadas por Breuil, probablemente debido a problemas de edición.



330

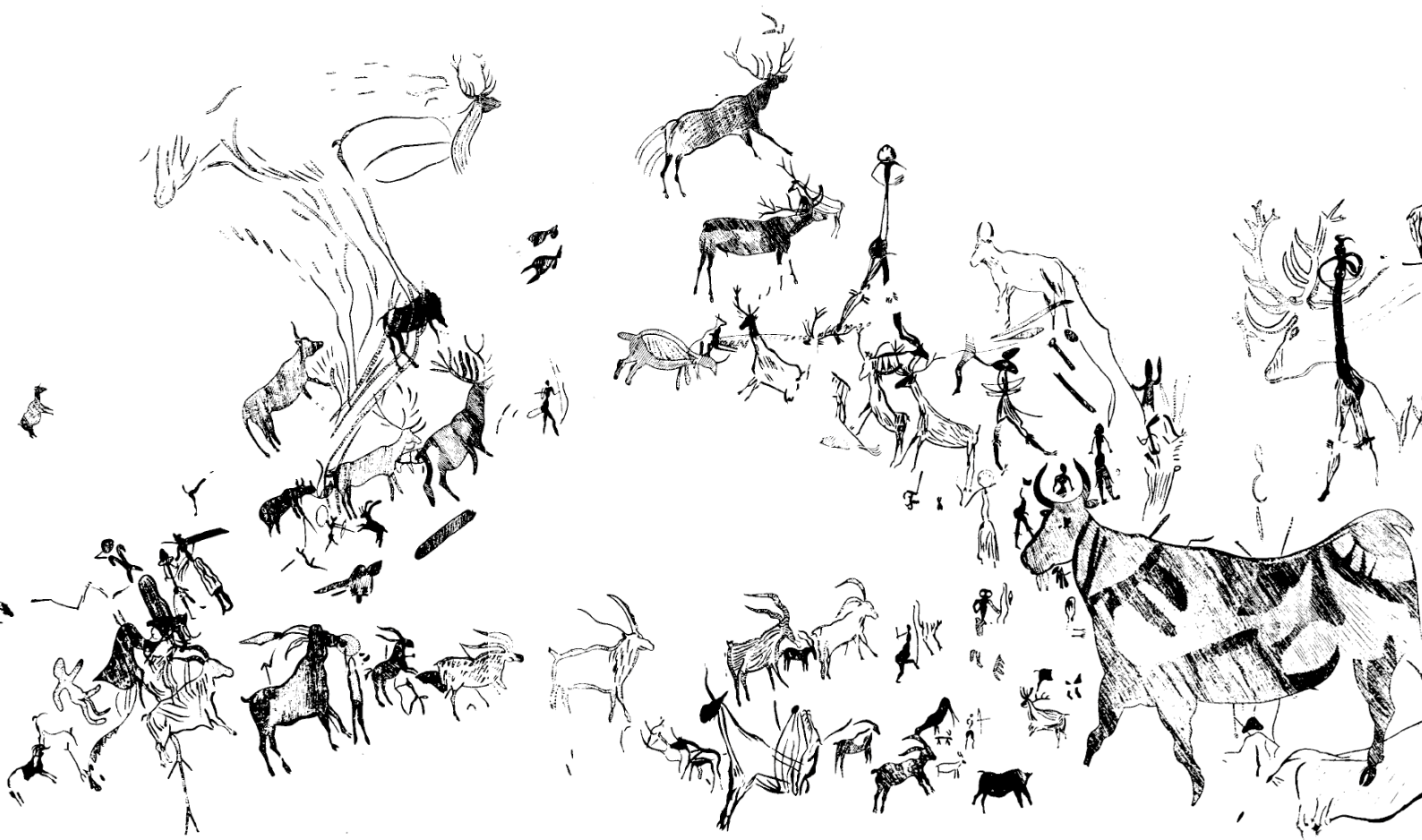
Figura 330. Fotografía gigapixel del sector 2 del Abrigo Grande de Minateda, fase 1.  
© J.C. Lorente.

Figura 331. Fotografía gigapixel del sector 3, fase 1, del Abrigo Grande de Minateda.  
© J.C. Lorente









333

Figura 332. Fotografía gigapíxel del sector 2 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 2. © J.F. Ruiz

Figura 333. Fragmento del calco de Breuil (1920), correspondiente al sector 2 del Abrigo Grande de Minateda

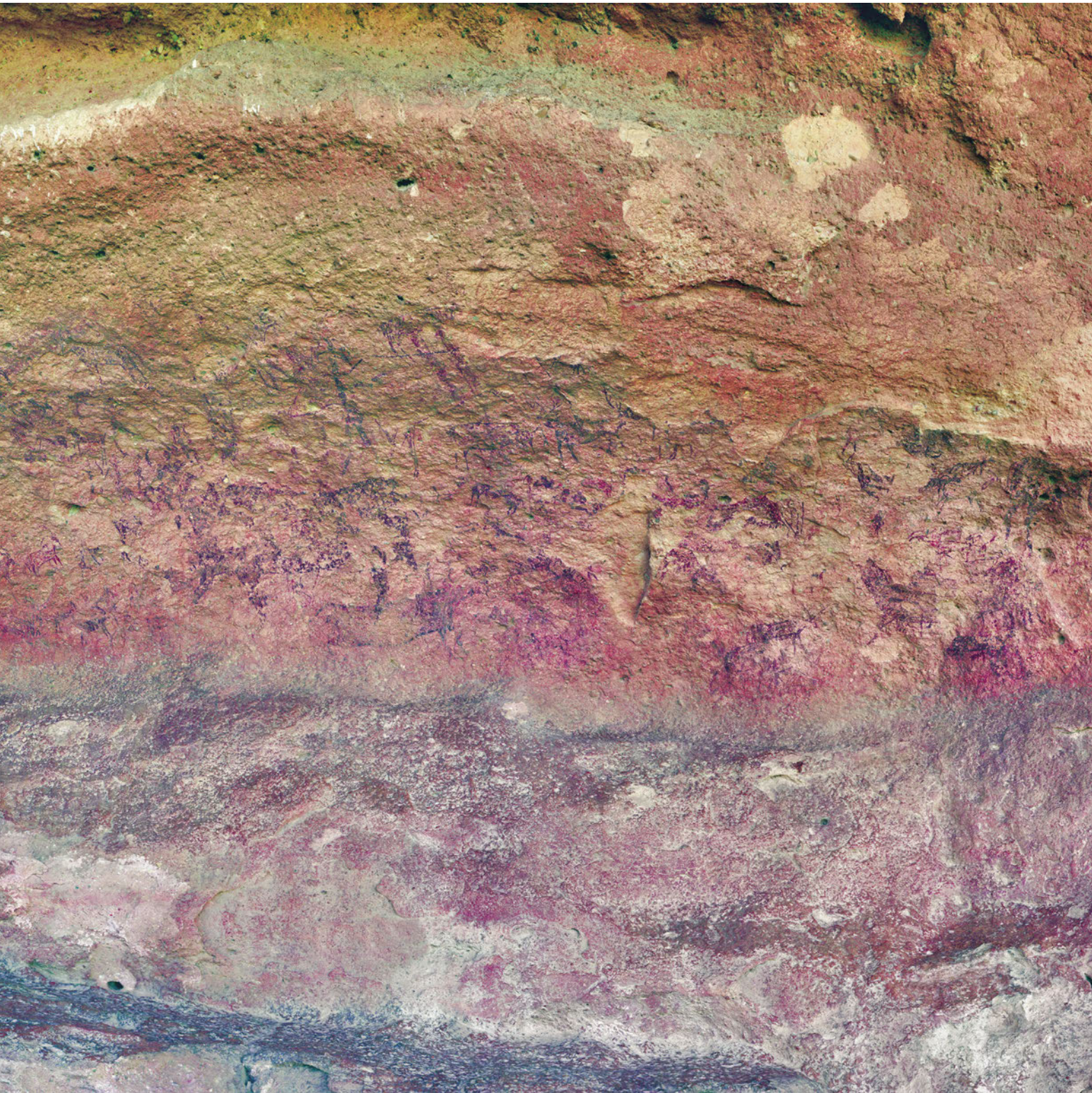




Figura 334. Fotografía gigapixel del sector 3 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 1. © J.C. Lorente y E. Quesada.

Figura 335. Fragmento del calco de Breuil (1920) correspondiente al sector 3 del Abrigo Grande de Minateda



336

Figura 336. Fotografía gigapixel del sector 4 del Abrigo Grande de Minateda, fase 1.  
© J.C. Lorente.

Figura 337. Fotografía gigapixel del sector 5 del Abrigo Grande de Minateda, fase 1.  
© J.C. Lorente



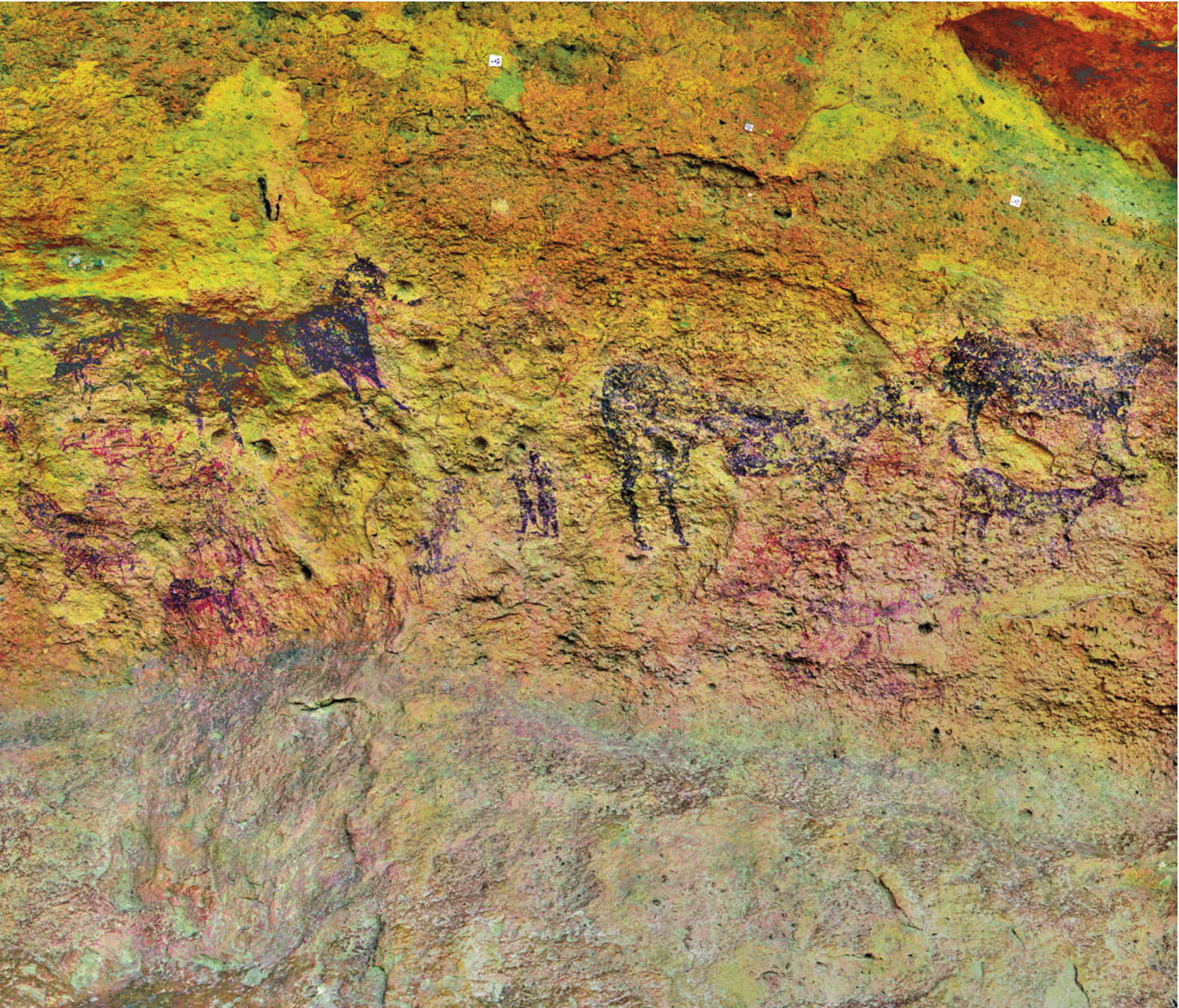
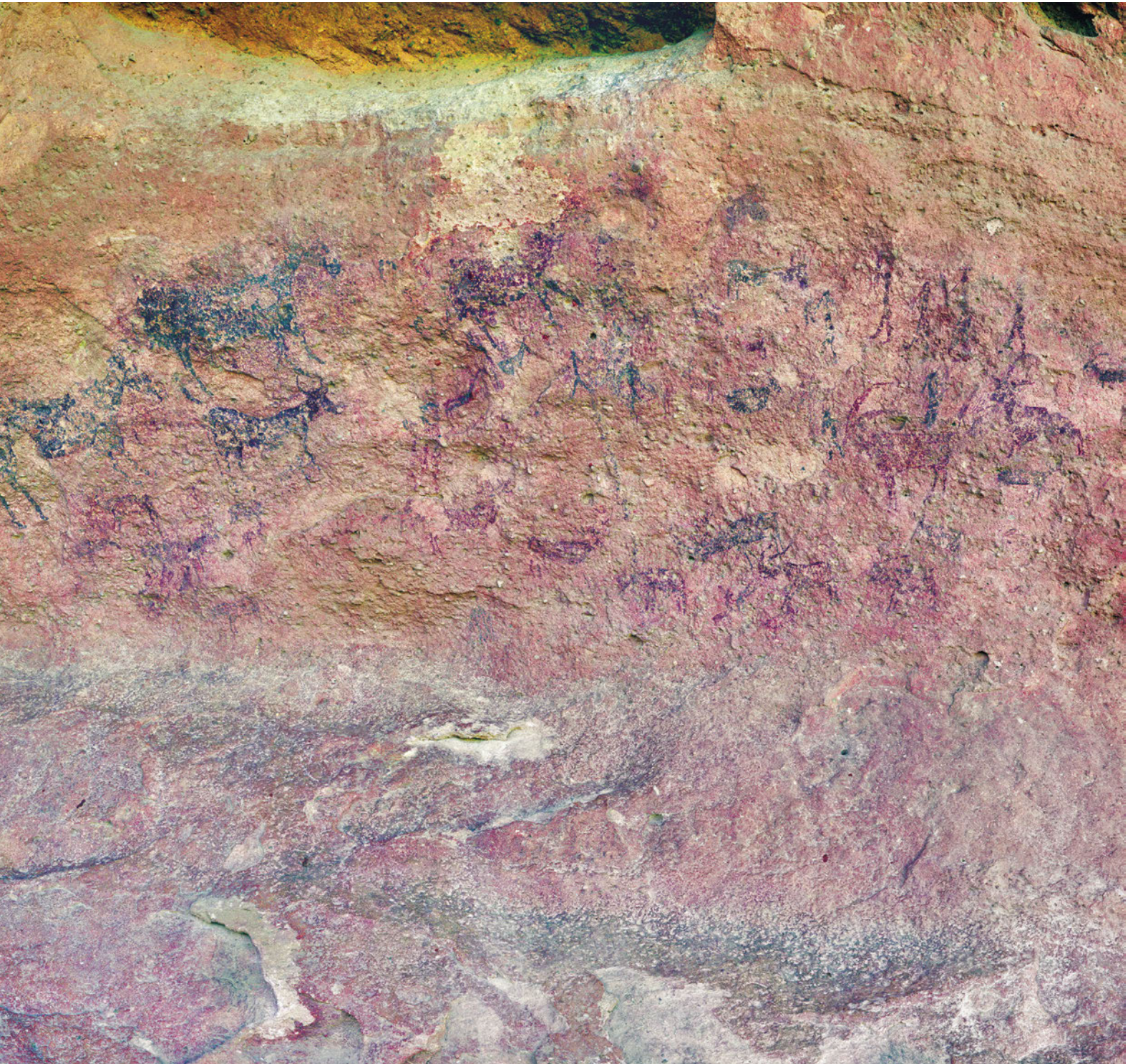




Figura 338. Fotografía gigapíxel del sector 4 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 2 © J.F. Ruiz.

Figura 339. Fragmento del calco de Breuil (1920), correspondiente al sector 4 del Abrigo Grande de Minateda







341

Figura 340. Fotografía gigapíxel del sector 5 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*. © J.C. Lorente y E. Quesada.

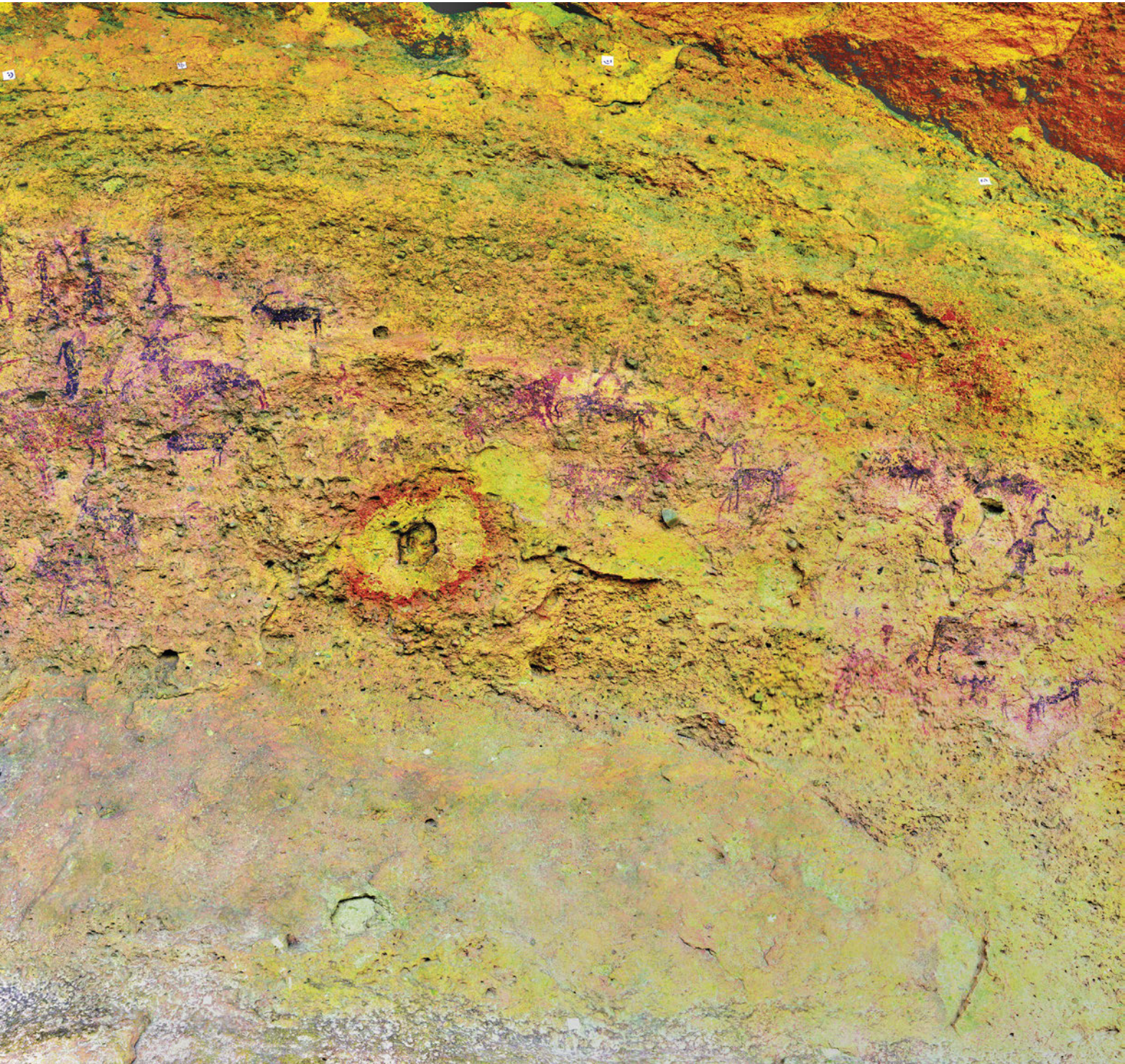
Figura 341. Fragmento del calco de Breuil (1920) correspondiente al sector 5 del Abrigo Grande de Minateda





343

Figura 342. Fotografía gigapíxel del sector 6 del Abrigo Grande de Minateda. © J.C. Lorente.  
Figura 343. Fotografía gigapíxel del sector 7 del Abrigo Grande de Minateda. © J.C. Lorente

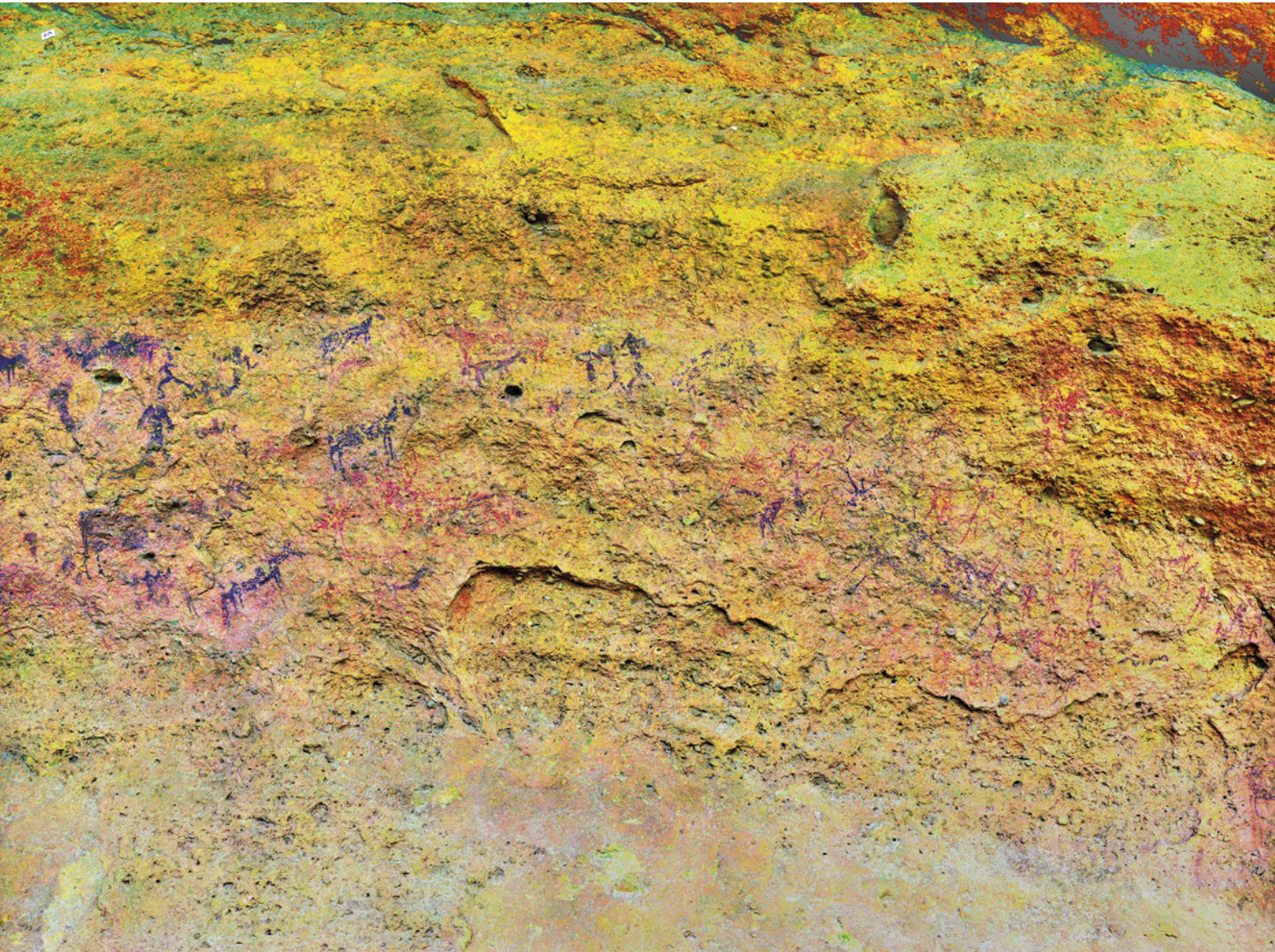




345

Figura 344. Fotografía gigapíxel del sector 6 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 2 © J.F. Ruiz.

Figura 345. Fragmento del calco de Breuil (1920), correspondiente al sector 6 del Abrigo Grande de Minateda





347

Figura 346. Fotografía gigapíxel del sector 7 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 2. © J.F. Ruiz.

Figura 347. Fragmento del calco de Breuil (1920) correspondiente al sector 7 del Abrigo Grande de Minateda







349

Figura 348. Fotografía gigapíxel del sector 8 del Abrigo Grande de Minateda. © J.C. Lorente.

Figura 349. Fotografía gigapíxel del sector 9 del Abrigo Grande de Minateda. © J.C. Lorente

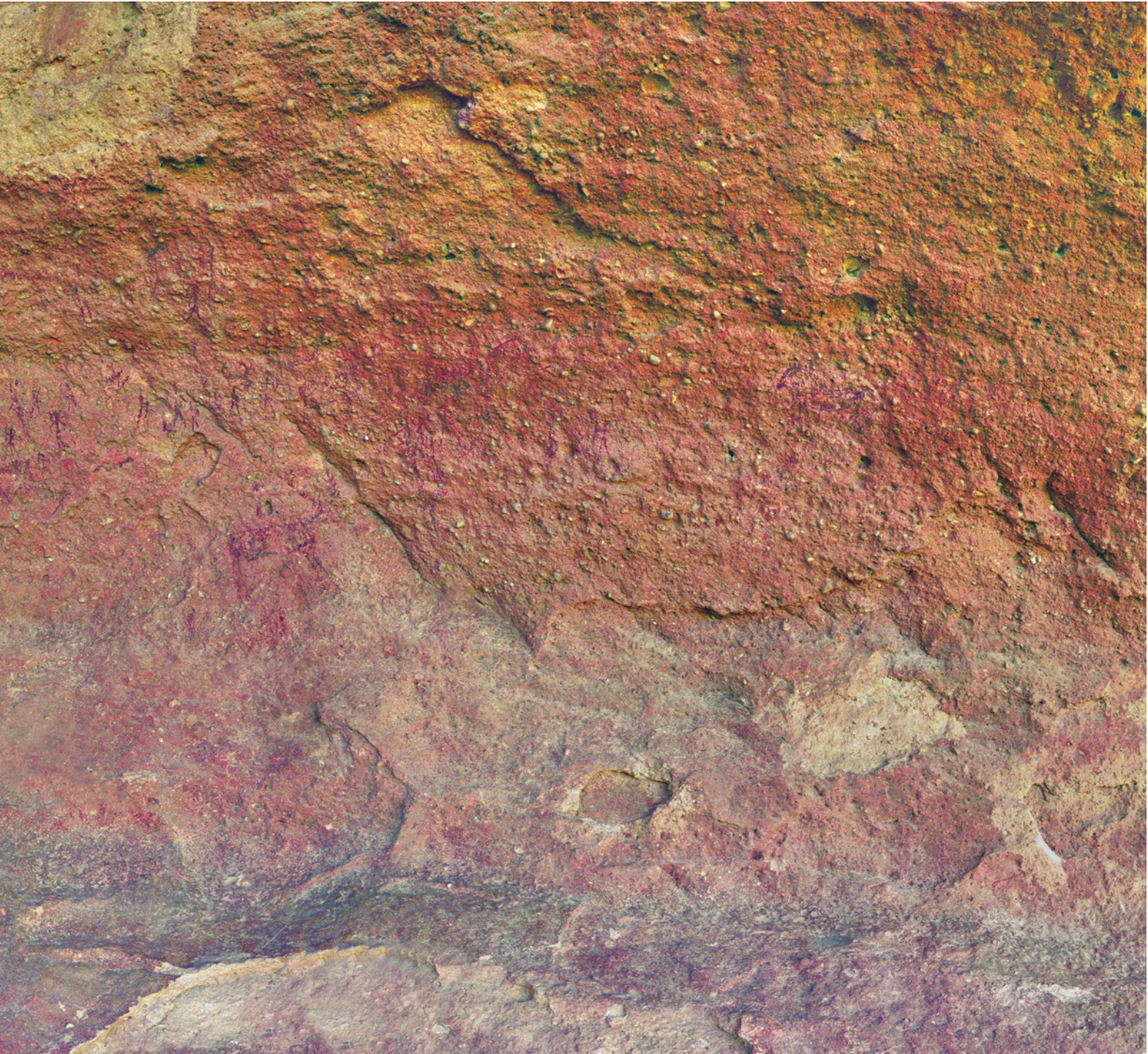




Figura 350. Fotografía gigapixel del sector 8 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 1. © J.C. Lorente y E. Quesada.

Figura 351. Fragmento del calco de Breuil (1920) correspondiente al sector 8 del Abrigo Grande de Minateda

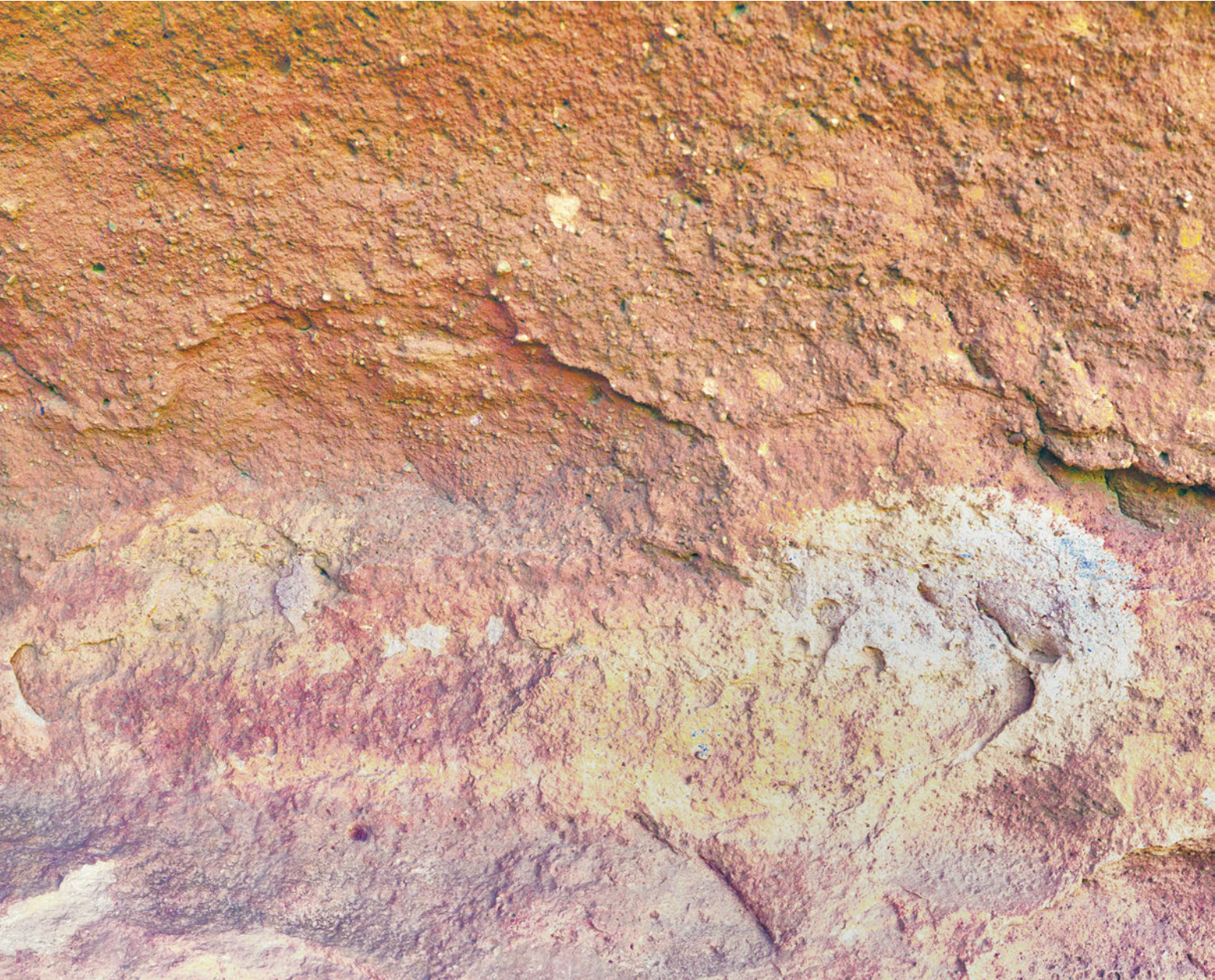




Figura 352. Fotografía gigapíxel del sector 9 del Abrigo Grande de Minateda, tratada mediante *DStretch*, fase 1. © J.C. Lorente y E. Quesada.

Figura 353. Fragmento del calco de Breuil (1920) correspondiente al sector 9 del Abrigo Grande de Minateda, en el que no se han recogido algunos elementos contemplados en el calco de Maura y Mas

### 4.5.3. Caracterización de alteraciones y análisis geológico

La tercera fase de limpieza del friso ha sido realizada por los restauradores Eduald Guillamet y Laura Ballester durante el transcurso de este proyecto, concretamente entre febrero y marzo de 2013, de tal modo que aunque se puedan documentar placas y escamas, éstas han sido entonadas por lo que el proceso de detección semiautomática con el SIG ha sido imposible. No obstante, se registraron los desconchados de los laterales del abrigo, tanto en el extremo derecho como izquierdo.

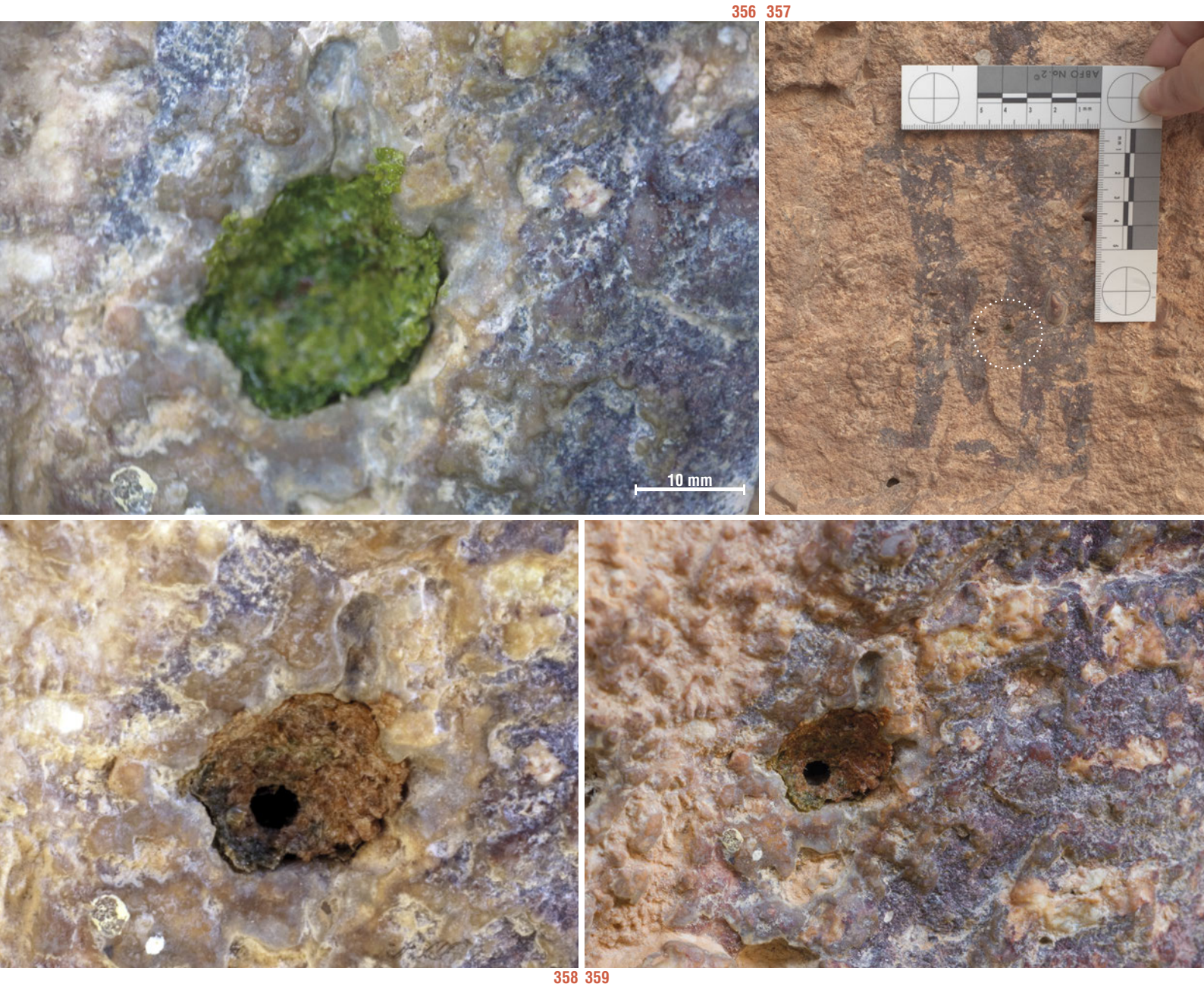
De igual modo, y debido a su tamaño y naturaleza, no han sido detectados por procedimientos informáticos automatizados las alteraciones de film de microorganismos, no obstante en el trabajo de campo, concretamente en la campañas de mayo y julio, se han documentado pequeñas manchas en la parte de la entrada del panel que afectan directamente a las figuras, de aspecto grasiento (Fig. 220 y 221) y que no estaban presentes en estas zonas en la campaña de enero. Además, se ha podido documentar desde las jornadas de mayo, el crecimiento de un microorganismo fotosintético (que ha ido variando su coloración) en un microtaffoni localizado entre la mujer y el niño del panel principal (Fig. 356-359). Entre las hipótesis barajamos la posibilidad de que se trate del nido de un insecto, que cerrase el orificio con barro mientras se desarrollaba la larva. La humedad habría causado la aparición de la formación vegetal, quizás

354 355



Figura 354. Restos de una de las manchas de aspecto grasiento aparecidas en el lapso mayo-junio en el Abrigo Grande de Minateda. © J. Pereira.

Figura 355. Centro: detalle de una de estas manchas, probables agresiones antrópicas, afectando a una pictografía. © J. Pereira



un alga. Tras la eclosión habría abierto un orificio en la cubierta de barro para salir al exterior. A partir de noviembre no identificamos modificaciones.

La actividad vegetal, también ha variado, ya que desde febrero hasta julio, se ha documentado el crecimiento en la parte inferior derecha del abrigo, de una pequeña higuera, seca en el mes de febrero, sana y en crecimiento en mayo-junio. La actividad biológica se completa con la presencia de telas de araña en pequeños microtaffoni.

En cuanto a las alteraciones de origen antrópico son abundantes en este abrigo. Por un lado documentamos acción directa en forma de graffitis incisos, restos de materiales de construcción usados para la protección y desprendimientos del soporte provocados por el contacto del andamio en la parte izquierda del abrigo. Por último, la acción indirecta queda documentada en la plataforma del abrigo mediante una pátina de contacto-desgaste.

Figura 356. Microfotografía correspondiente al mes de junio de 2013 de la formación vegetal detectada. © J.F. Ruiz.

Figura 357. Zona en la que se localizó la aparición de la formación vegetal fotosintética a partir del mes de junio. Con anterioridad no se había observado su presencia. © J. Pereira.

Figura 358. Macrofotografía de la misma zona en el mes de noviembre de 2013, en el que se aprecia la aparición de un orificio. © J. Pereira.

Figura 359. Macrofotografía de este sector en enero de 2014. © J.F. Ruiz

#### 4.5.3.1. Contexto geológico

El Terciario de los alrededores de Hellín se caracteriza por una sucesión de transgresiones y regresiones marinas que hacen variar las características de los depósitos sedimentarios (Castaño et al., 1984) (Fig. 212-213). En el caso del Mioceno se distinguen: dos niveles inferiores de naturaleza esencialmente marina, dos medios continentales de tipo lacustre con influencia fluvial (uno de arcillas y arenas rojas alternantes con bancos de brecha y de pudinga); otro de caliza blanca y, por último, el nivel superior lo forma un banco de marga yesífera (Gómez de Llanera, 1934-1935).

El Mioceno marino, que es el que nos interesa en este capítulo dado que es el que conforma el Abrigo Grande de Minateda, se encuentra formando cerros que se presentan como rupturas de pendientes en el paisaje. A lo largo del tiempo se han ido creando formas de erosión con una estructura en panel de grandes dimensiones en las balsas o abrigos de las capas superiores.

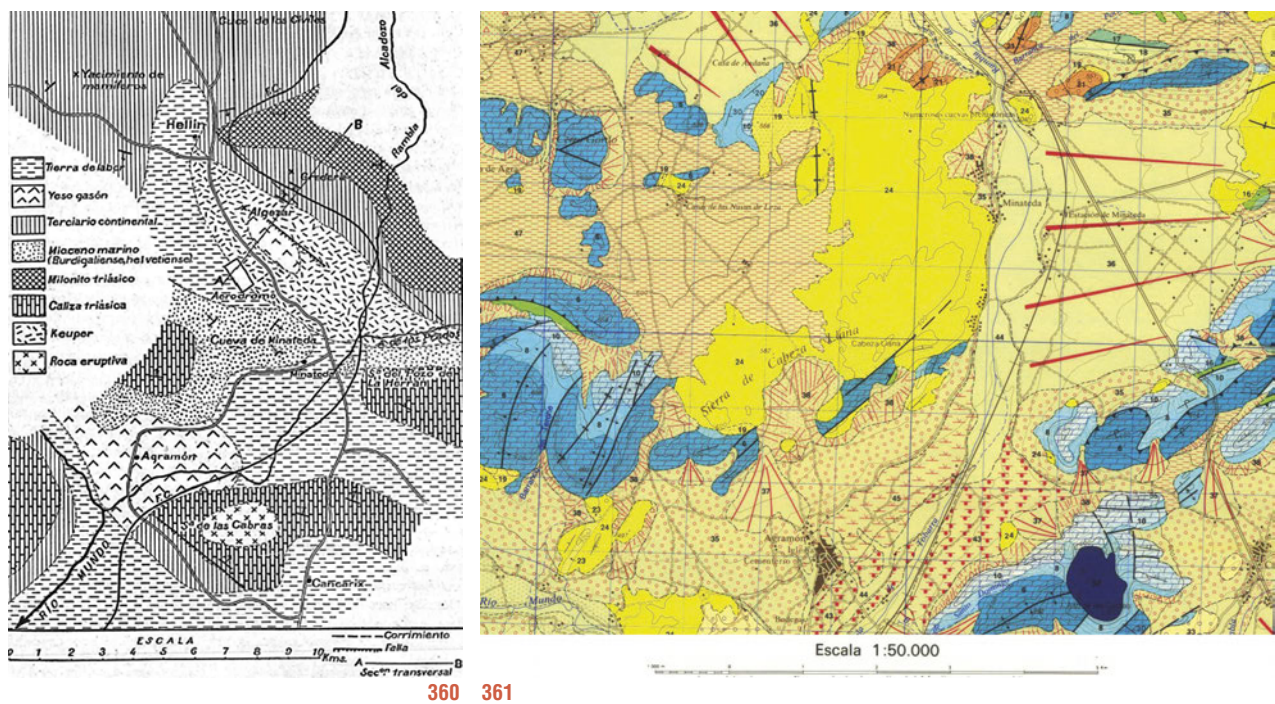


Figura 360. Mapa geológico de los alrededores de Hellín (Albacete) (según Gómez de Llanera, 1934 – 1935).

Figura 361. Mapa geológico de los alrededores del Abrigo Grande de Minateda (modificado de Mapa Geológico de España, Hoja 868 IGME). En amarillo aparecen los materiales correspondientes a la formación que compone el abrigo.

El examen paleontológico llevado a cabo por Gómez de Llanera en el 1934-1935 determina la fauna siguiente: briozoos coloniales, fragmentos de bivalvos (*Spondylus*, *Ostrea*, *Flabellipecten incrassatus* Partsch), crustáceos (*Balanus*), braquiópodos (*Terebraiula* sp., *Terebratula granáis*) y erizos (*Echinolampas atrophus* Lambert) entre otros. Otros autores (IGME, Mapa Geológico de España, Hoja 868) definen esta formación como “Biocalcarenitás” y la describe como tramos calcáreo-detriticos, más o menos arenosos, con gran abundancia de algas rodofíceas, pelecípodos, foraminíferos bentónicos, gasterópodos y serpulidos, además de la fauna mencionada anteriormente.

El ambiente sedimentario corresponde a una plataforma somera sometida a la acción del oleaje y corriente.



TABLA 19. RELACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS DEL ABRIGO GRANDE DE MINATEDA

Referencia	Fotografías	Descripción
AGM001	Figura 363 Figura 364 Anexo 13	RECUBRIMIENTO NARANJA  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color anaranjado, de poco grosor, compacto y con relativa adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> franja superior
AGM003	Figura 365 Figura 366 Anexo 14	RECUBRIMIENTO GRIS  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color grisáceo, con un grosor considerable y relativa poca adherencia con el sustrato. Aspecto botroidal.  <u>Localización:</u> franja superior (encima de las pinturas).
AGM005	Figura 367 Figura 368 Anexo 15	RECUBRIMIENTO NEGRO  <u>Descripción organoléptica:</u> recubrimiento de color negruzco, de poco grosor, muy compacta y con buena adherencia con el sustrato.  <u>Localización:</u> derecha del abrigo; franja superior (hacia el techo).

La edad de este tramo estaría comprendida entre el Serravaliense y el Tortoniense inferior (Helvetiense), pudiendo fluctuar debido a las condiciones paleogeográficas de su sedimentación.

Desde el punto de vista petrológico (anexos 13-15)<sup>15</sup> podría definirse como una biomicrota (según Folk 1959, 1962) o un wackstone (según Dunham 1962).

#### 4.5.3..2. Descripción general de las formas de alteración y el estado de conservación del abrigo

Como se ha comentado con anterioridad, este es un abrigo de dimensiones considerables que está protegido de la acción directa del agua gracias a la presencia de una visera, por lo que no se aprecia ni formación de coladas calcíticas, ni filtraciones directas sobre las pinturas; únicamente se observa la presencia de pequeñas manchas de humedad.

En general si observamos un tramo del abrigo de abajo a arriba, podríamos definir tres grandes franjas:

- la franja de abajo (plataforma de apoyo), caracterizada por la presencia de un recubrimiento anaranjado (pátina de contacto – desgaste);
- la franja del medio (donde estarían las pinturas rupestres), recubierta por recubrimiento anaranjado y caracterizado por la presencia de escamas y placas; y
- la franja superior (donde se incluiría también parte del techo), caracterizada por la presencia de placas de gran tamaño, fenómenos de disgregación de la superficie, presencia de recubrimientos negros de distinta índole, desarrollo de concreciones, etc.

Figura 243. Vista desde el interior del abrigo.  
Figura 244. (pag. siguiente). Levantamiento topográfico del abrigo y distribución de los registros pictóricos

<sup>15</sup> Disponible en la versión digital, descargable en <http://www.cuadernosdearterupestre.es/arterupestre/libro4D.pdf>



362

#### 4.5.3.3. Estudio de los indicadores visuales de alteración que conllevan una modificación superficial

Se han seleccionado un total de tres muestras de los productos de alteración para su descripción químico-mineralógica detallada teniendo en cuenta sus características organolépticas.

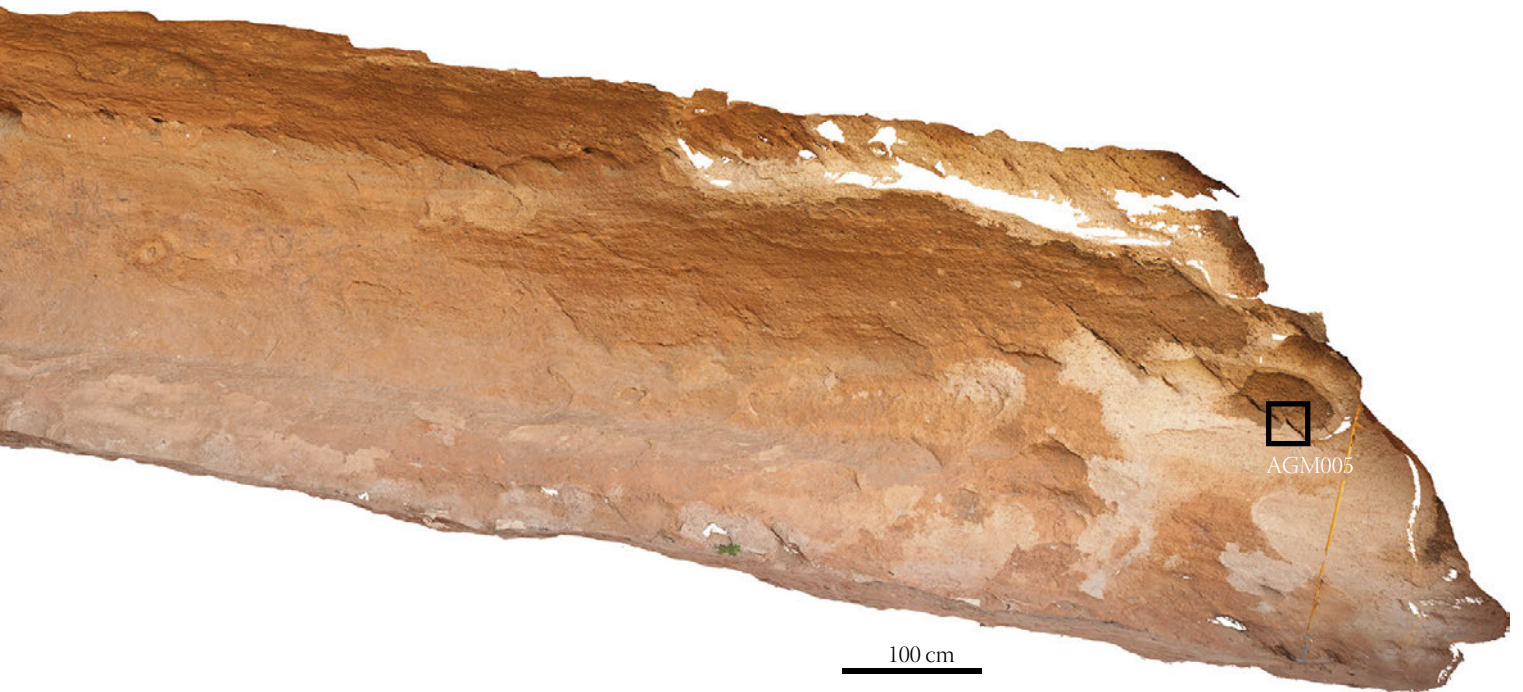
La observación de las muestras del Abrigo Grande de Minateda mediante la lupa estereoscópica (ver Tabla 5) y mediante el microscopio óptico polarizado (anexos 13-15) nos permite describir con detalle la naturaleza de dichos recubrimientos que son el resultado de la combinación de distintos factores. En el caso de AGM001 observamos que se trata de una costra formada por la superposición de un mínimo de tres capas, donde se combina el envejecimiento natural de la roca (ver anexo 13), nótese el cambio de composición gradual del soporte hacia la capa 1) con el desarrollo de distintos microorganismos de tipo estromatolítico. En lo que respecta a la muestra AGM003, también observamos una superposición de tres capas, aunque en este caso el origen de las mismas es sin duda de tipo biológico. En el caso de AGM005, de nuevo observamos una estructura multi-laminar donde se superponen tres capas de distinta composición y textura.

La observación y análisis SEM-EDX global de las superficies de las muestras (ver anexo 15) nos permite identificar la presencia generalizada de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y pequeñas cantidades de hierro (Fe). Cabe mencionar que el análisis EDX realizado sobre la superficie de la muestra AGM003 se detecta un contenido en magnesio (Mg) mayor (lo que posiblemente sugiera un proceso de dolomitización) y que en la muestra AGM005 se detecta, además de lo mencionado anteriormente, la presencia de fósforo (P) y

Figura 362. Ortofotografía del Abrigo Grande de Minateda con señalización de los lugares muestreados para análisis geológico. © J.F. Ruiz

Figura 363. Microfotografía in situ 30x aumentos de la zona de muestreo AGM001. © À. Pitarch.

Figura 364. Dcha.: Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra AGM001. © À. Pitarch



363 364

elementos como el plomo (Pb), el bario (Ba), el zinc (Zn) y el cobre (Cu) – el origen de los cuales resta aún por determinar.

En los tres casos, los espectros de análisis puntual sugieren que están compuestas mayoritariamente por calcio (Ca) y azufre (S) lo que indicaría que se está dando un proceso de sulfatación. Sin embargo, la morfología de los cristales observada (botroidal, granular y lenticular) sugiere que la cristalización de los mismos responde a un mecanismo específico en cada caso.

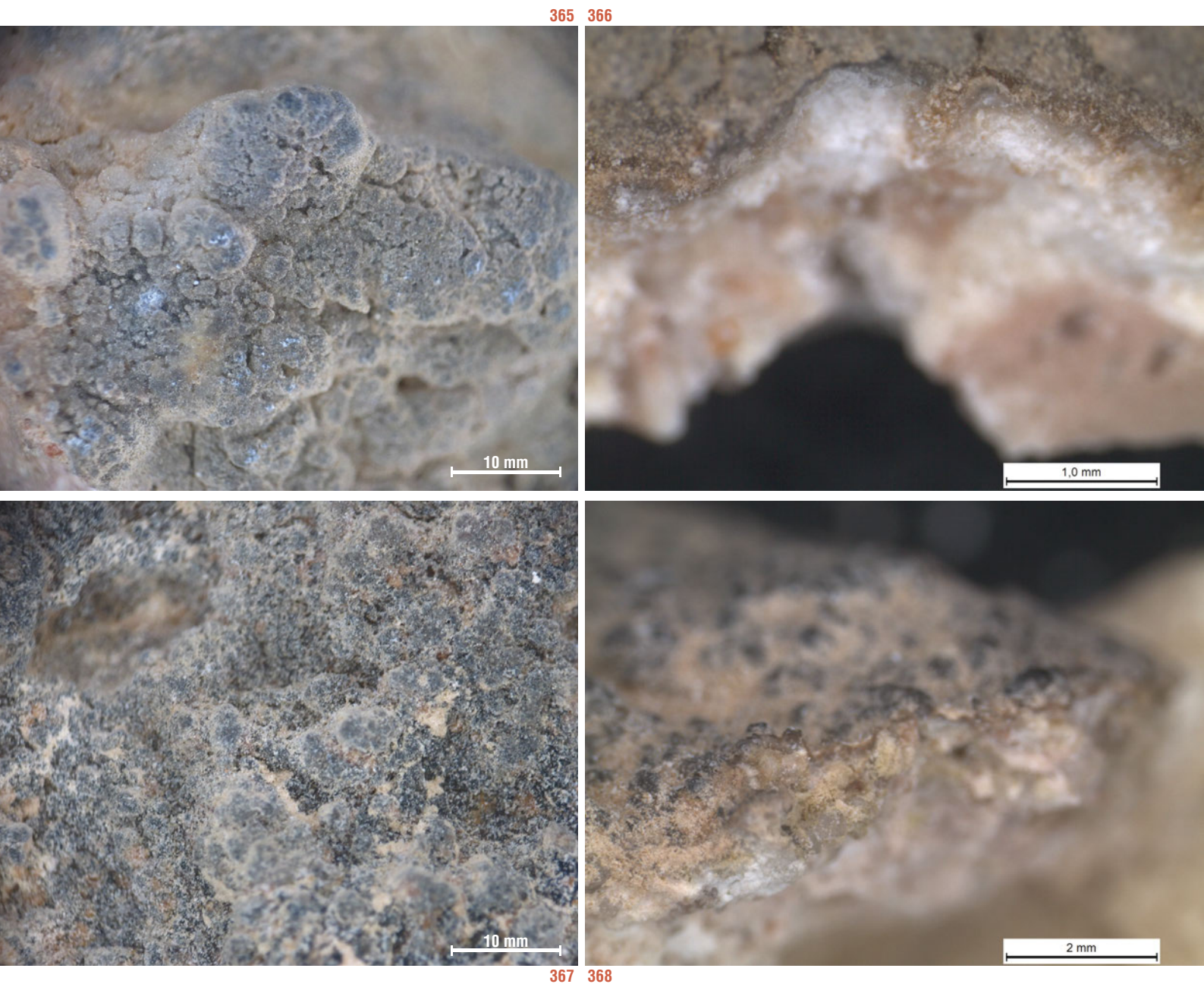


Figura 365. Microfotografía in situ de la zona de la muestra AGM003. © À. Pitarch.

Figura 366. Fotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra AGM003. © À. Pitarch.

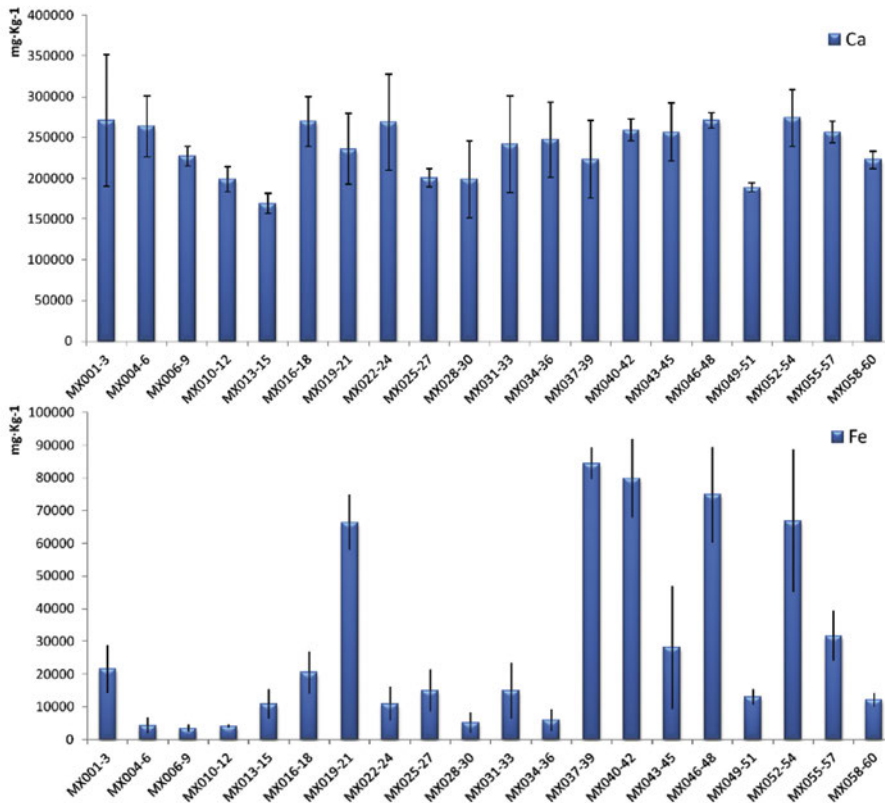
Figura 367. Microfotografía in situ de la zona de muestreo AGM005. © À. Pitarch.

Figura 368. Microfotografía a la lupa estereoscópica de la sección de la muestra AGM005. © À. Pitarch

#### 4.5.4. Análisis químicos

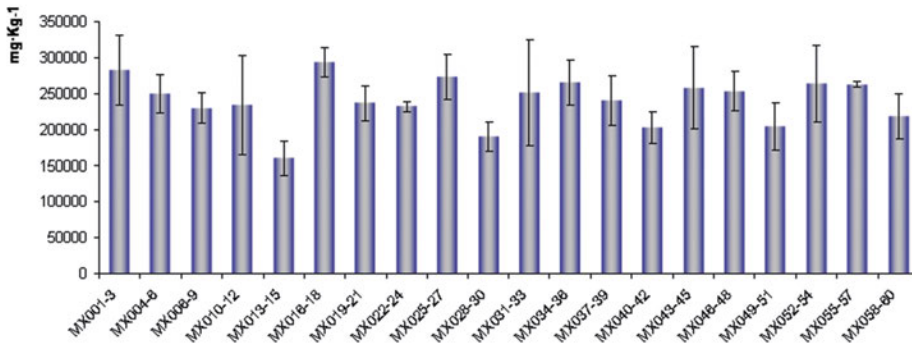
Con el objeto de complementar las técnicas de análisis de imagen para la detección de cambios y alteraciones que hayan podido producirse en los diferentes pictografías, soportes y/o patinas correspondientes al Abrigo Grande de Minateda (Hellín, Albacete), se realizaron análisis químicos in situ.

Las localizaciones de los puntos donde se han realizado los citados análisis han sido seleccionados teniendo en cuenta el interés del panel y en pictografías seleccionados previamente de acuerdo a los diferentes estilos presentes en el panel, y a su estado de conservación.



369  
370

Ca (mg/Kg)



Fe (mg/Kg)

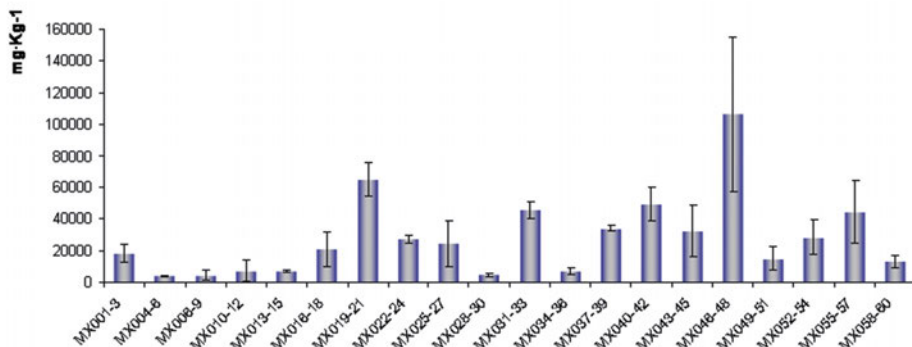


Figura 369. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro encontradas en los diferentes puntos analizados en el Abrigo Grande de Minateda. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres lecturas realizadas por punto de medida. © S. Fernández.

Figura 370. Concentración media (mg/Kg<sup>-1</sup>) de calcio y hierro encontradas en los diferentes puntos analizados localizados en la campaña de Enero 2014 en el abrigo Abrigo Grande de Minateda. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de los valores encontrados en cada una de las tres medidas realizadas en cada punto de medida. © S. Fernández



371

Para llevar a cabo el estudio se realizaron medidas directas mediante dos equipos portátiles basados en fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) y espectroscopia Raman.

En junio de 2013 y enero de 2014, en el Abrigo Grande de Minateda, han sido llevados a cabo más de 69 análisis químicos mediante fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) y más de 47 medidas por espectroscopia Raman.

#### 4.5.4.1. Resultados fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF)

Los resultados de las campañas de junio de 2013 y enero de 2014 aparecen en las Fig. 369-370, a partir de los análisis realizados mediante el espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil en el Abrigo Grande de Minateda. Cada uno de los datos asociados a diferentes zonas de medida se ofrece como media de tres determinaciones en el mismo punto de análisis, con el fin de obtener datos representativos de los valores de concentración encontrados. En la citada figura aparece también representada en forma de barras, la desviación estándar asociada a las tres citadas medidas. En las Fig. 371-372 se pueden observar numeradas las zonas analizadas mediante EDXRF.

Salvo en contadas ocasiones, en los análisis realizados no se detectaron elementos minoritarios (aquellos que están en concentraciones menores al 5%) y el resto de elementos detectados por debajo del 1% se obviaron, dada la incertidumbre de la medida. Como era de esperar, tanto en la campaña de análisis realizada en junio de 2013 como en la de enero de 2014 únicamente dos elementos aparecen como elementos mayoritarios, el calcio (Ca) y el hierro (Fe).

El calcio aparece como elemento mayoritario en todo el Abrigo Grande de Minateda (con un intervalo de concentración en mg/Kg de 275000-170000), indicando así que se trata de un soporte calcáreo. Esta hipótesis se confirma por los resultados del análisis Raman, donde se

**Figura 371.** Situación de los puntos de medida EDXRF (código MXnnn-*nnn*) y Raman (código MRnn) en la parte izquierda (u occidental) del Abrigo Grande de Minateda. © J.F. Ruiz.

**Figura 372.** Situación de los puntos de medida EDXRF (código MXnnn-*nnn*) y Raman (código MRnn) en la parte derecha (u oriental) del Abrigo Grande de Minateda. © J.F. Ruiz.

**Figura 373.** Espectros EDXRF comparativos del material soporte (línea de color azul) y de uno de los análisis en una pictografía (línea de color verde) ambos análisis realizados in situ en enero de 2014 en el Abrigo Grande de Minateda. © S. Fernández

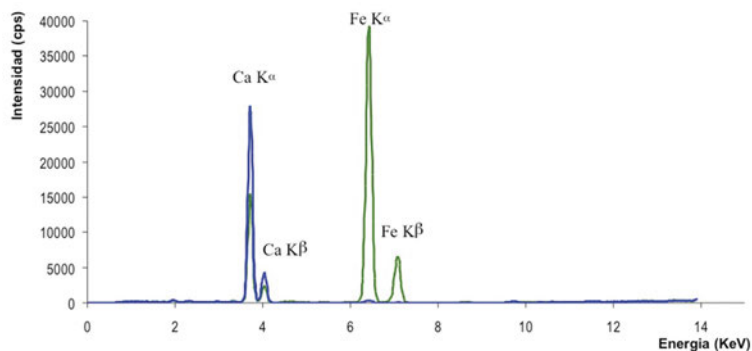


372

identifica calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) como compuesto principal de la roca. El calcio proviene de la roca madre aunque no se puede descartar la presencia de otros compuestos en forma de pátina como veremos en los resultados relativos a la espectroscopia Raman.

En lo que respecta al hierro, su presencia en el abrigo es debida a dos fuentes. Por un lado, tendríamos el hierro que pueda encontrarse formando parte de silicatos de la propia roca madre, arcillas o aquel que pueda llegar al panel del abrigo por escorrentía, aguas principalmente. Por otro, el hierro que compone el pigmento utilizado en la pictografía, mientras que su mayor o menor concentración se debe al diferente espesor de la capa pictórica existente. Todos los máximos de concentración encontrados coinciden con este último caso. Estas diferencias en concentración pueden observarse en dos espectros de EDXRF encontrados en dos puntos de medida del panel (Figura 373), uno corresponde a uno de los análisis realizados en uno de los pictografías del panel (color verde) y otro corresponde al análisis del soporte sin presencia de patina de manera visual.

Comparando los valores encontrados en distintas zonas del panel del Abrigo Grande de Minateda en enero del 2014 se pueden apreciar diferencias en las concentraciones medias de ambos elementos (ver Tabla 20). En todos los puntos se encontró una mayor concentración de



373

**TABLA 20. VALORES DE CONCENTRACIÓN MEDIA EN MG-KG<sup>-1</sup> DEL CALCIO (Ca) Y HIERRO (Fe) Y TRES VECES LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIDAS REALIZADAS EN LOS DIFERENTES PUNTOS ANALIZADOS EN EL ABRIGO GRANDE DE MINATEDA**

Código del análisis	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Ca (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14	Fe (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 06/13	Fe (mg·Kg <sup>-1</sup> ) 01/14
<b>MX001-3</b>	270830 ±80540	282647 ± 48466	21575 ±7190	18538 ± 5687
<b>MX004-6</b>	263720 ±37205	250578 ± 26543	4330 ±2530	3931 ± 428
<b>MX006-9</b>	227045 ±12080	229788 ± 21060	3465 ±1140	4493 ± 3291
<b>MX010-12</b>	198675 ±15850	233668 ± 69491	4130 ±600	7305 ± 6747
<b>MX013-15</b>	169080 ±12205	160593 ± 24181	10840 ±4485	7000 ± 756
<b>MX016-18</b>	269805 ±30635	293734 ± 20598	20500 ±6510	20882 ± 10969
<b>MX019-21</b>	235815 ±43475	236897 ± 24415	66395 ±8515	64814 ± 10417
<b>MX022-24</b>	268820 ±58565	232681± 6993	10950 ±5250	27149 ± 2677
<b>MX025-27</b>	200270 ±11300	273818 ± 31504	14955 ±6375	24385 ± 14632
<b>MX028-30</b>	198440 ±47285	190173 ± 21090	5190 ±3055	4689 ± 841
<b>MX031-33</b>	241520 ±59270	251989 ± 73647	14920 ±8500	45718 ± 5197
<b>MX034-36</b>	247450 ±46130	265027 ± 31252	5870 ±3280	6886 ± 2204
<b>MX037-39</b>	223155 ±48040	240676 ± 34375	84380 ±4755	33961 ± 1889
<b>MX040-42</b>	259260 ±13140	203408 ± 21505	79795 ±11970	49058 ± 10515
<b>MX043-45</b>	256660 ±35405	258538 ± 56474	28135 ±18670	32437 ± 15931
<b>MX046-48</b>	270945 ±9165	253854 ± 26638	74805 ±14615	106298 ± 49058
<b>MX049-51</b>	188650 ±5800	204054 ± 33044	13070 ±2420	15103 ± 7629
<b>MX052-54</b>	274225 ±34805	264370 ± 52881	66780 ±21715	28402 ± 10807
<b>MX055-57</b>	256650 ±13505	262884 ± 3857	31690 ±7620	44530 ± 19716
<b>MX058-60</b>	222425 ±10850	218658 ± 31678	12170 ±2050	13125 ± 3746

calcio con respecto al hierro, lo que sugiere, en aquellos puntos donde se ha medido un pictografía, que la capa de pigmento es muy fina, que puede existir pérdida de granos de pigmento, o la presencia de una patina superficial con calcio en su composición, etc.

Al igual que pasaba en junio del 2013, en enero del 2014 los puntos con mayor concentración de hierro (MX046-48, MX040-42 y MX37-39) corresponden a motivos que presentan un color rojo muy oscuro casi negruzco, algo más matizado en el punto MX019-21.

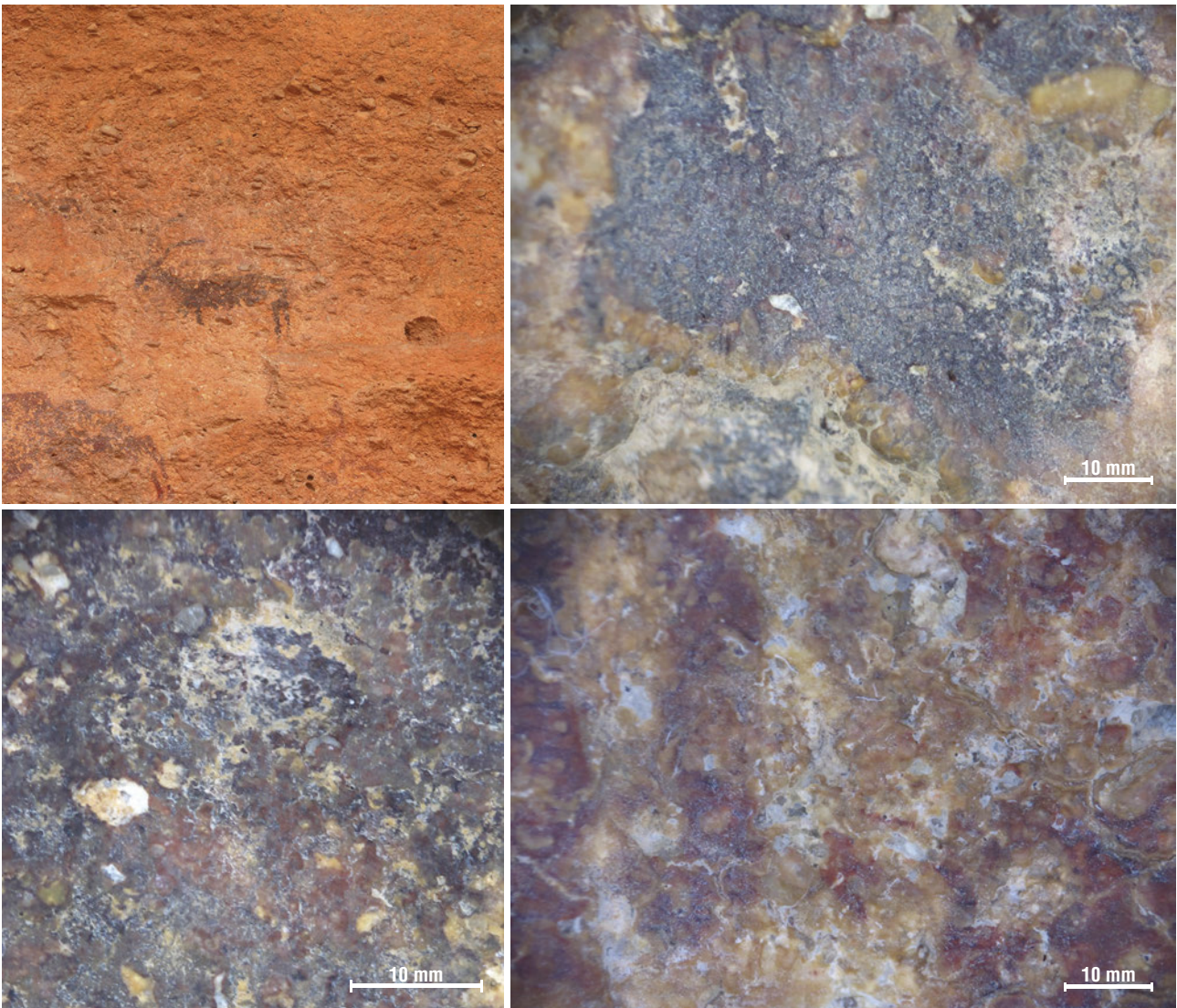
Al igual que pasaba en junio del 2013, los puntos de medida con menos concentración de hierro se corresponden a zonas sin motivos pictóricos, zonas del soporte (MX001-3, MX013-15, etc).

Por otro lado existen puntos como MX010-12, MX028-30, MX034-36 y MX058-60 con menor concentración de hierro de la esperada, a pesar de localizarse sobre diferentes pictografías distribuidas aleatoriamente por el abrigo. Esto ocurre debido a la diferencia de grosor que puede presentar la capa pictórica en dichos puntos, también puede ser porque las intensidades de señal obtenidas para cada uno de los elementos dependen de varios factores inherentes a la técnica analítica, como ya se ha descrito anteriormente.

También se debe resaltar uno de los análisis realizados en zona de soporte con patina blanquecina (MX049-51) en el cual el valor de concentración media de calcio es mayor al resto de análisis de soporte en diferentes puntos del panel de estudio.

Con objeto de profundizar en el estudio de la presencia de figuras de colores rojizos muy oscuros, casi negros, nuevos análisis in situ fueron realizados, seleccionando una figura de una cabra de tonalidad casi negra en la zona central del abrigo, que resaltaba sobre las situadas a su alrededor; también fue analizado el soporte alrededor de la figura. En la Fig. 262



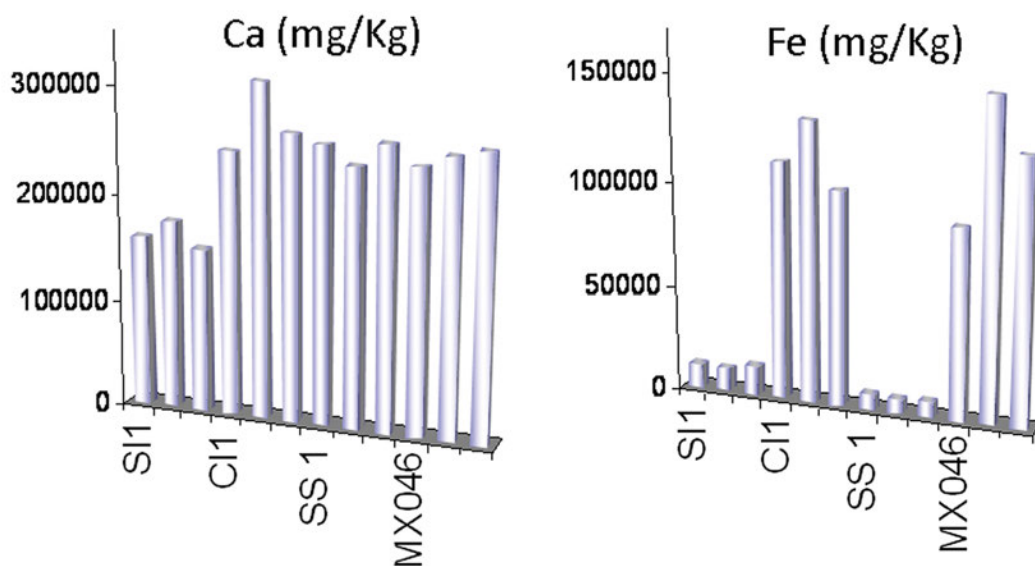


374

aparece la fotografía de la citada figura y microfotografías de zonas concretas negras de la figura donde se aprecia una diferencia de tonalidad entre granos rojos y granos negros en la capa pictórica. En la Fig. 263 aparecen los valores de concentraciones encontradas en la citada cabra y en otra figura que corresponde a una figura humana en la cual también habíamos encontrado máximos de concentración de hierro. En dicha figura se puede observar que los análisis realizados en las dos figuras casi negras presentan mayores niveles de concentración de hierro que en las demás figuras analizadas en el abrigo. Los valores de concentración media de hierro en ambas figuras están en torno a 100000 mg/Kg. En cambio, los valores de concentración de calcio se mantienen en ambas figuras y es menor en el soporte rocoso situado justo debajo de la figura de la cabra, este hecho puede estar relacionado con la existencia de alguna patina en esa zona del abrigo.

Uno de los objetivos del presente proyecto de investigación es ver si se presentan variaciones en la composición química de los abrigos objeto de estudio a lo largo del tiempo. Todo ello con objeto de posibilitar la identificación de alteraciones debidas al ciclo natural, aparición de patinas, cambios de coloración del soporte o de las pictografías presentes, aparición de fracturas, pérdidas de soporte o figuras, etc. Por ello, los análisis del presente estudio se

Figura 374. Foto detalle de la cabra negra analizada in situ por EDXRF y diferentes microfotografías in situ correspondientes a zonas con diferentes tonalidades de rojos negruzcos de la citada figura, y en comparación con una figura roja cercana (abajo derecha). © S. Fernández y J.F. Ruiz



375

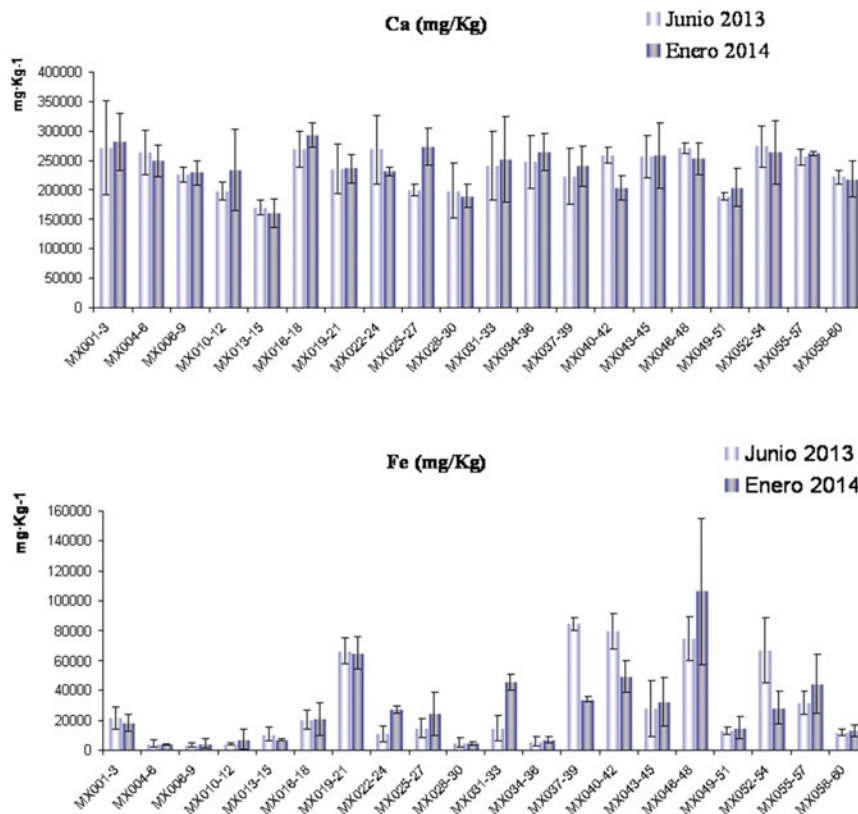
realizaron con una diferencia temporal de ocho meses y coincidiendo con estaciones del año contrarias, es decir, los primeros análisis fueron realizados en junio del año 2013 coincidiendo con el verano (época de sequía, mayor temperatura y menor humedad) y los últimos análisis fueron realizados en invierno (época con menor temperatura y mayor humedad).

Si se comparan los resultados de ambas campañas de análisis (Fig. 264-265) tanto para el caso del calcio como para el hierro se puede llegar a la conclusión de que no hay diferencias significativas entre la concentración encontradas en los distintos puntos de análisis en este pequeño transcurso de tiempo a pesar de las diferentes condiciones climáticas en que han sido realizados los análisis químicos y a los cambios meteorológicos sufridos por el soporte rocoso del abrigo. Todos los valores de concentración de la campaña de junio 2013 y enero 2014 en el mismo punto de análisis aparecen siempre dentro del intervalo de confianza de la concentración encontrada. Esto pone de manifiesto que el protocolo/procedimiento de análisis químico expuesto en el presente proyecto es apropiado para las condiciones existentes en los abrigos objeto de estudio.

El único punto de análisis donde se ha encontrado diferencias significativas es en el análisis MX037-39 y MX046-048. El motivo por el que se pueden encontrar esas diferencias en la concentración media de hierro en las distintas pictografías del panel del abrigo puede estar relacionado con el tamaño del área de medida de la pistola de EDXRF (9 mm) con respecto a la superficie pictórica objeto de análisis. Lo ideal es que la superficie del área de medida del cabezal de la pistola esté completamente cubierta por pigmento, en cuyo caso la señal obtenida (correspondiente al hierro presente en el pigmento) podrá aumentar, por ejemplo, en función del espesor de la capa de pigmento, ya que los rayos X tienen capacidad de penetración. Sin embargo, puede haber casos en los que el área de medida es mayor a la superficie cubierta por pigmento, en cuyo caso, la señal del hierro disminuye a pesar de que en dicho análisis se mide también la concentración de hierro correspondiente a la roca madre, dando finalmente un valor medio entre lo existente en la roca madre y en la capa pictórica.

A modo de conclusión final de este apartado resaltar el hecho de que en el Abrigo Grande de Minateda no se han encontrado diferencias respecto a composición química en estos meses.

**Figura 375.** Valor medio de concentración ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) de calcio y hierro encontradas en dos figuras correspondientes a una cabra y una figura humana (MX046) de tonalidad negro y en los soportes rocosos donde se encuentra situada la figura de la cabra en la campaña de enero 2014. Las líneas horizontales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a la desviación estadística de la medida realizada por EDXRF. SI: Soporte zona inferior de la figura; SS: Soporte zona superior figura; CI: figura de la cabra. © S. Fernández



376

Para conocer si esto se mantiene a lo largo del tiempo, no apreciándose cambios desde el punto de vista químico en aquellos puntos analizados, es aconsejable continuar con este riguroso proceso de monitorización que se ha llevado a cabo en estas dos campañas de análisis del 2013 y 2014, repitiéndolo de manera sistemática cada año.

#### 4.5.4.2. Resultados espectroscopia Raman

A pesar de la fluorescencia observada en el panel del abrigo, se pudo identificar calcita (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ) (ver puntos de medida MR1, MR8 y M27 en Tabla 11) en los espectros Raman (banda principal en torno a  $1085 \text{ cm}^{-1}$  y en algunos casos también una banda de intensidad débil en torno a  $280 \text{ cm}^{-1}$ ). La presencia de calcita podría indicar que dicho abrigo corresponde a un abrigo calcáreo.

En lo que respecta a los pigmentos presentes en el panel, la espectroscopia Raman permitió concluir que corresponden al pigmento rojo hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) (ver Tabla 21). En concreto, dicha identificación se realizó en los puntos de medida MR10, MR11, MR13, MR14, MR15, MR16, MR21, MR22, MR28 MR29, MR30 y MR31 (ver Tabla 21). En el resto de zonas de medida del panel que presentaban restos de pigmentación no se detectaron señales atribuibles ni a hematita, ni a pigmentos adicionales. Sin embargo, la imposibilidad de detectar dicho pigmento/pigmentos se puede deber a posibles fenómenos de fluorescencia o a la presencia de una patina de oxalatos (ver Tabla 21 donde aparecen puntos de análisis en los que se ha identificado la presencia de hematita y oxalato juntos).

Figura 376. Comparación de las concentraciones medias ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) de calcio y hierro de los puntos analizados en junio 2013 (azul claro) y enero 2014 (azul oscuro) en Minateda. Las líneas verticales que aparecen en el diagrama de barras, corresponden a tres veces la desviación estadística de cada una de las tres medidas realizadas. © S. Fernández

**TABLA 21. COMPUESTOS ENCONTRADOS EN LAS ZONAS DE MEDIDA CORRESPONDIENTES AL ABRIGO DE GRANDE DE MINATEDA EN LAS CAMPAÑAS DE JUNIO 2013 Y ENERO 2014**

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
MR1 (Jun2013)	215, 451, 1006, 1462	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1086, 1461	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR2 (Jun2013)	1006, 1462, 1488	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio con un agua de hidratación)
(En 2014)	1461	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio con un agua de hidratación)
MR3 (Jun2013)	1006, 1462, 1488	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR4 (Jun2013)	-	-
MR5 (Jun2013)	1270, 1461	Silicato, Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR6 (Jun2013)	1008	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
(En 2014)	1464	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR7 (Jun2013)	1008	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
(En 2014)	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR8 (Jun2013)	1008, 1086, 1462	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR9 (Jun2013)	1008, 1462, 1488	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1007, 1464	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR10 (Jun2013)	299, 411, 1008, 1462, 1488	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	300, 406, 1460, 1486	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR11 (Jun2013)	295, 411, 1008, 1462, 1488	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	140, 296, 406, 894, 1262, 1463, 1489	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR12 (Jun2013)	1461, 1489	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1008, 1461	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR13 (Jun2013)	1463	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	292, 410, 1277	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), silicato
MR14 (Jun2013)	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	140, 224, 294, 408, 1272, 1463	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR15 (Jun2013)	294, 411, 497, 607, 1462, 1616	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
MR16 (Jun2013)	223, 292, 352, 363, 408, 1462, 1488	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1008	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
MR17 (Jun2013)	462, 1008, 1462	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1006	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
MR18 (Jun2013)	195, 225, 257, 1007, 1461, 1489	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1008	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado)
MR19 (Jun2013)	294, 1007, 1462, 1489	Yeso (CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M20 (Jun2013)	1407, 1461	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)

TABLA 21. CONTINUACIÓN (I)

Zona de medida	Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) [Posición bandas Raman]	Compuestos identificados
M21 (Jun2013)	1411, 1464	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	299, 410	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
M22 (Jun2013)	1114	-
	290, 406	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
M23 (Jun2013)	1462	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M24 (Jun2013)	465, 895, 1007, 1464, 1488	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M25 (Jun2013)	1007, 1464, 1488	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1007, 1461, 1485	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M26 (Jun2013)	1007, 1464	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1008, 1462, 1497	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M27 (Jun2013)	1085	Calcita (CaCO <sub>3</sub> , carbonato de calcio)
(En 2014)	1008, 1462, 1497	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M28 (Jun2013)	223, 295, 411, 608, 1464	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
	224, 294, 404	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
M29 (Jun2013)	223, 295, 411, 1464	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	292, 1460	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M30 (Jun2013)	223, 295, 411, 1464, 1488	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M31 (Jun2013)	1007, 1464, 1488	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O sulfato de calcio dihidratado), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	221, 290, 406, 1459, 1481	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M32 (Jun2013)	583, 1413, 1464	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
(En 2014)	1284, 1404, 1462, 1486	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M33 (Jun2013)	1460	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
M34 (Jun2013)	1464	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
Posición XRF 4-6 (En 2014)	1462, 1488	Whewellita (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O, oxalato de calcio monohidratado)
Fig. Cierva (En 2014)	297, 1276	Hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Silicato

Como se puede apreciar en la Tabla 21, se identificaron yeso (sulfato de calcio dihidrato,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Downs, 2006) y whewellita (oxalato de calcio monohidrato,  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). La presencia de costras de whewellita (en algunos casos también aparece la forma dihidratada o weddellita) se encuentran frecuentemente en la superficie de rocas, muros y monumentos como resultado de la actividad metabólica de líquenes, hongos, bacterias y microbios que colonizan la superficie de los materiales pétreos (Krumbein et al., 2003; Tournié et al., 2011; Ravindran et al., 2013). Este tipo de microorganismos son capaces de excretar ácido oxálico, el cual puede reaccionar con el sustrato calcáreo provocando la formación de cristales de oxalato de calcio. Este tipo de costras se detectan frecuentemente en abrigos rocosos con pinturas prehistóricas.

En lo que respecta a la presencia de yeso, esta sal de sulfato de calcio se identifica con frecuencia en abrigos rocosos tanto en base arenisca como calcárea dado que la lluvia puede disolver los sulfatos presentes en los suelos colindantes. Dicho sulfato solubilizado puede movilizarse y penetrar en los poros de la roca y cristalizar en forma de yeso por evaporación del agua. El yeso en presencia de agua podría volver a solubilizarse y reprecipitar; el cambio de volumen generado provoca una constante tensión en el poro de la roca, pudiendo así provocar fenómenos de desconchamiento, delaminado o fisuras.

Al igual que se mencionó en los análisis de junio del 2013, nuevamente hemos observado en el año 2014 que dicho abrigo presenta cristalizaciones de yeso, por lo que recomendamos que dicha zona sea protegida de la humedad y el agua, con el fin de frenar procesos de movilizaciones de sales y posteriores solubilizaciones-reprecipitaciones de las mismas.

Al igual que ocurría para el caso de los oxalatos, en los puntos de medida en los que se ha identificado restos de pigmento rojo hematita, se pudieron identificar junto al pigmento bandas asociadas a yeso o sulfatos adicionales (ver MR10 y MR11).

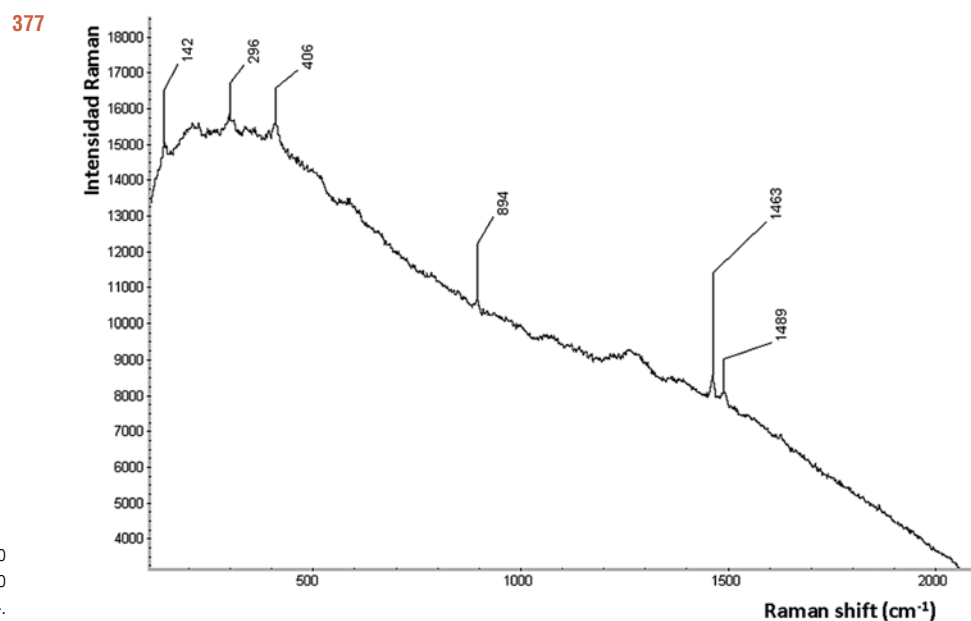


Figura 377. Espectro Raman característico de calcita encontrada en el panel del Abrigo de Grande de Minateda en enero de 2014. © S. Fernández

#### 4.5.5. Conclusiones de la monitorización del Abrigo Grande de Minateda

Esta cavidad se localiza en un promontorio de biocalcarenitas del Mioceno. La superficie irregular del panel refleja la complejidad de los procesos geológicos que han intervenido en su formación. La elevada concentración de calcio está identificando tanto al cemento como a la composición química de las conchas de moluscos que aglutina. Los análisis efectuados en esta cavidad indican que se encuentra en una acusada estabilidad, como sugiere la carencia de pérdidas de soporte a lo largo de todo el periodo de análisis. La ausencia de coladas calcíticas o de manchas de humedad apuntan en la misma dirección. La zona más alterada se encuentra en la parte superior del friso, en el que hay una amplia franja afectada por un tafonni de grandes dimensiones. Es también en esta zona de la cavidad, aunque no parezca directamente afectada por dichos tafonnis, donde se ha apreciado la desaparición de unas cuantas figuras con respecto a las documentaciones más antiguas de Minateda (Breuil, 1920).

La presencia de yeso identificada mediante espectroscopia Raman, indica que hay procesos de deterioro activos, por lo general causados por la humedad, por lo que sería recomendable evitar la humectación de este panel. La identificación de yeso indica un proceso de sulfatación, que, al igual que en Cueva del Mediodía, puede estar ligado al sustrato de calcarenita y al haloclastismo.

La actividad biológica macroscópica sólo se documenta en forma de una higuera que se está desarrollando en la parte inferior del enclave. También existe actividad microscópica detectada por la presencia de recubrimientos de whewellita y weddelita (considerándose esta última como un indicio de que la actividad metabólica de los microorganismos está activa). Los análisis geológicos han determinado la presencia de estructuras biogénicas en los recubrimientos multicapa que presenta el friso.

En un microtaffoni del panel, situado en el interior de la falda de la mujer que lleva a un niño o niña de la mano, se ha observado el desarrollo de una formación vegetal fotosintética que debería ser controlada durante un periodo más largo de tiempo para valorar su incidencia en la conservación de esta importante pictografía (hemos de hacer constar que en esta zona las fotografías del año 2005 no presentan este microtaffoni). Probablemente esté ligada a un insecto y, por tanto, se trate de un problema puntual, pero su incidencia deberá verificarse más adelante.

Más frecuentes son las alteraciones de origen antrópico como los puntos de apoyo para la instalación de andamios, los puntos donde se arrancaron figuras o las manchas producidas con una sustancia aceitosa que se documentaron durante la campaña de mayo de 2013, y que fueron inmediatamente limpiadas por Eudald Guillamet tras ser puesto en conocimiento del Museo de Hellín.

La composición química de las pictografías está basada en el hierro. La espectroscopia Raman ha identificado la utilización de hematita. Mediante EDXRF se han podido identificar variaciones significativas en la presencia de óxidos de hierro en las distintas coloraciones presentes en el panel. Destacan especialmente las pinturas negruzcas, en las que se ha detectado el nivel de concentración de hierro más elevado de todo el conjunto.





---

## Conclusiones

---



## 5. Conclusiones

El proyecto 4D · arte rupestre fue definido como un proyecto multidisciplinar destinado a la puesta en marcha de un sistema de monitorización de lugares con arte rupestre que pudiera servir como herramienta de gestión, conservación preventiva y socialización. A lo largo de un año se ha desarrollado hasta pasar de una metodología experimental a una realidad contrastada, a través de la cual se puede conseguir un control extremadamente preciso de los cambios volumétricos acaecidos en un abrigo con arte rupestre al aire libre, de los deterioros que puedan sufrir las pictografías, de las alteraciones geológicas y de los cambios a nivel físico-químico en el lapso transcurrido entre dos tomas de datos. El control a nivel cuantitativo de las alteraciones que se han producido en un determinado periodo de tiempo en el complejísimo sistema formado por las interacciones entre el soporte pétreo, las pictografías y el medio ambiente continúa siendo una novedad metodológica a nivel mundial, al menos hasta donde conocemos.

Los protocolos de monitorización de lugares con arte rupestre en funcionamiento en la actualidad han tratado de controlar determinadas variables ambientales que afectan al estado de estos bienes. Pero no habían ido más allá, por lo que para todos los miembros de este equipo es una satisfacción haber podido colaborar en la puesta a punto de un sistema con una utilidad tan inmediata y que puede contribuir de un modo tan claro a conocer con mayor precisión cual es el estado de conservación de un bien patrimonial tan frágil como lo son las pinturas rupestres al aire libre. Si a ello le añadimos que de resultados de la aplicación de algunos de los procedimientos usados en el proyecto 4D se consigue una documentación integral extremadamente precisa de los lugares con arte rupestre, habremos contribuido de una doble manera a su conservación: por un lado, identificando patologías y cuantificando las alteraciones, y por otro, obteniendo documentaciones que permitirían la realización de una réplica en caso de que fuera necesario.

Por otro lado, la metodología multidisciplinar desarrollada es una *rara avis* en el contexto de la investigación del Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. Las líneas de investigación han estado mucho más enfocadas al registro documental, entendiendo como tal el registro exclusiva de los motivos gráficos, a la vinculación de la iconografía con un contexto sociocultural, y al establecimiento de un marco cronológico, todo ello con el objetivo final de interpretar su significado. El proyecto 4D · arte rupestre obvia estos aspectos focalizándose en la documentación integral de lugares y en conocer su evolución a lo largo del tiempo, a la vez que se identifican los factores de alteración que condicionan su conservación. No obstante, cualquier investigador interesado podría usar en el futuro la documentación exhaustiva realizada en el marco del proyecto para alcanzar alguno de los objetivos tradicionales, aunque, desde luego, ese no ha sido el fin último perseguido con la aplicación

de las técnicas de monitorización en el abrigo del Buen Aire I, Cañaica del Calar II, Cueva del Mediodía, Abrigo Grande de Minateda y Solana de las Covachas (zonas III y VI).

La totalidad de los resultados del proyecto han sido puestos a disposición de las autoridades culturales de la Región de Murcia y de la Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha, para que puedan hacer el mejor uso posible de ellos. Además, la inmensa mayoría de los productos digitales generados en el curso del proyecto están, o van a estar, a disposición de cualquier interesado en la página web <http://www.4darterupestre.com>, tanto para su consulta *on-line* como para su descarga y utilización libre, bajo licencia *CC Attribution-NonComercial-NoDerivatives 4.0*. La socialización de los resultados de investigación por esta vía es para nosotros un objetivo crucial, ya que puede constituir la mejor manera de que la sociedad en su conjunto se concientice del valor de su patrimonio rupestre y prehistórico y demande las adecuadas medidas de protección y conservación.

## 5.1. Conclusiones metodológicas

### 5.1.1. Análisis de cambios volumétricos

Pese a que el período de tiempo durante el que se han monitorizado las estaciones con arte rupestre es limitado, los resultados alcanzados demuestran que los análisis de cambios volumétricos a partir de la comparación diacrónica de nubes de puntos, obtenidas por fotogrametría de objeto cercano basada en los principios de *computer vision*, son capaces de identificar variaciones de pequeña escala asociadas a pérdidas de soporte y a cambios causados por la actividad biológica (animal y vegetal). El tamaño de las alteraciones identificadas puede ser tan pequeño como  $4 \text{ mm}^3$ , dependiendo del nivel de resolución de los modelos 3D, es decir, con pérdidas de soporte inferiores a 2 mm de lado, como ha sido el caso de varias de las alteraciones identificadas en el panel 1 de Cueva del Mediodía. Estamos trabajando experimentalmente para determinar que capacidad de detección se podría alcanzar por esta metodología siguiendo procedimientos de captura de datos en las difíciles condiciones de trabajo de campo a las que nos enfrentamos en lugares remotos. En última instancia la capacidad de detección de un software como *CloudCompare* depende de la resolución de los modelos 3D y de su nivel de ruido. No obstante, este software *open source* mejora constantemente por lo que constituye una garantía de futuro sobre la viabilidad de estos procedimientos.

Hasta donde sabemos, ésta ha sido la primera vez que se han utilizado este tipo de procedimientos, por otra parte bastante habituales en diversos ámbitos de la ingeniería, para comparar modelos 3D o sus nubes de puntos y cuantificar las variaciones entre dos momentos temporales determinados. El lapso temporal adecuado para realizar este tipo de monitorizaciones es variable, y depende de lo que se pretenda controlar. En las comparaciones efectuadas con un intervalo de un año hemos observado que la técnica es capaz de detectar todas las pérdidas de soporte. Para el control de los crecimientos o cambios de la vegetación rupícola vascular, es recomendable un control estacional como el efectuado, con el que se puede precisar el ciclo anual de estas plantas.

La posibilidad de cuantificar de modo preciso el tamaño de las alteraciones (pérdidas de soporte y desarrollo de volúmenes, como plantas) y la localización espacial de las mismas contribuye de manera eficaz a tener un control sobre las circunstancias que están afectando a la conservación de un panel, y, por tanto, permite la adopción de medidas apropiadas para su tratamiento.

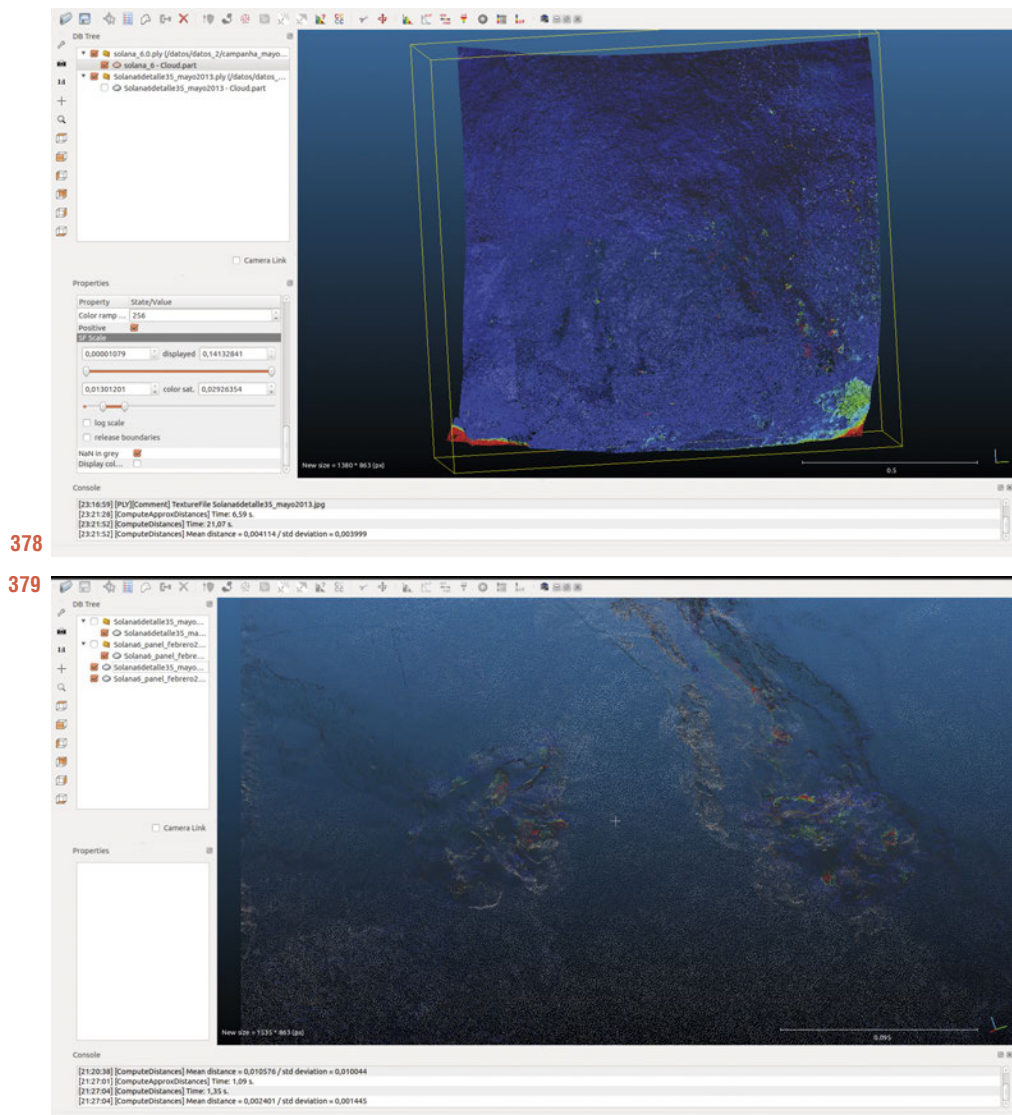
En la actualidad la fotogrametría basada en SfM, como todas las técnicas de *computer vision* o visión artificial, mejora su precisión y su eficacia a una velocidad vertiginosa, haciéndola una alternativa competitiva frente a otros sistemas de captura de datos (escáner láser, escáner de luz estructurada) mucho más caros. En la actualidad ambos procedimientos de generación de modelos 3D se pueden considerar equivalentes en precisión y resolución (Lerma et al., 2013). Su importancia en la conservación y documentación del patrimonio histórico crecerá exponencialmente en los próximos años. No obstante, el sistema de comparación que hemos empleado permite manejar nubes de puntos obtenidos por cualquiera de estos procedimientos, por lo que su utilidad queda demostrada, y los modelos 3D efectuados en el curso de este proyecto serán un punto de comparación adecuado con cualquier otra tecnología de captura de datos que se utilice en el futuro.

Una ventaja adicional de los procedimientos basados en SfM es su menor coste, y la existencia de software *open source* capaz de realizar levantamientos fotogramétricos casi tan precisos como los de alternativas de pago. En todo caso, y frente a las alternativas basadas en el escaneado de datos, los modelos generados por SfM podrán ser mejorados en el futuro conforme el software, e incluso el hardware necesario, vaya mejorando e incluso abaratándose.

El tiempo de procesado de los modelos realizados en el proyecto, dependiendo del tamaño, el nivel de detalle y la calidad de la textura fotográfica, puede oscilar entre 5 y 40 horas. El procesado requiere un ordenador muy potente, e incluso una estación de trabajo dedicada, aunque en ocasiones es posible usar este tipo de software con menores requisitos de máquina. Por otra parte, estos tiempos y el tipo de ordenador son como mínimo similares a los que requiere el proceso de datos obtenidos mediante escáner láser, y en muchas ocasiones son inferiores respecto a los de esta otra técnica.

En nuestro caso, hemos usado dos programas informáticos. La calidad de los modelos generados por *PhotoScan Pro* y *VisualSFM* es muy similar. *PhotoScan Pro* genera nubes de puntos más densas, y probablemente más adaptadas a la malla poligonal posterior, mientras que *VisualSFM* produce nubes algo menos densas, lo que obliga a algún tipo de interpolación para completar la malla. No obstante, las comparaciones entre modelos de una misma cavidad generados con ambos programas dan como resultado una concordancia casi absoluta entre ellos (Fig. 378 y 379). Esto supone, una vez más, reafirmar que el procedimiento de documentación mediante fotogrametría garantiza los resultados de la comparación independientemente del software que se esté empleando para generar los modelos.

*CloudCompare* permite la comparación de modelos aunque carezcan de coordenadas locales pero, obviamente, las coordenadas tomadas mediante una estación total facilitan el procesado y son una garantía del nivel de ajuste geométrico entre los modelos y de estos con la realidad del objeto documentado. No obstante, tenemos que tener en cuenta que una estación total láser, incluso las más avanzadas del mercado, tienen un nivel de error estimado en  $\pm 2$  mm en 100 m; a este error de partida, por pequeño que sea, hay que sumarle al que se produce al trasladar dichas coordenadas al modelo 3D, ya que implica dos operaciones con precisión



**Figura 378.** Comparación de los modelos 3D de Solana de las Covachas VI obtenidos mediante PhotoScan Pro y Visual SFM, en la que se aprecia que la concordancia entre ambos es prácticamente total. © J. Pereira.

**Figura 379.** Comparación diacrónica entre una nube de puntos realizada con Visual SFM en febrero y otra hecha con PhotoScan Pro en mayo, en la que se puede observar los cambios de vegetación. © J. Pereira

limitada. El punto donde se mide con la estación total, marcado con un láser, se fotografía. Esta fotografía sirve de referencia para trasladar la coordenada al modelo, pero dependiendo de la distancia de la estación el punto de láser puede tener unas dimensiones de alrededor de 5 m, lo que dificulta localizar el punto exacto de medida. El usuario debe localizar a mano en el software de fotogrametría, tan exactamente como pueda, donde estaba el punto de control medido, lo que conlleva un margen de error, tanto por que la imagen de referencia del punto de control tiene cierta ambigüedad respecto a su localización, como porque no siempre es posible identificar de manera inequívoca donde se situaba un punto de control caracterizado por un relieve característico o por un punto específico de una pictografía. Una solución sería usar exclusivamente dianas; en nuestro caso estas dianas se han mantenido durante dos campañas, pero nos parece que son demasiado invasivas y agresivas visualmente y que, por tanto, deben ser mantenidas el mínimo tiempo posible en el panel, o simplemente no usarse. La única alternativa es entonces usar esas otras referencias y asumir cierto margen de error. No obstante, en la gran mayoría de modelos 3D hemos conseguido que la precisión respecto a las coordenadas  $s$  inferior a 3 mm, y que el porcentaje más elevado tenga una precisión alrededor de 1,5 mm.

Las texturas hiperrealistas generadas a partir de los conjuntos de fotografías pueden tener una resolución tremendamente alta, equivalente a la de las propias imágenes capturadas. En algunos de los modelos, se ha alcanzado un nivel de detalle cercano al de la macrofotografía, lo que permite identificar el trazo individual antes de que la textura se pixele. Esto es un valor añadido a los modelos 3D fotogramétricos, aunque tenemos que hacer constar que la unión de un modelo y una textura de alta resolución requieren un equipamiento informático muy potente para moverlo con soltura. Para evitar este problema hemos generado tanto modelos de alta resolución como modelos de baja resolución. Estos últimos cuentan con un relieve simplificado, pero suficiente para entender los volúmenes de la cavidad, y una textura de alta calidad, por lo que su utilidad como herramienta de visualización es muy elevada. Este tipo de modelos pueden ser visualizados directamente *on-line* en [www.4darterupestre.com](http://www.4darterupestre.com), o pueden ser descargados para su uso en un ordenador, al igual que los modelos 3D de alta resolución.

### 5.1.2. Fotografía gigapixel y *DStretch*

La documentación fotográfica realizada mediante fotografía gigapixel y *DStretch* se ha mostrado muy útil y complementaria de las otras técnicas usadas. Permite un registro exhaustivo y con un altísimo nivel de detalle de los frisos con pinturas rupestres. Al conformar una imagen continua la fotografía gigapixel permite enfocar la atención al conjunto, y no sólo a las pictografías.

No obstante, siempre hemos de ser conscientes de que esta captura está sometida a distorsiones geométricas de consideración. En nuestro proyecto hemos tratado de que las distancias entre el panel y el cabezal robótico, así como el encuadre seleccionado, presenten las menores distorsiones laterales posibles, pero sin olvidar que las imágenes gigapixel generadas no son ortoimágenes, algo que sí que se puede obtener a partir de los modelos tridimensionales.

En el proyecto se ha usado como una forma rápida de registrar el estado actual de los frisos pintados, lo que se ha comparado con la documentación histórica existente. Los calcos realizados por diversos investigadores constituyen una imagen fija de la situación de las pictografías en aquel momento, es decir, un momento 0 que puede ser contrastado con las documentaciones fotográficas gigapixel que hemos efectuado. Para favorecer la comparación hemos recurrido a convertir una fotografía panorámica gigapixel de cada conjunto en una imagen de falso color mediante *DStretch*. La visibilidad mejorada de las pictografías se puede usar así como una referencia comparable al calco.

La calidad de estas panorámicas, realizadas en muchos casos a una distancia inferior a 1,5 m y con una lente macro es enorme, y será una fuente de información de incalculable valor de cara a futuras comparaciones. Para convertir estas enormes imágenes a *DStretch* hemos recurrido a su tratamiento directo cuando ha sido posible. En imágenes superiores a 2 Gb el software *Image-J* sobre el que trabaja el plugin *DStretch* comienza a tener problemas. Por este motivo para imágenes superiores hemos segmentado el archivo original en partes más pequeñas, las hemos tratado independientemente en *DStretch*, y posteriormente han sido fusionadas en *Adobe Photoshop*.

### 5.1.3. Análisis de cambios mediante SIG

Los resultados del análisis SIG han permitido cartografiar las diferentes afecciones documentadas en los abrigos estudiados, muy frecuentes y variadas. No obstante, el trabajo de catalogación no ha podido ser acompañado de un análisis diacrónico como el que se planteaba inicialmente. Las expectativas para esta metodología eran altas pero, por diversos factores que expondremos a continuación, los resultados finales, en lo tocante a la capacidad de identificar y caracterizar cambios en la superficie de los abrigos mediante una metodología de SIG, no han alcanzado los resultados previstos. No obstante, toda la información acumulada servirá como un repositorio de incalculable valor de cara al futuro.

Por otra parte, se ha desarrollado un trabajo de generación de metadatos asociado a la elaboración del SIG que permite tener un control exhaustivo del trabajo efectuado en este apartado y de la metodología desarrollada. Este trabajo, aunque no directamente relacionado con los objetivos perseguidos por el proyecto, es necesario enfatizarlo ya que responde a la perentoria necesidad de generar archivos descriptivos de la ingente cantidad de información digital que produce un proyecto de las características de éste.

El análisis SIG se ha llevado a cabo aplicando los métodos de análisis espacial a través del software comercial *ArcGis* v.10. Como es sabido los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son programas de ordenador diseñados para recoger, almacenar, actualizar, manipular, analizar y reproducir datos con referencias geográficas. Estas herramientas nacen con la finalidad de poder abordar análisis espaciales del territorio a diferentes escalas geográficas.

El diseño conceptual y el modelo de datos ha podido ser elaborado sin generar ningún problema en la concepción y exportación de la información; adaptando los criterios a la problemática arqueológica analizada y estandarizando sus modelos e información según la directiva europea. Por el contrario, durante el proceso de detección semiautomática de las alteraciones y su posterior fotointerpretación, nos hemos encontrado con problemas provenientes tanto de la propia naturaleza de la información de origen, cómo de las limitaciones del software utilizado. Es por este motivo que el análisis diacrónico no ha obtenido los resultados buscados y, por tanto, no ha podido ser contrapuesto a las conclusiones del análisis volumétrico.

En general, podemos decir que ha existido una importante inadecuación entre los datos y productos que se estaban obteniendo a partir de *PhotoScan Pro*, modelos 3D referenciados y ortofotos, y los que demanda *ArcGis*. Entre estos problemas figuras la inadecuación de la referenciación espacial de las ortofotos respecto al sistema de referencia de *ArcGis*; en los planos de las ortofotos; en la corrección del color de las imágenes; en la dificultad para usar los sistemas de detección semiautomática por la presencia de zonas de sombra en las ortofotos; por la incapacidad de *ArcGis* para manejar archivos de un tamaño tan grande como estas ortofotos, circunstancia que obligó a la reducción de la unidad mínima cartografiada a una superficie de 1 cm<sup>2</sup>, claramente inadecuada para el tipo de alteraciones presentes en estos abrigos.

La suma de todos estos factores han contribuido a que si bien la catalogación haya sido exhaustiva dicha información no haya tenido utilidad para analizar los cambios diacrónicos. Somos conscientes de que existen software específicos, como los Sistemas de Información



Arquitectónica, que pueden ser una alternativa a los SIG utilizados, ya que estos son más apropiados para el desarrollo de análisis de objeto cercano.

#### 5.1.4. Análisis fisicoquímicos in situ

Los análisis químicos realizados mediante fluorescencia de rayos X y espectroscopia Raman han obtenido los resultados esperados, en cuanto a su capacidad de caracterización química, pero a lo largo del periodo de monitoreo no se ha constatado ningún cambio a nivel fisicoquímico. Asimismo, la utilización de estos sistemas ha contado con los límites que ya conocíamos de antemano, como la elevada radiación de fluorescencia en los análisis Raman que se produce en muchos abrigos al aire libre, especialmente con sustrato calizo, y que impiden una adecuada caracterización de la materia. La fluorescencia de rayos X, por otra parte, ha permitido la identificación de diferencias entre los pigmentos de algunos abrigos, circunstancia que podrá ser estudiada más a fondo en el futuro, ya que el estudio per se de la composición química de las pictografías no era un objetivo propio de este proyecto.

Hemos de señalar que la capacidad de detección de cambios a nivel físico-químico que permitiese diagnosticar procesos de alteración mediante estas técnicas de análisis in situ cuenta con el inconveniente práctico de repetir los puntos de medida con la precisión micro con la que trabajan estos equipos. No contamos con un sistema lo suficientemente preciso como para reproducir las condiciones de lectura de un punto concreto en dos tomas de datos diferentes, ni siquiera con un posicionamiento mediante una estación total, ya que, como hemos señalado más arriba, la precisión a la que se puede llegar por este sistema es milimétrica, nunca submilimétrica ni, por supuesto, micrométrica. No obstante, como hemos argumentado en el texto precedente, esta problemática se puede minimizar si tenemos en cuenta que los procesos de alteración no se producen exclusivamente en los puntos analizados, sino que afectan a áreas más o menos extensas, por lo que la medición de puntos con una diferencia de milímetros no invalida el procedimiento y el trabajo desarrollado.

La principal utilidad de estos sistemas es su capacidad de identificación de la composición química, de modo no invasivo, en un punto concreto de un panel rupestre. Pero el objetivo inicial perseguido con estas metodologías no es realista; el objeto analizado es de dimensiones gigantescas en relación al tamaño de los puntos analizados con lo que, independientemente del tipo de muestreo usado, las posibilidades de caracterizar los lugares en los que se están produciendo alteraciones son remotas. Una monitorización del tipo perseguido exigiría millares de puntos de control y una capacidad de reproducción de medidas con la que no contamos, con lo que alcanzar los objetivos es inviable en la actualidad. En nuestra opinión la utilización de estos sistemas en futuras monitorizaciones debe ser reorientado a su uso en puntos concretos en los que se hayan detectado alteraciones activas mediante otro sistema de diagnóstico; una vez identificado un punto en el que se está produciendo un proceso de alteración, la capacidad de caracterización de estas técnicas permitirá analizar que está sucediendo y como está afectando a la conservación del arte rupestre.

### 5.1.5. Análisis de las muestras geológicas

El análisis en laboratorio de las muestras geológicas ha dado unos resultados muy interesantes, aportación que no estaba prevista inicialmente. La complejidad de los sistemas que constituyen cada uno de los abrigos va incluso más allá de lo que preveíamos, y apunta a la necesidad de realizar análisis biogeoquímicos en profundidad para conocer con exactitud cual es el estado de conservación de un abrigo y cuales son los procesos de alteración que le están afectando.

Las formas y procesos de alteración definidos por estos análisis permiten caracterizar de una forma precisa a que problemáticas de conservación nos enfrentamos, complementando así al trabajo efectuado mediante la catalogación y mapeado de alteraciones y los análisis fisicoquímicos in situ. La toma de muestras, posterior elaboración de láminas delgadas, y observación y análisis mediante microscopía óptica de polarización y SEM-EDX ha permitido revelar algunos aspectos de la complejidad indicada. Este protocolo de análisis ha posibilitado caracterizar algunas costras y pátinas que recubren las caras externas de las rocas, desvelando la presencia de depósitos multilaminares consolidados con mucha más frecuencia que la presencia de pátinas conformadas por una sola capa de materia en superficie. Esos depósitos multilaminares presentan con asiduidad indicios de actividad biológica, no sólo en forma de costras de oxalato cálcico, por lo que finalmente esta metodología nos ha mostrado que la incidencia de los procesos biogénicos es tan importante en la apariencia de los paneles con pinturas rupestres como los puramente físico-químicos de tipo geológico.

La inclusión de un apartado de análisis geológicos en cada uno de los abrigos estudiados en el proyecto forma parte de una readaptación de la estrategia planteada inicialmente. Si en un principio, se pretendía obtener información relativa a lo que podríamos denominar como estadio "0" para, a partir de ahí, desarrollar técnicas de monitorización de los cambios, las capacidades de detección demostradas por los protocolos empleados nos han permitido plantearnos que una vez identificados los lugares donde se estaban produciendo esas alteraciones, se debía tratar de diagnosticar que es lo que las estaba provocando. Los análisis químicos in situ podían contribuir a esto, pero se limitan a un análisis de las superficies, por tanto, que no ofrece una caracterización de capas más profundas. Obviamente, un análisis geológico era imprescindible para caracterizar con precisión las formas de alteración que estaban presentes en estos seis abrigos, y tratar de inferir el/los mecanismos de alteración que las han causado.

La aportación del estudio geológico, aun con las limitaciones impuestas por el reducido número de muestras estudiadas, demuestra que es necesario incorporar esta disciplina a los procedimientos de monitorización, pero también, y esto es mucho más significativo, que la complejidad de los procesos geológicos (y biológicos) que están afectando a la conservación de los enclaves con arte rupestre al aire libre es tan grande que se deberían emprender proyectos de investigación específicos en cada abrigos para tener una imagen mucho más clara de cual es su estado actual y como se ha llegado hasta él.

De los análisis químico-mineralógicos efectuados se deduce que hay procesos a escala macroscópica que afectan a la conservación de las superficies externas de los abrigos con pinturas como pueden ser la humedad ambiental y de la roca, la crioturbación, fracturas y fallados, erosión eólica o afecciones causadas por organismos superiores, pero también una

multitud de factores a escala microscópica que pueden tener orígenes muy distintos pero apariencias similares pese a desarrollarse en ambientes y sobre sustratos diferentes.

A esta conclusión crucial se ha llegado después de efectuar el análisis de 19 láminas delgadas mediante lupa binocular, microscopio óptico de polarización y microscopio electrónico de barrido SEM-EDX. Es decir, las grandes diferencias a escala macroscópica respecto al tipo de sustrato geológico o al clima predominante en cada abrigo no explican los tipos de recubrimientos que presentan los abrigos. Los recubrimientos externos que presentan los abrigos no derivan de transformaciones del tipo de roca inherentes a las mismas ni están causados por condiciones climáticas concretas. Por el contrario, las costras multilaminares detectadas parecen corresponderse con factores a escala microscópica y nanométrica, en los que las diferencias climáticas, de insolación y humedad a estas escalas determinan la aparición de microorganismos que se desarrollan con independencia del tipo de superficie y con un fuerte grado de variación en las formas concretas de desarrollo, incluso a nivel de panel. En este sentido, las diferencias cromáticas identificadas con anterioridad se complementarán con los datos obtenidos en el estudio geológico para establecer un mapa de alteraciones actuales, a partir del cual se pueda realizar un estudio específico de sus procesos de formación y de la evolución de los distintos recubrimientos.

Las costras de coloración oscura, por lo general presentes en las partes menos iluminadas de las cavidades, están en algunos casos relacionados con la presencia de yeso. No obstante, dado el contexto en el que las hemos caracterizado, la coloración no se explica por aportes procedentes de la combustión causada por el tráfico u otras actividades antrópicas, por lo que cabe pensar que la coloración es un producto de la presencia de comunidades biológicas.

Las costras rojizas, predominantes en las partes medias de los abrigos, área en la que más abundantes son las pictografías, están relacionadas con la presencia de óxidos de hierro. Su origen es incierto, aunque podemos estar ante procesos de aporte eólico de aluminosilicatos o arcillas en forma de partículas sub-micrométricas que terminan fijándose a las paredes en zonas húmedas, pero también como consecuencia de la propia física de superficies. Por otro lado, pueden existir factores biológicos que contribuyan también a fijar esas partículas; los óxidos de hierro identificados, asociados a otros elementos metálicos y a minerales pesados, podrían ser acumulados por algunos microorganismos para protegerse de factores medioambientales (Edwards et al., 2004). El fósforo identificado, las bacterias observadas al microscopio y las formaciones micro-estomatolíticas apuntan a que la incidencia de estos factores biológicos puede ser decisiva en la configuración de muchos de los depósitos multilaminares. Las características de estas costras responden a lo que se viene denominando como "pátina de la cuenca mediterránea" (Aires-Barros, 2001; García-Vallés et al., 1997; Vázquez et al., 2010; Vendrell et al. 2001) en la que se combinan calcita, oxalato cálcico, yeso y pequeñas cantidades de elementos metálicos que tiñen las superficies externas. En su origen y formación intervienen una multitud de factores entre los que destacan los biogénicos (depósitos micro-estomatolíticos), que se combinan con procesos de acumulación/deposición eólica, de percolación y escorrentía laminar, y de crecimiento de cristales por evaporación. Todo ello, refuerza la hipótesis de que el sistema sustrato-pintura no se puede estudiar sin considerar los factores ambientales y biológicos que interactúan con él.

La composición en la mayoría de los recubrimientos estudiados es bastante constante. Mayoritariamente se componen de calcita, aunque en otros casos se ha determinado la presencia de oxalatos de calcio y fosfatos, además de la presencia de yeso –normalmente localizado en la capa más exterior– y la presencia de pequeñas cantidades de arcillas, cuarzo y óxidos metálicos.

La textura multi-laminar, y especialmente la micro-estromatolítica, parece sugerir un origen biogénico. Como hipótesis principal se baraja que se trate de antiguos recubrimientos biológicos han producido un proceso de biomineralización asociada a la presencia de bacterias (entre otras posibilidades). Esta afirmación, que afecta a una gran mayoría de los recubrimientos estudiados, no excluye otros orígenes para otros casos, donde en realidad lo que se ha constatado una complejidad multi-factorial donde intervienen mecanismos diversos (como por ejemplo 1) procesos de acumulación / deposición eólica; 2) procesos de percolación / escorrentía laminar o 3) procesos de evaporación – crecimiento masivo de cristales) combinado con la interacción de los distintos microorganismos.

### **5.1.5. Equipo humano**

La complejidad de un proyecto multidisciplinar del tamaño del que hemos efectuado es enorme desde todos los puntos de vista; es imprescindible hacer que converjan metodologías, intereses, y tiempos de proceso para alcanzar un objetivo común. Si este proyecto se puede considerar exitoso en algo, es en la conformación de un equipo de investigadores altamente cualificados, con un alto grado de implicación, y voluntad de contribuir al éxito común del proyecto. Todos nosotros nos concienciamos desde el principio de que estábamos trabajando en un proyecto con una metodología vanguardista y ello facilitó el trabajo en equipo y la persecución de los objetivos comunes. No siempre ha sido fácil, pero el resultado final ha merecido el esfuerzo.

## **5.2. Evaluación de los resultados**

### **5.2.1. Objetivos alcanzados y desviaciones respecto a los objetivos previstos**

Los objetivos fijados al comienzo del desarrollo del proyecto 4D · arte rupestre se han alcanzado en su mayor parte.

La monitorización de los cambios volumétricos se ha desarrollado de acuerdo a los objetivos perseguidos e incluso se ha ido más allá, alcanzando unos niveles de precisión mucho mayores de lo que pensábamos posible. También se ha desarrollado según lo previsto la utilización de

la fotografía gigapíxel como medio de registro integral de una superficie pictórica rupestre, y como medio de comparación con las documentaciones históricas precedentes, a través de las técnicas de descorrelación de imagen.

La conversión de esta información en formatos utilizables en navegadores web ha servido para generar una página web ([www.4darterupestre.com](http://www.4darterupestre.com)) con una parte de los resultados que ha contribuido notablemente a que el proyecto alcanzase un notable reconocimiento.

En el apartado del desarrollo de un sistema SIG no hemos podido alcanzar el objetivo de conseguir un sistema de análisis semiautomático de detección de los cambios superficiales. Los motivos fueron analizados en un apartado precedente.

El trabajo geológico ha alcanzado el objetivo perseguido de caracterizar de una forma precisa el tipo de alteraciones presentes en estas cavidades, al tiempo que se conseguía una información valiosísima sobre la estructura estratigráfica de las costras y pátinas identificadas.

Finalmente, los análisis químicos in situ se han efectuado de acuerdo con lo previsto, permitiendo la caracterización fisicoquímica de soportes, costras y pictografías, así como la comparación de datos de distintas series temporales.

### 5.2.2. Valoración de la idoneidad de la metodología del proyecto

Las técnicas de fotogrametría de objeto cercano han mostrado su capacidad de realizar modelos tridimensionales de alta resolución y alto nivel de detalle a partir de fotografías, a un nivel muy similar de precisión al de otros métodos como los escáneres láser. La versatilidad de la fotogrametría de objeto cercano es, en nuestra opinión, mucho mayor que la del láser escáner, pudiendo acceder a casi cualquier lugar de manera muy sencilla, y además su relación coste/calidad permite multiplicar el número de tomas de datos de modo simultáneo en varias cavidades, como se ha realizado en este proyecto. Un conjunto de fotografías tomadas en la actualidad para generar un modelo 3D fotogramétrico, siempre que capturen adecuadamente el objeto que se documenta, podrá servir en el futuro para generar volúmenes 3D más precisos y con mayor calidad de texturizado hiperrealista, conforme el software siga desarrollándose. En este sentido, hay que resaltar que los programas informáticos utilizados, basados en algoritmos como SfM, son altamente eficaces para, a partir de un conjunto de fotografías realizadas de acuerdo a ciertos principios básicos, generar una nube de puntos y un modelo 3D de alta resolución.

La fotografía gigapíxel permite superar la focalización en el motivo pictórico que han venido arrastrando desde sus orígenes los métodos de registro de arte rupestre. La imagen continua de muy alta resolución documenta tanto las pictografías como el panel pictórico, contribuyendo a que el sistema de una cavidad rupestre (abiótico+biótico+antrópico) quede registrado en su integridad. La transformación de estas imágenes mediante un software como *DStretch* facilita enormemente la valoración de lo que ha sucedido en estas cavidades, en términos de conservación o deterioro, desde la realización de anteriores documentaciones.

Los problemas que hemos encontrado para desarrollar un SIG que permitiese el mapeo de las alteraciones existentes y la comparación diacrónica de los cambios superficiales de los

paneles (frente al análisis volumétrico efectuado a partir de los modelos 3D) sugieren que la tecnología usada no está lo suficientemente desarrollada para los objetivos perseguidos, o para los medios técnicos con los que hemos podido contar. Estas dificultades han impedido cruzar los datos del análisis de la superficie con los obtenidos de los análisis químicos y geológicos.

La identificación de las causas de los deterioros y de los procesos y factores de alteración se ha llevado a cabo mediante los análisis químicos in situ y los análisis geológicos en laboratorio. Gracias a ellos, disponemos de un conocimiento profundo sobre la naturaleza de estos soportes, el tipo de costras presentes, las alteraciones que están afectando a su conservación y sobre la composición de las sustancias pictóricas empleadas en estos abrigos. Ambas metodologías han demostrado, por tanto, su utilidad en este proyecto.

### 5.3. Perspectivas de futuro

La valoración que hacemos del proyecto 4D · arte rupestre es muy positiva. El éxito alcanzado se refleja en la extensión a otros 10 lugares con arte rupestre del ARAMPI de una metodología similar a la analizada aquí. La monitorización de los yacimientos rupestres es una necesidad que debe ser atendida de manera ineludible en el futuro inmediato, y así lo han entendido las autoridades de las Comunidades Autónomas de Murcia, Castilla La Mancha, Valencia y Cataluña. El seguimiento del estado de conservación de estos lugares debe ser mantenido en lapsos temporales más amplios de modo que se puedan ir arbitrando las medidas necesarias para corregir o prevenir las alteraciones detectadas. El arte rupestre es un bien no renovable y las pérdidas que se producen irremplazables, por lo que es una responsabilidad de todos invertir los recursos necesarios para garantizar su preservación para las generaciones futuras en las mejores condiciones posibles.

La experiencia acumulada durante el año en que se ha desarrollado el proyecto 4D · arte rupestre nos permite plantear modificaciones sobre el planteamiento metodológico inicial. Las técnicas de comparación volumétrica y de generación de nubes de puntos y modelos 3D son tan eficaces para la detección de cambios a nivel milimétrico que se mantendrán como el corazón de este sistema. Además, cabe esperar mejoras sucesivas en las capacidades de los programas y soportes informáticos que posibilitarán un control todavía más preciso de esas modificaciones. La identificación de las alteraciones a nivel superficial (fundamentalmente pérdidas de escamas a nivel submilimétrico) necesitan una metodología diferente, que será abordada en el futuro.

Las metodologías de detección de cambios son muy eficaces, pero presentan una situación que ya ha sucedido, pero no sirven para prevenir estas afecciones. El diagnóstico conseguido a partir de la identificación de las pérdidas del soporte, o de los recrecimientos que le puedan estar afectando, precisa de un mecanismo de detección temprana que complemente su probada eficacia. En la actualidad, se están evaluando la utilización de técnicas de análisis termográfico y de fotografía multibanda y técnicas de teledetección, con el objetivo de mejorar las capacidades de diagnóstico y de conservación preventiva de este sistema de monitorización.

Por último, consideramos que el papel de las técnicas de análisis químico in situ y geológico

deben cambiarse. Los cambios a nivel fisicoquímico son difícilmente identificables *in situ*, debido a que trabajan a nivel microscópico, mientras que nuestras capacidades de posicionamiento, y por tanto de repetición de la lectura efectuada, se mantienen a nivel macroscópico. Este límite no invalida la obtención de una imagen global, bastante precisa, de la caracterización de un panel con arte rupestre y de lo que ha sucedido en él durante un lapso temporal. No obstante, consideramos que el papel de estas técnicas es más relevante en la caracterización de los procesos y formas de alteración que se hayan detectado previamente gracias a las técnicas de monitorización volumétricas o a los mecanismos de diagnóstico temprano señalados.

Esperamos con todo ello, seguir contribuyendo a la conservación de unos bienes culturales tan frágiles como el arte rupestre al aire libre de la Península Ibérica.





## 6 . Bibliografía

- ACOSTA, P., 1968. *La pintura rupestre esquemática en España*. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- AGISOFT LLC, n.d. *AgiSoft PhotoScan User Manual*. Professional Edition 0.9.1. Agisoft LLC.
- AIRES BARROS, L., 2001. *As rochas dos monumentos portugueses: Tipologias e patologias*. Vol.1. Instituto Portugues do patrimonio arquitectonico (IPPAR), Lisboa, p. 238 – 245.
- ALCALDE, M. y VILLEGAS, R., 2003. *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Cuadernos Técnicos. Editorial Comares, Granada.
- ALONSO TEJADA, A., 1980. *El conjunto rupestre de Solana de las Covachas, Nerpio (Albacete)*. Diputación, IEA, Albacete.
- ALLOZA IZQUIERDO, R., ROYO GUILLÉN, J. I., RECUENCO CARABALLO, J. L., LECINA ENCISO, M., PÉREZ BELLIDO, R. Y IGLESIAS GARCÍA, M. P., 2012. La conservación del arte rupestre al aire libre: un desafío formidable. En: Juste, M<sup>a</sup>. N. (Eds.), *Jornadas técnicas para la gestión del arte rupestre, patrimonio mundial*. Alquézar, Huesca, pp. 73-84.
- ANGÁS PAJAS, J., BEA, M., Y ROYO GUILLÉN, J.I., 2013. Documentación geométrica mediante tecnología láser escáner 3D del arte rupestre en la cuenca del Matarraña(Teruel). *Cuadernos de Arte Rupestre*, 6: 88–98.
- AUJOULAT, N., PERAZIO, G.A.L.C. DE F.D., Y PERAL, F., 2005. Contribution de la saisie tridimensionnelle à l'étude de l'art pariétal et de son contexte physique. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 102 (1): 189–197.
- BALLESTER CASAÑ, L., 2003. *Conservación de las pinturas rupestres del Levante español*. UPV. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Tesis doctoral, Valencia.
- BALLESTER CASAÑ, L. Y PÉREZ GARCÍA, C., 2005. *Conservación de pinturas rupestres prehistóricas*. UPV. Valencia.
- BARNETT, T., CHALMERS, A., DIAZ-ANDREU, M., ELLIS, G., LONGHURST, P., SHARPE, K., Y TRINKS, I., 2005. 3D Laser Scanning For Recording and Monitoring Rock Art Erosion. *International News of Rock Art (INORA)*, 41: 25–29.
- BASTIAN, F. Y ALABOUVETTE, C. 2009. Lights and shadows on the conservation of a rock art cave: The case of Lascaux Cave. *International Journal of Speleology*, 38 (1): 55-60.
- BELTRÁN MARTÍNEZ, A., 1972. *Los abrigos pintados de la Cañica del Calar y de la Fuente del Sabuco, El Sabinar (Murcia)*. Monografías Arqueológicas, IX.
- BREUIL, H., 1920. Les peintures rupestres de la Peninsule Iberique, XI: Les roches peintes de Minateda. *L'Anthropologie*, XXX: 2–50.
- BREUIL, H., Y BURKITT, M., 1915. Les peintures rupestres d'Espagne VI. Les abris peints du Monte Arabí près Yecla (Murcia). *L'Anthropologie*, 26: 313–328.

- BUCHÓN MORAGUES, F.F., HERRÁEZ BOQUERA, J.A., LERMA GARCÍA, J.L., PONS CRESPO, R., y GALÍNDEZ HERNÁNDEZ, M., 2002. Estudio fotogramétrico del abrigo de Cova Ribasals o Civil para la generación de la cartografía temática local; su análisis mediante sistemas de información geográfica. En: *XIV Congreso Internacional De Ingeniería Gráfica, Santander, 5-7 De Junio De 2002*. pp. 1-11.
- CABRÉ AGUILÓ, J., 1915. *El arte rupestre en España*. Museo de Ciencias Naturales. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, 1, Madrid.
- CARBONELL ESCOBAR, J., 1969. Dos nuevos abrigos con pinturas rupestres de El Sabinar (provincia de Murcia). *Archivo de Prehistoria Levantina*, XII: 19–26.
- CALVO, J.P., 1978. Estudio petrológico y sedimentológico del Terciario marino del sector central de la provincia de Albacete. *Est. Geol.* Vol. 34 p. 407 – 429
- CASTAÑO, S., LÓPEZ, J., y DE MORA, J., 1984. *Itinerarios geológicos de la provincia de Abacete. Tobarra - Hellín – Minateda – Cancarix – La Celia*.
- CHANDLER, J.H., y FRYER, J.G., 2005. Recording aboriginal Rock Art using cheap digital cameras and digital photogrammetry. *CIPA 2005 XX Internacional Symposium, 26 September - 01 October, 2005, Torino, Italy*, pp. 193–198.
- CHANDLER, J.H., FRYER, J.G., y JACK, A., 2005a. Metric capabilities of low-cost digital cameras for close range surface measurement. *The Photogrammetric Record*, 20: 12–26.
- CHANDLER, J.H., FRYER, J.G., y KNIEST, H.T., 2005b. Non-invasive three-dimensional recording of aboriginal rock art using cost-effective digital photogrammetry. *Rock Art Research*, 22 (2): 119–130.
- CHOQUETTE, P.W. y PRAY, L.C., 1970. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates, *AAPG Bulletin*, v.54, No. 2, p. 207 – 250.
- CLIFFOR, A. 2010. *Stone Conservation an overview of current research*. Los Ángeles, California: Getty Publications.
- DAVID, H., 2008. *Contribución a la conservación del arte rupestre prehistórico*. UPV. Valencia.
- DE REU, J., PLETS, G., VERHOEVEN, G., DE SMEDT, P., BATS, M., CHERRETTÉ, B., DE MAEYER, W., DECONYNCK, J., HERREMANS, D., LALOO, P., VAN MEIRVENNE, M., y DE CLERCQ, W., 2013. Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40: 1108–1121.
- DIAZ-ANDREU, M., 2012. Memoria y olvido en la Historia de la Arqueología: recuperando la figura de Francisco Benítez Mellado (1883-1962), el gran ilustrador arqueológico. *Pyrenae*, 43: 109–131.
- DIAZ-ANDREU, M., HOBBS, R., ROSSER, N., SHARPE, K., y TRINKS, I., 2005. Long Meg : rock art recording using 3D laser scanning. *Past*: 2–6.
- DOMINGO, I., VILLAVEDE, V., LÓPEZ MONTALVO, E., LERMA, J.L., y CABRELLES, M., 2013. Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques. *Journal of Archaeological Science*, 40: 1879–1889.
- DONEUS, M., VERHOEVEN, G., FERA, M., BRIESE, C., KUCERA, M. y NEUBAUER, W., 2011. From deposit to point cloud: a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations. *Geoinformatics*, 6: 81–88.

- DOWNES, R.T., 2006. *Program and Abstracts of the 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan*. <http://rruff.info>
- DUNHAM, R. J., 1962. Classification of Carbonate Rocks, *Mem. Ass. Petrol. Geol.*, 1: 108 – 121.
- EMBRY, A.F. y KLOVAN, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT: *Canadian Petroleum Geology Bulletin* 19: 730 – 781.
- ESBERT, RM, ORDAZ, J, ALONSO, FJ, y MONTOTO, M., 1997. *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, Barcelona.
- FOLK, R.L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 43: 1 – 18.
- FOLK, R.L., 1962. Spectral subdivision of limestone types. A: W.E. Ham (ed.) *Classification of Carbonate Rocks, Mem. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 1: 62 – 84.
- GARCÍA GUINEA, M.A., 1963. Le nouveau et important foyer de peintures levantines à Nerpio (Albacete, Espagne). *Bulletin de la Société Préhistorique de L'Ariège*, XVIII: 17–55.
- GIRARDEU-MONTAUT, D., 2012. *CloudCompare. User's manual for version 2.1*. Consultado en [www.cloudcompare.net](http://www.cloudcompare.net). Abril 2013.
- GÓMEZ-GRAS, D., 1999. *Petrologia sedimentària de roques detrítiques. Manual de pràctiques de laboratori*. Col·lecció Materials 70. Servei de Publicacions de la UAB, Bellaterra.
- GÓMEZ DE LLANERA, J., 1934-1935. Observaciones sobre la geología y fisiografía de los alrededores de Hellín. *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*. Tomo XXXIV: 222 – 224 .
- GONZÁLEZ-AGUILERA, D., MUÑOZ-NIETO, A., GÓMEZ-LAHOZ, J., HERRERO-PASCUAL, J., Y GUTIERREZ-ALONSO, G., 2009. 3D Digital Surveying and Modelling of Cave Geometry: Application to Paleolithic Rock Art. *Sensors*, 9: 1108–1127.
- GOODCHILD, M.F., 1992. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1): 31-45.
- GRUSSEMEYER, P., Y YASMINE, J., 2004. Photogrammetry for the preparation of archaeological excavation. A 3D restitution according to modern and archive images of Beaufort Castle landscape (Lebanon). *Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 809–814.
- GUILLAMET, E., 2012. Intervenciones de conservación del arte rupestre al aire libre. En: Juste, M<sup>a</sup>. N. (Eds.), *Jornadas técnicas para la gestión del arte rupestre, patrimonio mundial*. Alquézar, Huesca, pp. 123-127.
- GUNN, R., OGLEBY, C., LEE, D., Y WHEAR, R., 2010. A method to visually rationalise superimposed pigment motifs. *Rock Art Research: The Journal of the Australian Rock Art Research Association (AURA)*, 27: 131–136.
- HARMAN, J., 2008. *Using Decorrelation Stretch to Enhance Rock Art Images*. Consultado en <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription.html> (Agosto 2013).
- HERNÁNDEZ CARRIÓN, E., Y MONTES BERNÁNDEZ, R., 1983. Las pinturas rupestres del Buen Aire, Jumilla (Murcia). *Revista Pleita*.
- HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, L. Y GONZÁLEZ PÉREZ, C., 2002. *Introducción al análisis instrumental*. Ariel Ciencia. Barcelona.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E., 1959. *Prehistoria del solar hispano*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, t. XX, Madrid.

- HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S., 2006. Arte esquemático en la fachada oriental de la Península Ibérica. 25 años después. *Zephyrus* LIX, 199–214.
- HERNANZ GISMERO, A., RUIZ LÓPEZ, J.F., GAVIRA-VALLEJO, J.M., MARTÍN, S., Y GAVRILENKO, E., 2010. Raman microscopy of prehistoric rock paintings from the Hoz de Vicente, Minglanilla, Cuenca, Spain. *Journal of Raman Spectroscopy*, 41: 1104–1109.
- HERRÁEZ, J. A., 1996. La conservación preventiva del arte rupestre. En: Iglesias Gil J. M. (Ed.), *Cursos sobre el Patrimonio Histórico*, 1. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Madrid, pp. 197-208.
- HOERLÉ, S., 2006. Rock temperatures as an indicator of weathering processes affecting rock art. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 383–389.
- HULLO, J., GRUSSENMEYER, P., Y FARES, S., 2009. Photogrammetry and Dense Stereo Matching Approach Applied to the Documentation of the Cultural Heritage Site of Kilwa (Saudi Arabia). *XXII CIPA Symposium*, pp. 1–6.
- IGME, 1979: MAGNA 50 (2ª Serie, 1a Edición). *Hoja 909 Nerpio y memoria asociada. Escala: 1:50.000*. [Documento Cartográfico]. Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid, p. 18 – 19.
- IGME, 1981: MAGNA 50 (2ª Serie, 1a Edición). *Hoja 888 Yetas de abajo y memoria asociada. Escala: 1:50.000*. [Documento Cartográfico]. Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- IGME, 1981: MAGNA 50 (2ª Serie, 1a Edición). *Hoja 889 Moratalla y memoria asociada. Escala: 1:50.000*. [Documento Cartográfico]. Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid, p. 41 – 42.
- IGME, 1984: MAGNA 50. *Hoja 868 Iiso y memoria asociada. Escala: 1:50.000*. [Documento Cartográfico]. Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid, p. 25.
- IGME, 1984: MAGNA 50. *Hoja 818 Montalegre del Castillo y memoria asociada. Escala: 1:50.000*. [Documento Cartográfico]. Instituto Geológico y Minero de [España](#). Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid, p. 28 – 29.
- IGME, 1984: MAGNA 50. *Hoja 844 Ontur y memoria asociada. Escala: 1:50.000*. [Documento Cartográfico]. Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid, p. 25.
- JORDÁ CERDÁ, F., 1985. El arte prehistórico de la región valenciana: problemas y tendencias. En: *Actas de las I Jornadas de Arqueología del País Valenciano: Panorama y Perspectivas. Anexos de la Revista Lucentum*. Universidad de Alicante, Alicante, pp. 121–140.
- JUSTE ARRUGA, M.N., Hernández Prieto, M.A., Pereta Aybar, A., Royo Guillén, J.I., y Andrés Moreno, J.A., 2012. *Documento marco inicial para la elaboración de un sistema de gestión del arte rupestre declarado patrimonio mundial en el Arco mediterráneo de la Península Ibérica*. Comarca de Somontano de Barbastro.
- KAZHDAN, M., BOLITHO, M., Y HOPPE, H. 2006. Poisson Surface Reconstruction. En: *SGP '06 Proceedings of the fourth Eurographics symposium on Geometry processing Eurographics Association*, pp. 61–70. Aire-la-Ville.
- KERSTEN, T.P., Y LINDSTAEDT, M., 2012. Image-Based Low-Cost Systems for Automatic 3D Recording and Modelling of Archaeological Finds and Objects. en: *Progress in Cultural*

- Heritage Preservation. 4th International Conference, EuroMed 2012. Limassol, Cyprus, October 29–November 3, 2012 Proceedings*. Springer, pp. 1–10.
- KOLECKA, N., 2011. Photo-Based 3d Scanning vs. Laser Scanning – Competitive Data Acquisition Methods for Digital Terrain Modelling of Steep Mountain Slopes. En: *ISPRS Hannover Workshop 2011: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. June 14-17, 2011*. Hannover, Germany. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 1–6.
- KRUMBEIN, W.E., BREHM, U., GERDES, G., GORBUSHINA, A.A., LEVIT, G. Y PALINSKA, K., 2003. Biofilm, Biodictyon, and Biomat - Biolaminites, Oolites, Stromatolites - Geophysiology, Global mechanisms and Parahistol. En Krumbein WE, Paterson DW y Zavarzin, GA, (ed.) *Fossil and recent Biofilms A natural History of Life on Earth*, 1–28. Dordrecht: Kluwer Academic Press Publishers
- LERMA GARCÍA, J.L., CABRELLES, M., NAVARRO, S., Y GALCERÁ, S., 2009. Documentación 3D de la Cova del Parpalló, En: *IV Congreso El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. 3, 4 y 5 de diciembre de 2008. Museo de Bellas Artes San Pío V, Valencia*. Generalitat Valenciana, Valencia, pp. 289–293.
- LERMA, J.L., CABRELLES, M., NAVARRO, S., Y SEGUÍ, A.E., 2013. Modelado fotorrealístico 3D a partir de procesos fotogramétricos: láser escáner versus imagen digital. *Cuadernos de Arte Rupestre*, 6: 82–87.
- LOENDORF, L., Y MCCLELLAN, C., 2008. Managing the Petroglyphs at Legend Rock, Wyoming. En J. P. Sánchez, A. Sánchez-Clark, y E. L. Abreu (eds), *Set in Stone: A Binational Workshop on Petroglyph Management in the United States and Mexico. Workshop Proceedings. 19-21 September 2007*. Albuquerque: Petroglyph National Monument. New Mexico. National Park Service. U.S. Department of the Interior, pp. 53–66.
- LÓPEZ-MONTALVO, E., Y DOMINGO, I., 2005. Nuevas tecnologías y restitución bidimensional de los paneles levantinos: primeros resultados y valoración crítica del método. En: *Actas del III Congreso de Neolítico de la Península Ibérica*. Santander, pp. 719-728.
- LÓPEZ-MONTALVO, E., Y DOMINGO, I., 2009. Nuevas técnicas aplicadas a la documentación gráfica del arte Levantino: valoración crítica del método tras una década de experimentación. En: *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 Años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Actas del IV Congreso (Valencia 3-5 Diciembre de 2008)*. Generalitat Valenciana, Valencia, pp. 295-302.
- LORBLANCHET, M., 1995. *Les grottes ornées de la préhistoire*. Paris: Errance.
- LOWE, D.G., 1999. Object recognition from local scale-invariant features. En *International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece (September 1999)*, pp. 1150–1157. Consultado en <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints/>
- MACLEOD, I., Y HAYDOCK, P., 2008. Effects of water vapour and rock substrates on the microclimates of painted rock art surfaces and their impact on the preservation of the images. En: Scott. M. (Ed). *AICCM Bulletin*, 31: 66-86.
- MARK, R., Y BILLO, E., 2011. GigaPan panoramas for rock art panel documentation: a practical guide. *Rock Art Research*, 28: 1–3.

- MARTÍNEZ-BEA, M., 2009. Las pinturas rupestres del abrigo de La Vacada (Castellote, Teruel). *Monografías Arqueológicas*, 43. Prehistoria. Universidad de Zaragoza.
- MAS CORNELLÁ, M., MAURA MIJARES, R., Y SOLÍS DELGADO, M., 2011. Cronologías absolutas y cronologías relativas. En torno a las secuencias iniciales del arte rupestre en el Arco Mediterráneo. En: García Arranz, J.J., Collado Giraldo, H., Nash, G. (Eds.), *The Levantine Question. La Cuestión Levantina*. Archeolingua, Budapest, pp. 187–208.
- MATEO SAURA, M.A., 2005. El arte rupestre prehistórico del Barranco del Buen Aire (Jumilla, Murcia). *Verdolay. Revista del Museo de Murcia*, 9: 51–70.
- MATEO SAURA, M.A., 2007. *La Cañica del Calar II (Moratalla, Murcia)*. Dirección General de Cultura, Murcia.
- MATTHEWS, N.A., 2007. *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation*. (No. 428). U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, Colorado.
- MEDINA RUIZ, A.J., MARTÍNEZ COLLADO, F.J., HERNÁNDEZ CARRIÓN, E., LÓPEZ CAMPUZANO, M., Y SAN NICOLÁS DEL TORO, M., 2012. *Las pinturas rupestres esquemáticas del abrigo Riquelme. Jumilla, Murcia*. Centro de Estudios de Prehistoria y Arte Rupestre., Murcia.
- PEREIRA UZAL, J., 2012a. Fotogrametría y colorimetría en digitalización del patrimonio. [www.jpereira.net](http://www.jpereira.net). <http://www.jpereira.net/gestion-de-color-articles/fotogrametria-y-colorimetria-en-digitalizacion-del-patrimonio> (consultado junio 2013).
- Pereira Uzal, J., 2012b. Evaluación de la reproducción tonal con mediciones OECF. [www.jpereira.net](http://www.jpereira.net). [http://www.jpereira.net/index.php?option=com\\_content&view=blog&layout=blog&categoryid=94&limitstart=12](http://www.jpereira.net/index.php?option=com_content&view=blog&layout=blog&categoryid=94&limitstart=12) (consultado junio 2013).
- PEREIRA UZAL, J., 2012c. Todo sobre los perfiles de cámara DNG [WWW Document]. [www.jpereira.net](http://www.jpereira.net). URL <http://www.jpereira.net/gestion-de-color-articles/todo-sobre-los-perfiles-de-camara> (accessed 6.13c).
- PEREIRA UZAL, J., 2012d. Aspectos de la gestión de la calidad en perfiles de color ICC [WWW Document]. [www.jpereira.net](http://www.jpereira.net). URL <http://www.jpereira.net/gestion-de-color-articles/aspectos-de-la-gestion-de-la-calidad-en-perfiles-de-color-icc> (consultado junio 2013).
- PEREIRA UZAL, J., 2013a. Perfiles de cámara DCP + ajuste tonal = precisión colorimétrica. [www.jpereira.net](http://www.jpereira.net). <http://www.jpereira.net/gestion-de-color-articles/perfiles-de-camara-dcp-y-ajuste-tonal> (consultado junio 2013).
- PEREIRA UZAL, J., 2013b. Ajuste tonal automatizado en ACR con Colorchecker. [www.jpereira.net](http://www.jpereira.net). <http://www.jpereira.net/gestion-de-color-articles/ajuste-tonal-automatizado-en-acr-con-colorchecker> (consultado junio 2013).
- PLETS, G., GHEYLE, W., VERHOEVEN, G., REU, J.D., BOURGEOIS, J., VERHEGGE, J., Y STICHELBAUT, B., 2012a. Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains. *Antiquity*, 86: 884–897.
- PLETS, G., VERHOEVEN, G., CHEREMISIN, D., PLETS, R., BOURGEOIS, J., STICHELBAUT, B., GHEYLE, W., Y DE REU, J., 2012b. The deteriorating preservation of the Altai Rock art: assessing three-dimensional image-based modelling in rock art research and management. *Rock Art Research*, 29: 139–156.
- PUCHE MUÑOZ, A. 1989. Síntesis geológica del Término de Yecla. *Yakka. Revista de Estudios Ye-*

- clanos*, p. 115 – 142.
- PUCHE MUÑOZ, A. 2009. Medio Natural. Geología, en: Muñoz López, F. J. (Ed.) *Yecla. Memorias de su identidad*, p. 15 – 20.
- QUESADA MARTÍNEZ, E., 2008. Aplicación *Dstretch* del software Image-J. Avance de resultados en el Arte Rupestre de la Región de Murcia. *Cuadernos de Arte Rupestre*, 5: 9–27.
- RAVINDRAN, T.R., ARORA, A.K., SINGH, M., Y OTA, S.B., 2012. On- and off-site Raman study of rock-shelter paintings at world-heritage site of Bhimbetka. *Journal of Raman Spectroscopy*, 44: 108–113.
- RIPOLL PERELLÓ, E., 1968. Cuestiones en torno a la cronología del arte rupestre postpaleolítico en la Península Ibérica. En: Ripoll, E. (Ed.); *Simposio Internacional De Arte Rupestre*, Barcelona, 1966. IPA, Barcelona, pp. 165–192.
- ROGERIO-CANDELERIA, M.A., JURADO, V., LAIZ, L. Y SAIZ-JIMENEZ, C., 2011. Laboratory and in situ assays of digital image analysis based protocols for biodeteriorated rock and mural paintings recording. *Journal of Archaeological Science*, 38: 2571-2578.
- SAAD, A., GUÈDON, S. Y MARTINEAU, F., 2010. Microstructural weathering of sedimentary rocks by freeze–thaw cycles: Experimental study of state and transfer parameters. *Comptes Rendus Geoscience*, 342: 197–203.
- SAN NICOLÁS DEL TORO, M., 1989. Trabajos fotogramétricos de objetos cercanos: arte rupestre en Murcia. *Boletín de la Asociación Española de Arte Rupestre*, 2: 11–14.
- SÁNCHEZ CARRILERO, J., 1961. Avance al estudio de las pinturas de Solana de las Covachas, pedanía de Río-Moral (Nerpio-Albacete). *Noticario Arqueológico Hispano*, 5: 1–12.
- SEBASTIÁN LÓPEZ, M., URIARTE GONZÁLEZ, A., ANGÁS PAJAS, J., Y MARTÍNEZ BEA, M., 2010. Documentación sistémica del arte rupestre mediante el análisis espectral del escaneado 3D de las estaciones pintadas en Aragón. *Virtual Archaeology Review*, 1: 123–127.
- SKOOG, S. A., Y LEARY, J. J., 1994. *Análisis Instrumental*. McGraw-Hill, México. Cuarta Edición.
- SGT NEM., 2010. *Núcleo Español de Metadatos (NEM v1.1)*. Consejo Superior Geográfico. [http://www.idee.es/resources/Mundo\\_IDE/IDEE/GTIDEE/NEMv1.1.pdf](http://www.idee.es/resources/Mundo_IDE/IDEE/GTIDEE/NEMv1.1.pdf) (acceso 06-09-2013).
- SOLÍS, M., 2009. Métodos digitales para la restauración-reconstrucción virtual aplicada al estudio del arte rupestre. En: *El arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Actas del IV Congreso (Valencia 3 a 5 diciembre de 2008)*. Generalitat Valenciana, Valencia, pp. 343-349.
- TC211., 2003. *ISO 19115:2003. Geographic information - Metadata*. International Organization for Standardization.
- TOURNIÉ, A., PRINSLOO, L.C., PARIS, C., COLOMBAN, P., Y SMITH, B., 2011. The first in situ Raman spectroscopic study of San rock art in South Africa: procedures and preliminary results. *Journal of Raman Spectroscopy*, 42(3): 399–406.
- VALERO, J. M., 2000. *La alteración cromática en la piedra arenisca*. San Sebastián. P. 197 [Tesis doctoral inédita].
- VÁZQUEZ-CALVO, C., ÁLVAREZ DE BUERGO, M., FORT, R., Y VARAS M.J., 2007. Characterization of patinas by means of microscopic techniques. *Materials Characterization* 58: 1119–1132.

- VÁZQUEZ-CALVO, C., ÁLVAREZ DE BUERGO, M., FORT, R., 2010. Pátinas de Oxalatos y Fosfatos Cálcidos en Monumentos de la Península Ibérica. *Macla* 13: 221 – 222.
- VENDRELL-SAZ, M., GARCÍA VALLÉS, M., SALVADÓ, N., y MEGÍAS, L., 2001. *Interacció* entre les roques i l'atmosfera: desenvolupament i evolució de pàtines a la conca mediterrània. *Revista de la Societat Catalana de Química* 2: 25 – 34.
- VERHOEVEN, G., 2011. Taking computer vision aloft - archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with *photoscan*. *Archaeol. Prospect.*, 18: 67–73.
- VERHOEVEN, G., DONEUS, M., BRIESE, C., Y VERMEULEN, F., 2012. Mapping by matching: a computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs. *Journal of Archaeological Science*, 39: 2060–2070.
- VILES H.A., 2001. Scale issues in weathering studies. *Geomorphology*, 41: 63–72.
- VIÑAS VALLVERDÚ, R., 1975. El conjunto rupestre de la Serra de la Pietat, Ulldesona-Tarragona. *Speleon*, I: 115–151.
- WALKER, M., 1969. The naturalistic animal art of eastern Spain. *Transactions of the Cave Research Group of Great Britain*, 11: 121–132.
- WALKER, M., 1971. Spanish Levantine Rock Art. *Man*, 6 (4): 553–589.
- WILLIS, M., 2011. Determining Rock Art Deterioration Through Time: Automatic Change Detection with SfM. *Markaeology*. <http://palentier.blogspot.com.es/2011/11/determining-rock-art-deterioration.html> (Consultado mayo 2013).
- WU, C., 2013. *VisualSFM: A Visual Structure from Motion System*. SfM. Consultado en <http://homes.cs.washington.edu/~ccwu/vsfm/doc.html> [mayo 2013].
- WU, C., AGARWAL, S., CURLLESS, B., Y SEITZ, S., 2011. Multicore bundle adjustment. En: *Procs IEEE Conf on computer vision and pattern recognition*, pp. 3057–3064.
- ZHANG, Y. H. Y CHAN, C. K., 2002. Understanding the hygroscopic properties of supersaturated droplets of metal and ammonium sulfate solutions using Raman spectroscopy. *J. Physical Chemistry A*, 106, 285-292









---

Anexos

---

## Anexo 1

**TABLA 22. RELACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES SELECCIONADOS PARA SU ANÁLISIS QUÍMICO-MINERALÓGICO**

<b>Referencia</b>	<b>Localización en el abrigo</b>	<b>Color del recubrimiento</b>
AGM001	Franja superior (encima de las pinturas)	Recubrimiento anaranjado
AGM003	Franja superior (encima de las pinturas)	Costra grisácea
AGM005	Franja superior (hacia el techo)	Costra negra descamada
BA001	Franja media (derecha del abrigo)	Costra anaranjada
BA003	Franja superior (encima de las pinturas de abajo)	Costra grisácea
BA004	Franja superior (encima de las pinturas a modo de cenefa de arriba)	Costra negruzca
BA005	Techo; parte central del abrigo	Costra negruzca
CC001	Parte central, muy cercana a la base del abrigo	Costra anaranjada
CC003	Franja central	Pátina anaranjada
CC006	Zona superior derecha del abrigo	Costra negruzca
CM001	A la altura del suelo / base del abrigo	Pátina anaranjada
CM002	Franja central	Costra anaranjada-grisácea; muy compacta
CM003	Entrada del abrigo, mano izquierda, altura media	Costra anaranjada; aspecto abombado
SC001	Franja superior	Costra negruzca
SC002	Altura media	Costra anaranjado
SC003	Base	Costra grisáceo - anaranjado
SC006	Techo	Recubrimiento negruzco
SC007	Parte central del panel	Costra anaranjada
SC008	Franja central	Costra grisácea

## Anexo 2

**TABLA 23. RESUMEN DE LOS RECUBRIMIENTOS IDENTIFICADOS EN LOS MUESTREOS**

Referencia	Edad soporte	Clasificación Folk	Clasificación Dunham	Tipo de recubrimiento	Nº de capas
AGM001	Serravaliense - Helvetiense	Intramicro - Biomicrita	Wackstone	Costra anaranjada	3
AGM003	Serravaliense - Helvetiense	Intramicro - Biomicrita	Wackstone	Costra grisácea	4
AGM005	Serravaliense - Helvetiense	Intramicro - Biomicrita	Wackstone	Costra negra descamada	2
BA001	Serravaliense - Tortoniense inferior	Biomicrita / biomicrita empaquetada	Rudstone - grainstone	Costra anaranjada	3
BA003	Serravaliense - Tortoniense inferior	Biomicrita / biomicrita poco empaquetada	Floatstone	Costra grisácea	5
BA004	Serravaliense - Tortoniense inferior	Bioesparita / bioesparita poco clasificada	Rudstone - grainstone	Costra negruzca	2
BA005	Serravaliense - Tortoniense inferior	Bioesparita / bioesparita poco limpia	Rudstone - grainstone	Costra negruzca	2
CC001	Aquitaniense - Languiense	Biomicrita empaquetada	Wackstone	Costra anaranjada	3
CC003	Aquitaniense - Languiense	Biomicrita empaquetada	Floatstone	Pátina anaranjada	1
CC006	Aquitaniense - Languiense	Biomicrita empaquetada	Floatstone	Costra negruzca	3
CM001	Serravaliense - Tortoniense inferior	Biomicrita empaquetada	Rudstone	Pátina anaranjada	3
CM002	Serravaliense - Tortoniense inferior	Biomicrita empaquetada	Rudstone	Costra anaranjada-grisácea; muy compacta	2
CM003	Serravaliense - Tortoniense inferior	Biomicrita empaquetada	Rudstone	Costra anaranjada; aspecto abombado	2
SC001	Aquitaniense - Burdigaliense	Biomicrita / biomicrita poco empaquetada	Mudstone / wackstone	Costra negruzca	3
SC002	Aquitaniense - Burdigaliense	Bioesparita poco limpia	Mudstone / wackstone	Costra anaranjada	2
SC003	Aquitaniense - Burdigaliense	Biomicrita poco empaquetada	Mudstone	Costra grisácea - anaranjada	2
SC006	Aquitaniense - Burdigaliense	Biomicrita empaquetada	Wackstone	Costra negruzca	3
SC007	Aquitaniense - Burdigaliense	Biomicrita - bio(micro)esparita poco limpia	Wackstone	Costra anaranjada	2
SC008	Aquitaniense - Burdigaliense	Biomicrita - bioesparita poco limpia	Mudstone	Costra grisácea	4

## Anexo 3 - Ficha petrológica

Muestra	<b>BA001</b>
Abrigo	<b>Buen Aire I</b>
Localización	<b>Franja media (derecha del abrigo)</b>

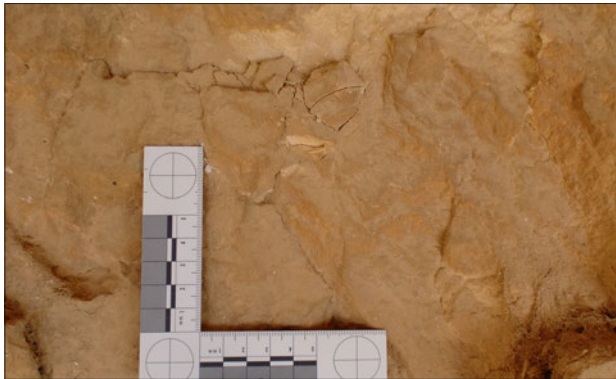


Figura 380. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

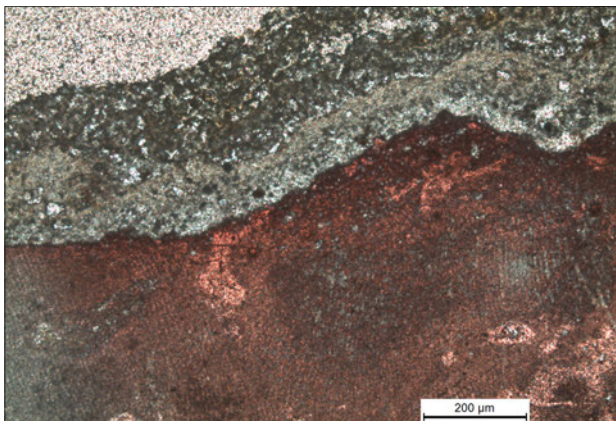


Figura 381. Microfotografía de la muestra BA001 en sección (NP - 10x)

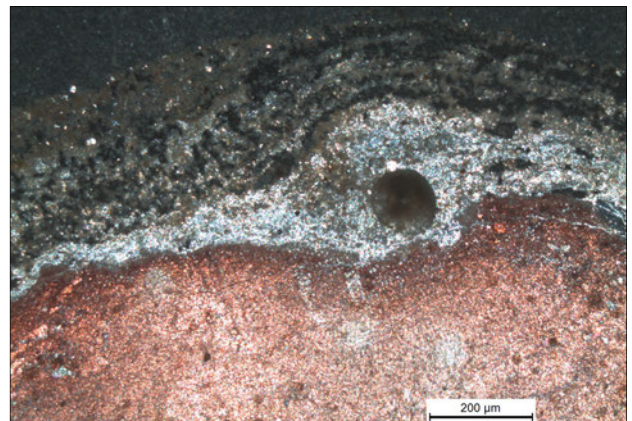
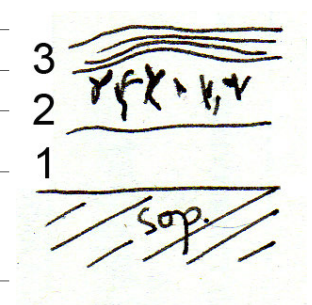


Figura 382. Microfotografía de la muestra BA001 en sección donde se aprecia, de abajo a arriba, el soporte calcáreo (teñido en rojo por la alizarina) y las tres capas que componen el recubrimiento (NC - 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrita empaquetada - floatstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra continua y heterogénea (multicapa) de unas 100 µm
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto limpio
<b>Nº DE CAPAS</b>	Se distinguen 3 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 - 2: contacto limpio pero con algunos huecos Capa 2 - 3: contacto transicional; interconectadas
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea; textura criptocristalina; algún óxido de hierro Capa 2: muy porosa; crecimiento de cristales en perpendicular a la capa 1; presencia de óxidos de hierro Capa 3: porosa; presencia elevada de óxidos de hierro
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: continua e irregular; ~ 10 a 150 µm Capa 2: continua e irregular; 50 - 150 µm Capa 3: discontinua; ~ 0 - 20 µm
<b>NOTAS</b>	La composición del soporte y de la costra es claramente distinta

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

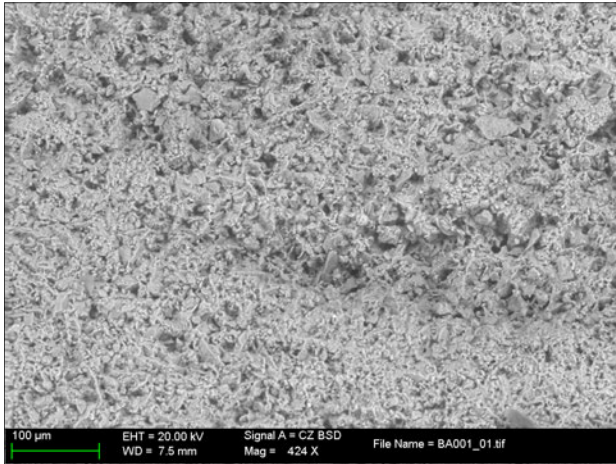


Figura 383. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x400)

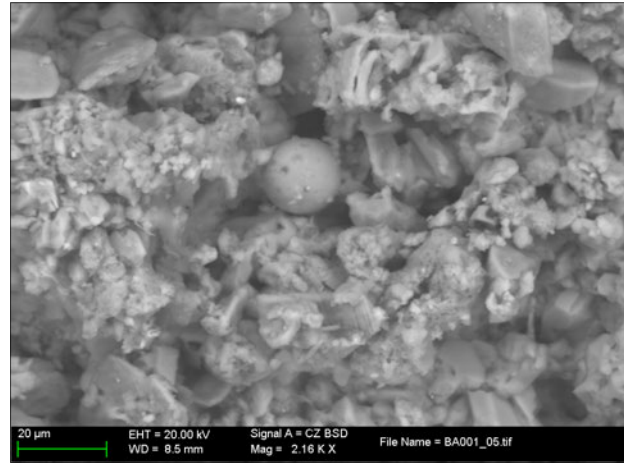


Figura 384. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x2000) donde se aprecian la presencia de una partícula esférica de unas 15 µm de diámetro.

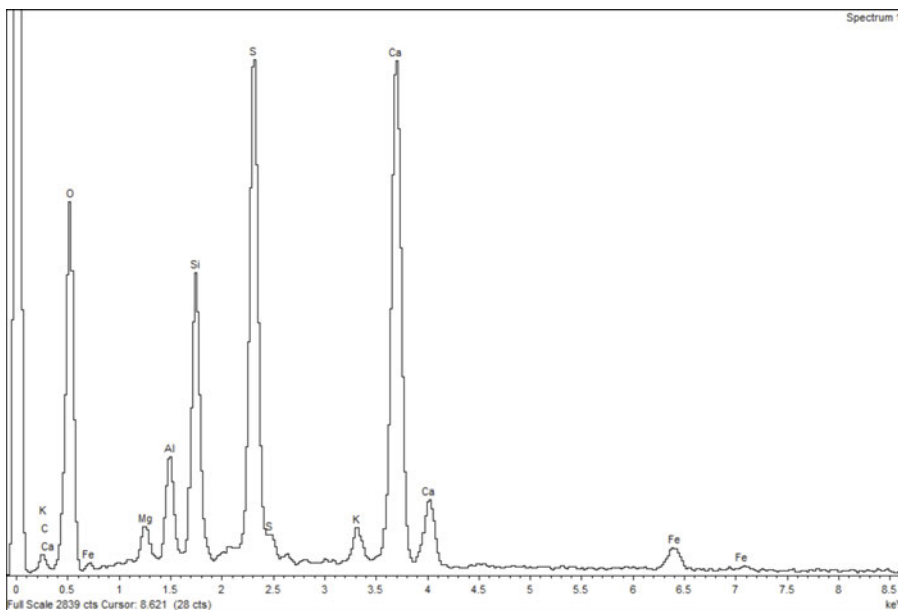


Figura 385. Espectro de análisis puntual de la muestra BA001. Elementos mayoritarios: Ca, S, Si, Al, Mg, K y Fe.

El espectro de análisis EDX puntual de la costra BA001, podría sugerir que está compuesta mayoritariamente por sulfato cálcico (calcio (Ca) + azufre (S)), sílice (silicio (Si) + oxígeno (O)) y aluminosilicatos (se detecta la presencia de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg) y potasio (K)).

La observación de la superficie de la costra ha permitido identificar la presencia de partículas de forma esférica. El análisis EDX puntual (no se muestra) de estas partículas (Fig 384) confirma que se trata de esferúlas aisladas de cenizas compuestas mayoritariamente por Si, S, Al y Ca. Además se ha detectado la presencia de pequeños cristales dispersos por la superficie de la costra compuestos principalmente por hierro (Fe), lo que podría sugerir la presencia de óxidos de hierro tipo hematitas y explicaría el color anaranjado de la misma.

*Ficha petrológica | soporte pétreo*

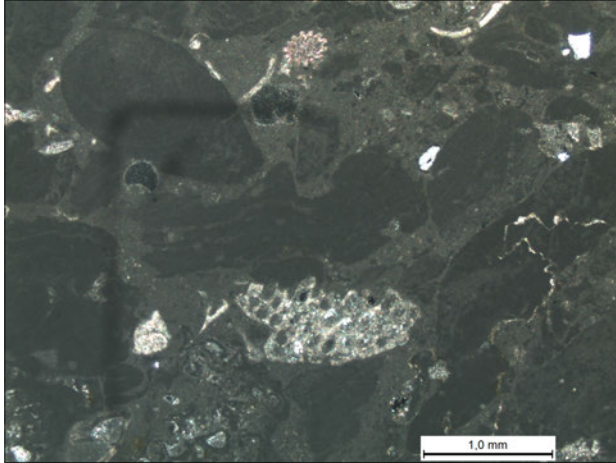


Figura 386. Microfotografía de la muestra BA001 donde se observa la textura general de la misma (NC, 2.5x)

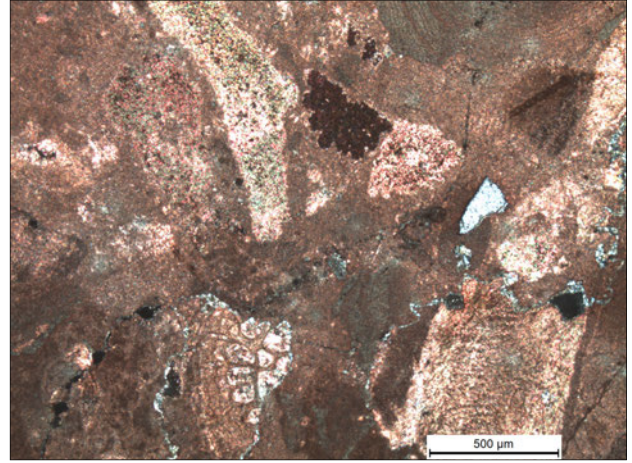


Figura 387. Microfotografía de la muestra BA001 teñida con alizarina donde se puede observar la notable presencia de fragmentos esqueléticos así como la presencia esporádica de algún grano de cuarzo (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Rudstone - grainstone	
	Folk	Biomicrota / biomicrota empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Foraminíferos bentónicos Algas rodofíceas Briozoos Púas de equinodermos	
	No-esqueléticos	Algún pelet	
	Detríticos	Algunos granos de cuarzo dispersos por la matriz (≈ 150 µm)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita Óxidos de hierro impregnando la matriz	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug, móldica y fenestral
		Fisura	Si, algunas recristalizadas
<b>OBSERVACIONES</b>	-		



## Anexo 4 - Ficha petrológica

Muestra	<b>BA003</b>
Abrigo	<b>Buen Aire I</b>
Localización	<b>Sector derecho</b>



Figura 388. Localización general de la zona de muestreo

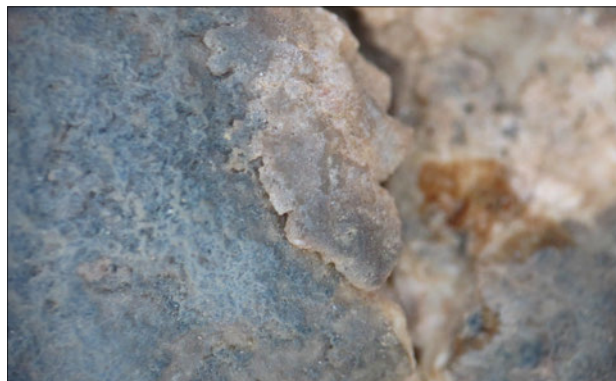


Figura 389. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra



Figura 390. Microfotografía de la muestra BA003 en sección teñida con alizarina donde se aprecia la textura general del soporte y el carácter heterogéneo de la costra (NC – 5x)

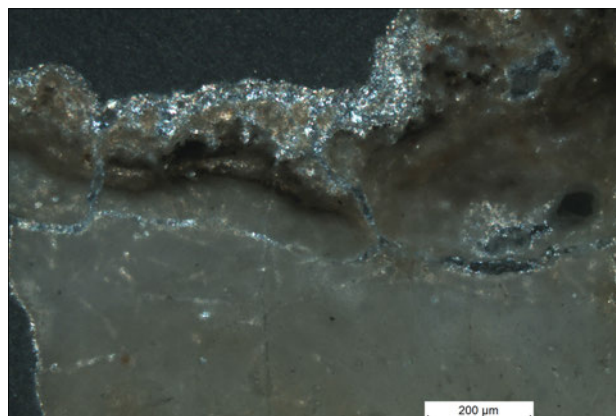
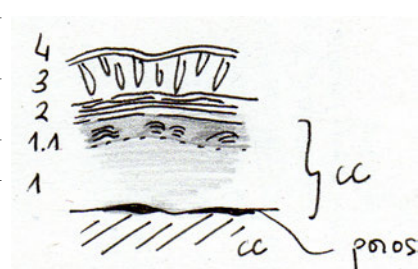


Figura 391. Microfotografía de la muestra BA003 en sección donde se identifica con claridad la microestratigrafía que presenta el recubrimiento (NC – 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrocristalina empaquetada - floatstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra bastante continua y heterogénea (multicapa) con un grosor medio de 300 µm aproximadamente
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Transicional; presenta muchos huecos; parece como si fuera a desprenderse en cualquier momento
<b>Nº DE CAPAS</b>	Se distinguen 3 capas, aunque podría haber hasta 5
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 1.1: transicional Capa 1.1 – 2: interconectadas Capa 2 – 3: contacto limpio Capa 3 – 4: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: irregular; porosa; presenta fracturas (perpendicular a las capas) y fisuras (paralelas a las capas) Capa 2: irregular; algún poro aislado; laminada Capa 3: bastante heterogénea; textura criptocristalina; presenta porosidad intergranular Capa 4: homogénea; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1, 1.1 – 2: es muy discontinua; ≈ 0 – 500 µm Capa 3: discontinua; ≈ 0 – 300 µm Capa 4: continua; ≈ 10 µm
<b>NOTAS</b>	Capas 1, 1.1 y 2 podrían considerarse como una sola capa poliestratificada

### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra*

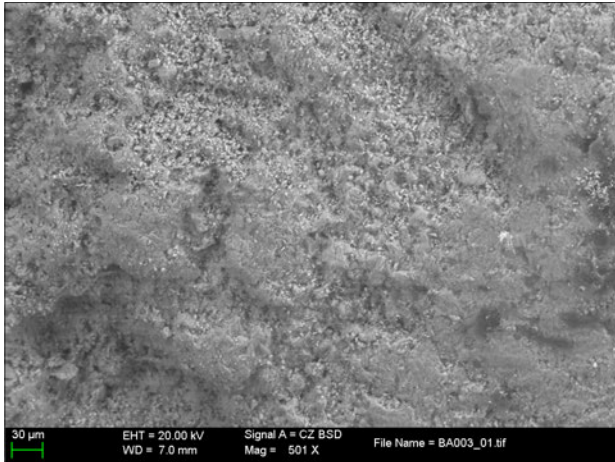


Figura 392. Imagen general de la superficie del recubrimiento (BSD, x500)

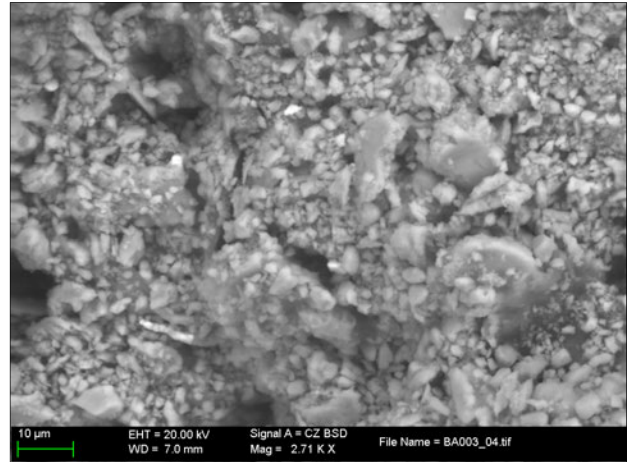


Figura 393. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x2700) donde se aprecian cristales de distinta índole (1 y 2) además de la presencia de partículas de polen (3).

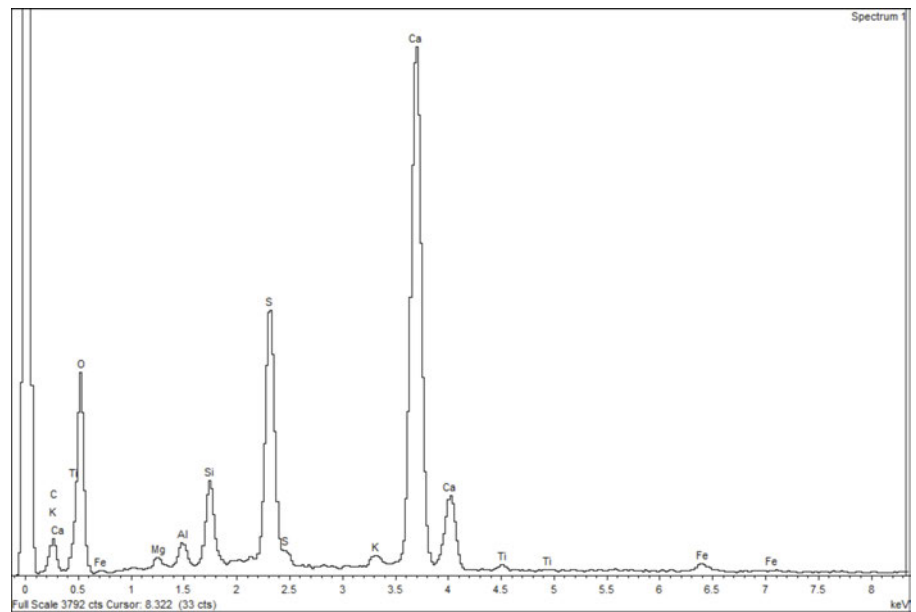


Figura 394. Espectro de análisis puntual de la muestra BA003. Elementos mayoritarios: Ca, S, Si, Al, Mg, K, Ti y Fe

El espectro de análisis puntual de la superficie de la muestra, sugiere que está formada de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), sulfato cálcico ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), lo que indicaría que de nuevo se está dando un proceso de sulfatación), sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y aluminosilicatos (silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), potasio (K) y titanio (Ti)).

La observación de la superficie en modo de electrones retrodispersados (BSD) permite identificar la presencia de pequeñas partículas dispersas formadas por elementos como el hierro (Fe) y el zinc (Zn).

## Ficha petrológica | soporte pétreo

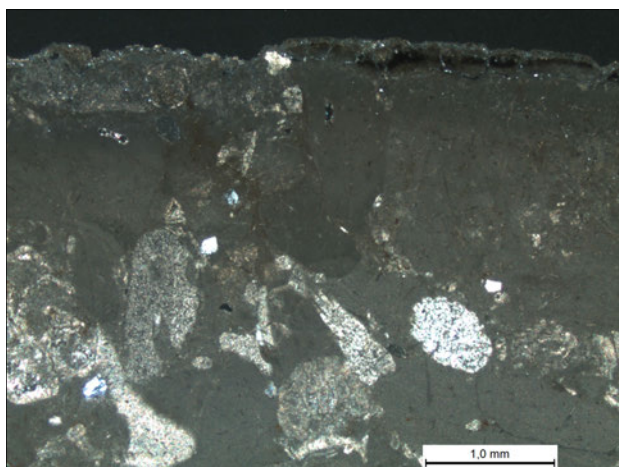


Figura 395. Microfotografía general de la muestra BA003 (NC, 2.5x)

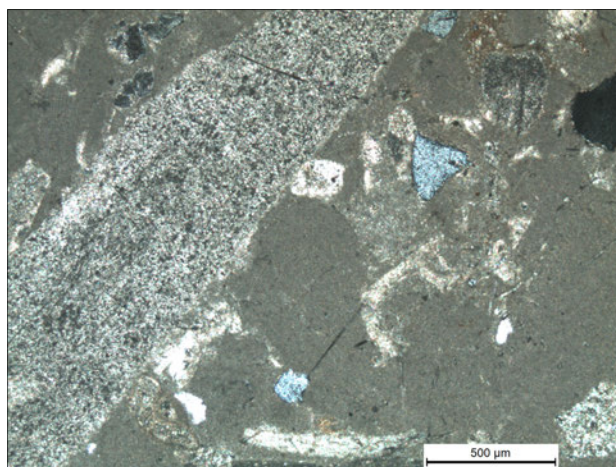


Figura 396. Microfotografía con más detalle de la muestra BA003 donde se identifican distintos bioclastos (p.e. fragmentos de algas, arriba a la izquierda o en la parte central) y granos de cuarzo dispersos en una matriz micrítica (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Floatstone	
	Folk	Biomicrita / biomicrita poco empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Foraminíferos bentónicos Algas rodofíceas Fragmentos de briozoos Púas de equinodermos	
	No-esqueléticos	Cristales de calcita (idiomorfos)	
	Detríticos	Granos de cuarzo dispersos por la matriz ( $\approx 250 \mu\text{m}$ ) Fragmentos de rocas carbonatadas (redondeados)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita Óxidos de hierro impregnando la matriz	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug y móldica
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Menos contenido faunístico que en BA001 Mayor contenido en granos detríticos y de mayor tamaño Porosidad muy baja	

## Anexo 5 - Ficha petrológica

Muestra	<b>BA004</b>
Abrigo	<b>Buen Aire I</b>
Localización	<b>Sector derecho, parte superior</b>



Figura 397. Localización general de la zona de muestreo

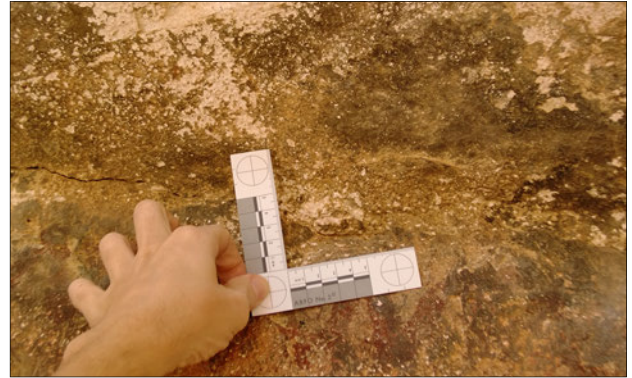


Figura 398. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

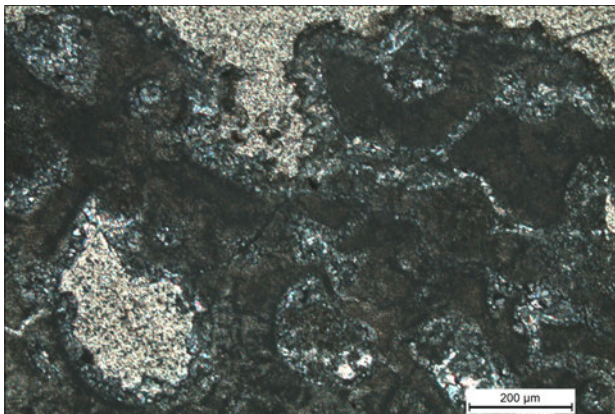
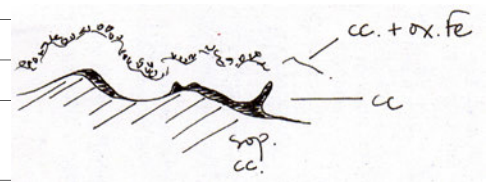


Figura 399. Microfotografía de la muestra BA004 en sección (NP - 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Bioesparita poco clasificada - rudstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	costra muy discontinua con un grosor medio de unas 40 μm
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Limpio
<b>Nº DE CAPAS</b>	Se distinguen 2 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 - 2: interconectadas
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea e irregular Capa 2: homogénea y regular; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: continua; ≈ 50 - 75 μm Capa 2: continua; ≈ 10 - 20 μm
<b>NOTAS</b>	

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

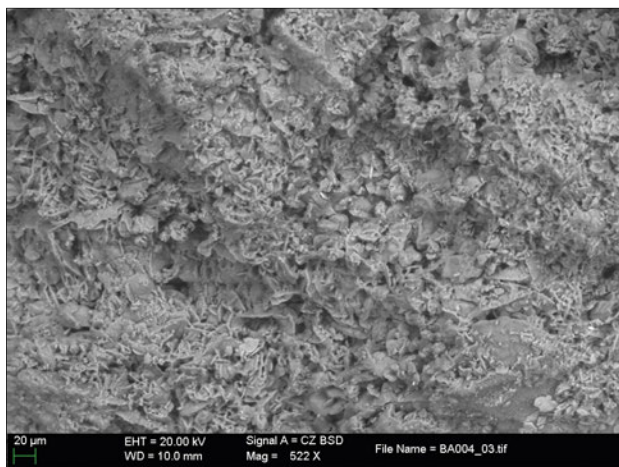


Figura 400. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x500)

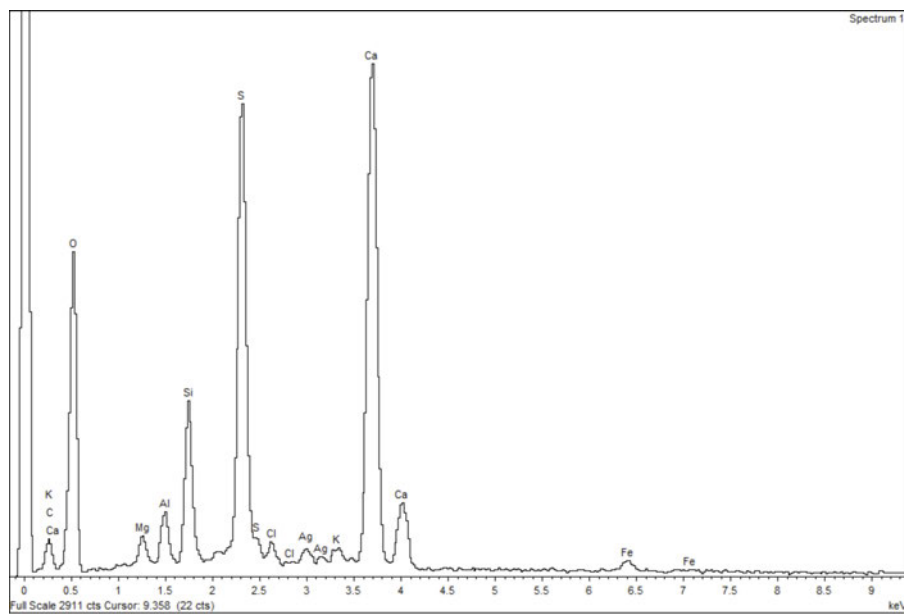


Figura 401. Espectro de análisis puntual de la muestra BA004. Elementos mayoritarios: Ca y S.

En la observación de la superficie de la costra (Fig. 400) se identifica la presencia masiva de cristales presentando un hábito en macla de “cola de golondrina” típica del yeso. El espectro de análisis EDX puntual de dichos cristales corrobora la presencia de sulfato cálcico, y algunas trazas de silicio (Si), aluminio (Al) y magnesio (Mg). Cabe destacar que en el análisis EDX del soporte también se ha detectado la presencia de yeso, lo que indicaría que el proceso de sulfatación está empezando a afectar en profundidad.

*Ficha petrológica | soporte pétreo*

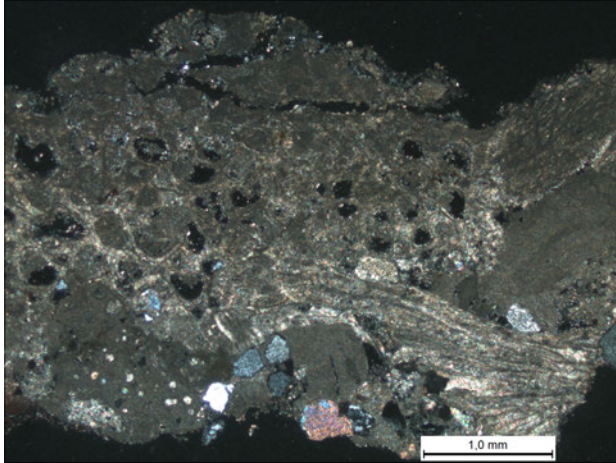


Figura 402. Microfotografía de la muestra BA004 (NC, 10x)

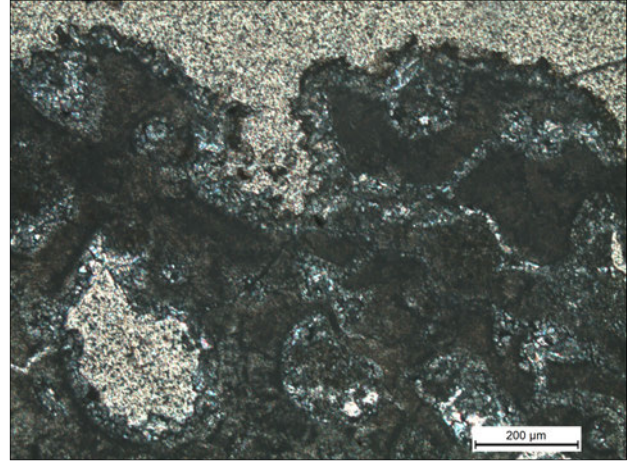


Figura 403. Microfotografía de la muestra BA004 (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Rudstone - grainstone	
	Folk	Biosparita / biosparita poco clasificada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Foraminíferos Briozoos Algas rodofíceas	
	No-esqueléticos	Cristales de calcita (idiomorfos)	
	Detriticos	Granos de cuarzo dispersos por la matriz (≈ 500 µm; algunos angulosos, otros idiomorfos) Fragmentos de rocas carbonatadas (redondeados)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	-	
<b>CEMENTO</b>		Esparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug y móldica
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Es un intermedio entre BA001/003 y BA005 Presencia de óxidos de hierro	

## Anexo 6 - Ficha petrológica

Muestra	<b>BA005</b>
Abrigo	<b>Buen Aire I</b>
Localización	<b>Techo - Panel 2 (sector derecho)</b>



Figura 404. Localización general de la zona de muestreo

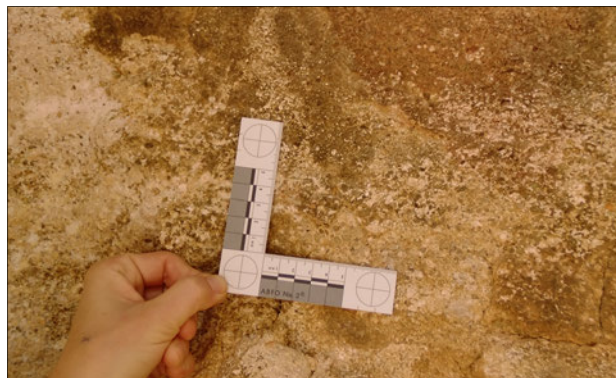


Figura 405. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

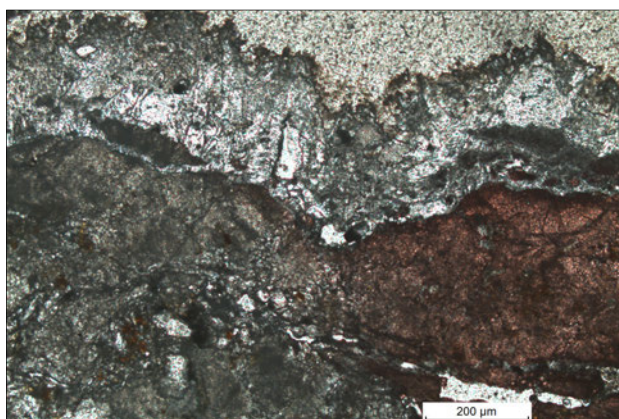


Figura 406. Microfotografía de la muestra BA005 en sección parcialmente teñida con alizarina, donde se aprecia con claridad la heterogeneidad de la costra (tanto a nivel textural como composicional) (NP - 10x)

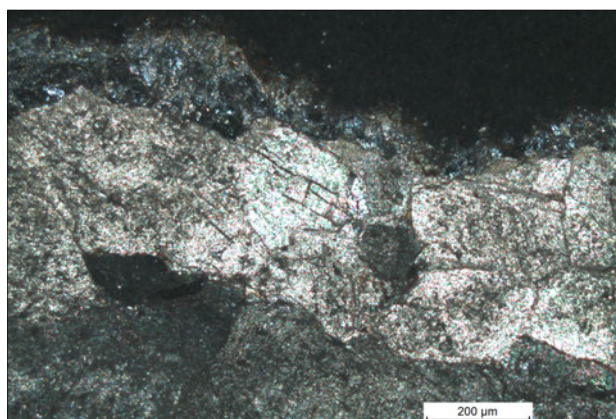
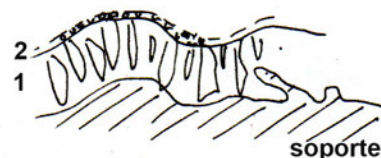


Figura 407. Microfotografía de la muestra BA005 en sección donde se distinguen las distintas capas de las que está compuesta la costra (NC - 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Bioesparita poco limpia - rudstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Discontinua; con un grosor de aproximadamente 100 µm
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto limpio en general, aunque se interconectan de vez en cuando. Presencia de huecos.
<b>Nº DE CAPAS</b>	Se distinguen hasta 2 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 - 2: interconectadas
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: Homogénea e irregular; el crecimiento cristalino es perpendicular a la capa Capa 2: homogénea e irregular; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: discontinua; ≈ 30 - 250 µm Capa 2: continua; ≈ 10 µm

#### NOTAS

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



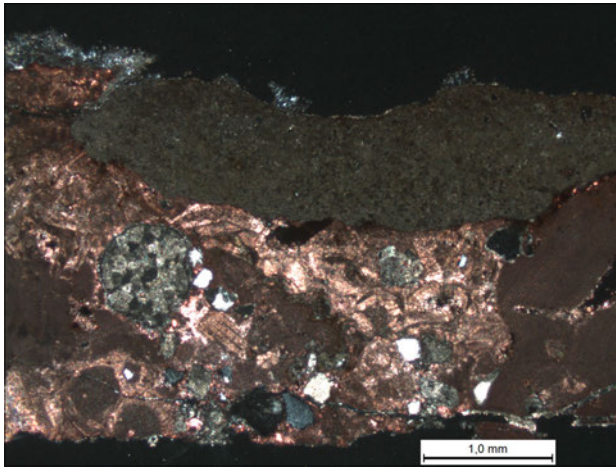
*Ficha petrológica | soporte pétreo*

Figura 408. Microfotografía de la muestra BA005 (NC, 5x)

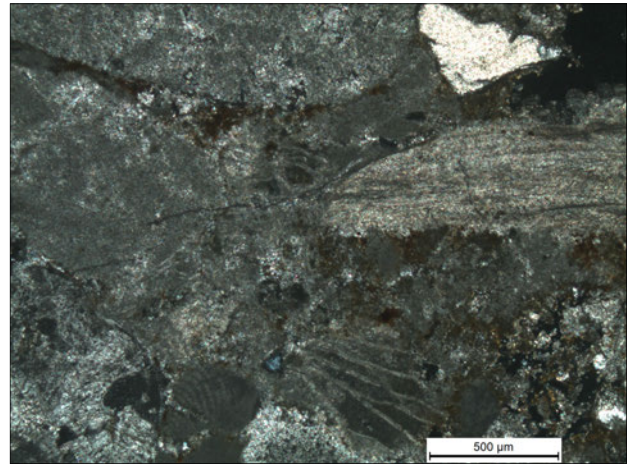


Figura 409. Microfotografía de la muestra BA005 (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Rudstone - grainstone	
	Folk	Bioesparita / bioesparita poco limpia	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Bioclastos muy fragmentados; se distinguen con claridad trozos de algas rodofíceas y brizosos	
	No-esqueléticos	Cristales de calcita (idiomorfos)	
	Detriticos	Granos de cuarzo dispersos por la matriz (subangulares) Fragmentos de rocas calizas fosilíferas (redondeados) Fragmentos de dolomías	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug
		Fisura	Sí; algunas recristalizadas
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Mayor cantidad de granos terrígenos que en BA001/003 Presencia notable de óxidos de hierro Esparita recristalizada Porosidad muy baja	



## Anexo 7 - Ficha petrológica

Muestra	CM001
Abrigo	Cueva del Mediodía
Localización	Parte central del abrigo, a la altura del suelo/base



Figura 410. Localización general de la zona de muestreo

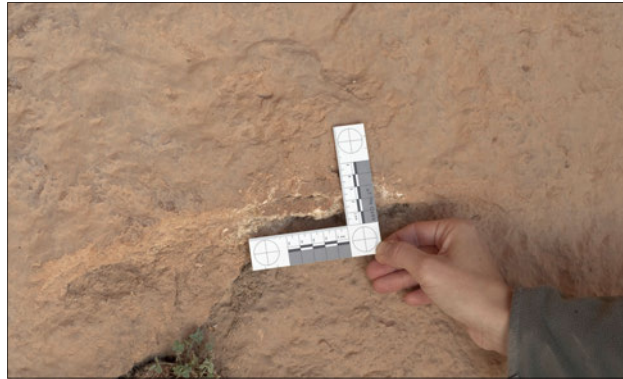


Figura 411. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | recubrimiento

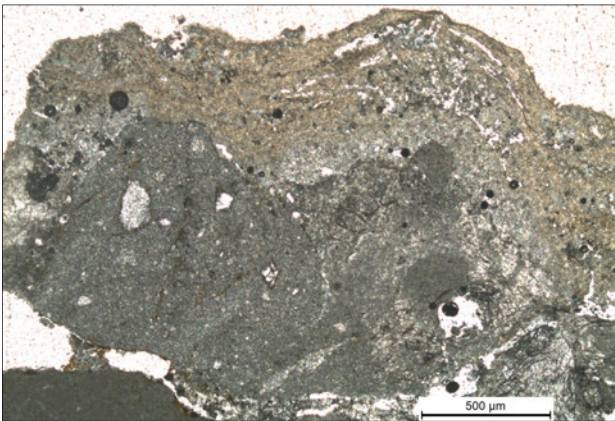


Figura 412. Microfotografía de la sección del recubrimiento de CM001 donde se distingue la sucesión de capas así como su morfología (NP, 5x)

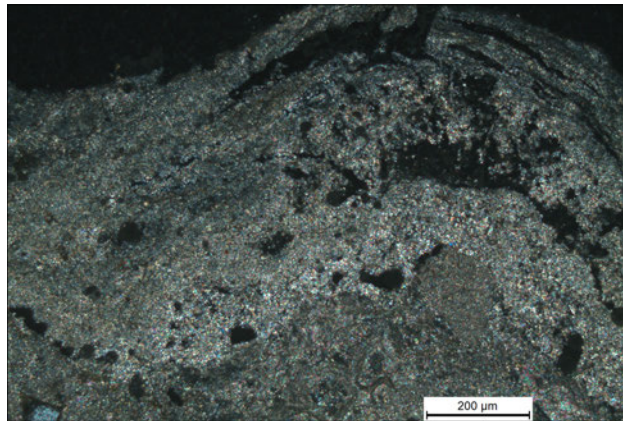
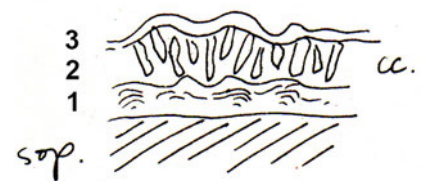


Figura 413. Microfotografía en detalle de la muestra CM001 donde se observa la estructura interna de las distintas capas de la costra (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Microconglomerado – biomicrita empaquetada - rudstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Recubrimiento discontinua
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Limpio
<b>Nº DE CAPAS</b>	3
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio aunque con huecos Capa 2 – 3: contacto limpio aunque con huecos
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: heterogénea (multi-capas: tapiz algal); laminada Capa 2: homogénea: muy porosa; cristales de calcita con crecimiento perpendicular a la capa 1; compacta Capa 3: homogénea; cristales de distinta composición que la capa 2 y de menor tamaño; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: discontinua; ≈ 0 – 150 μm Capa 2: discontinua; ≈ 0 – 275 μm Capa 3: discontinua; ≈ 40 – 150 μm
<b>NOTAS</b>	

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra*

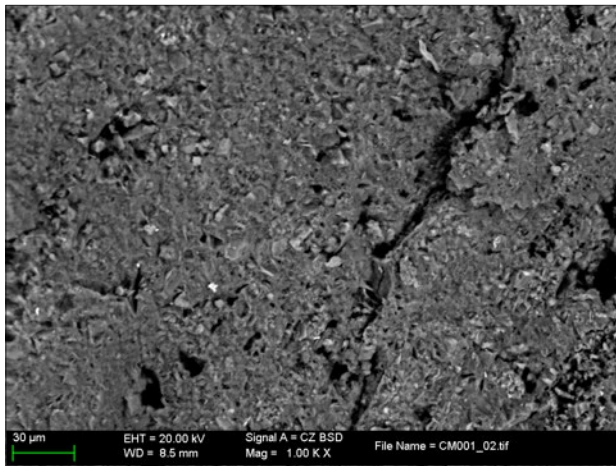


Figura 414. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x1000)

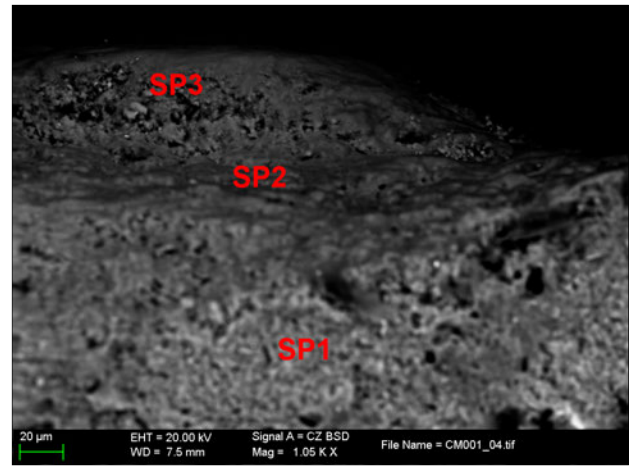


Figura 415. Imagen de detalle de la sección (BSD, x1000) donde se aprecia el contacto entre el soporte y la costra. SP1, SP2 y SP3 son distintos puntos de análisis de EDX

Figura 416. Espectro EDX del soporte de la muestra. Composición elemental mayoritaria: Ca, Si, Mg, Al, P y pequeñas cantidades de Na, S, Cl, K y Fe.

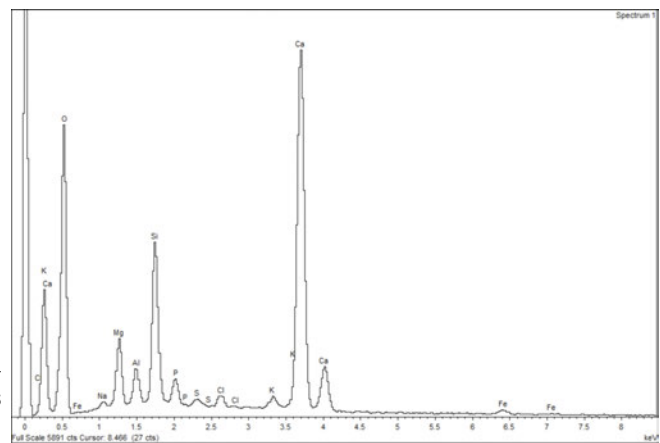
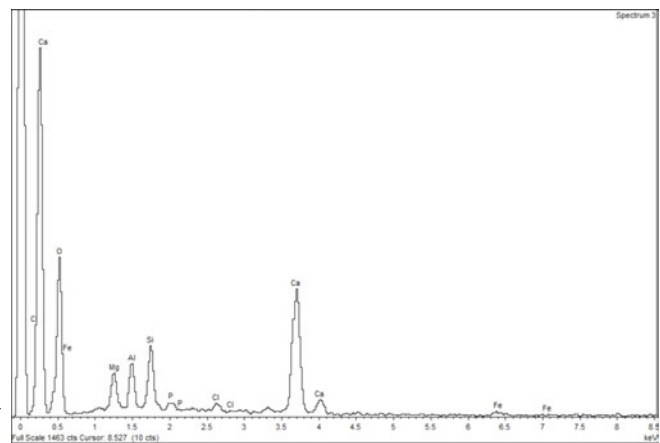


Figura 417. Espectro EDX de la capa intermedia. Composición elemental mayoritaria: Si, Al, Mg, y P.



La observación y análisis SEM - EDX de la superficie de la costra nos permite identificar la presencia de pequeñas partículas dispersas de hierro (Fe), manganeso (Mn) y titanio (Ti).

Los análisis EDX puntuales de la sección (Fig. 415) permiten caracterizar la composición elemental del soporte (Fig. 416) y de la costra (Fig. 417). Además, las observaciones de dicha sección llevadas a cabo a mayor aumento, han permitido identificar la presencia de actividad biológica de distinta índole.

## Ficha petrológica | soporte pétreo

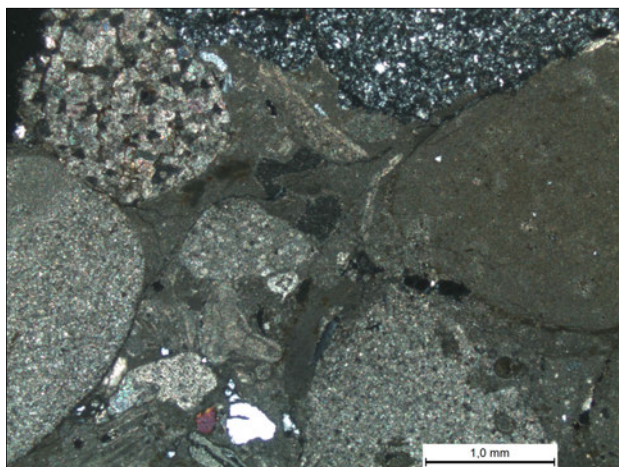


Figura 418. Microfotografía de la muestra CM001 donde se observa la textura general (NC, 2.5x)

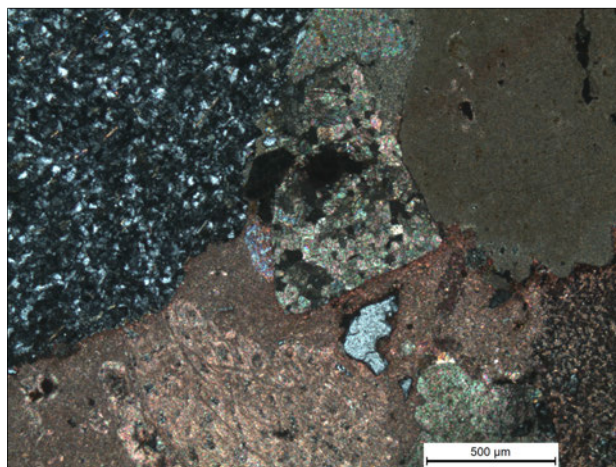


Figura 419. Microfotografía de la muestra CM001 teñida con alizarina donde apreciamos los distintos fragmentos de rocas que componen esta muestra (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Rudstone	
	Folk	Biomicrita empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Foraminíferos Algas rodofíceas Púas de equinodermos Briozoos	
	No-esqueléticos	-	
	Detríticos	Pequeños granos de cuarzo dispersos por la matriz (angulosos en su mayoría, aunque algún cristal es idiomorfo – Jacintos de Compostela) Clastos redondeados de carbonatos y otros fragmentos de rocas (granitoides) Glauconi	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita Óxidos de hierro impregnando en la matriz	
<b>CEMENTO</b>		-	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug, móldica y fenestral
		Fisura	Si
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Microbrecha Porosidad muy baja Zonas con esparita recristalizada	

## Anexo 8 - Ficha petrológica

Muestra	<b>CM002</b>
Abrigo	<b>Cueva del Mediodía</b>
Localización	<b>Franja central</b>



Figura 420. Localización general de la zona de muestreo



Figura 421. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | recubrimiento

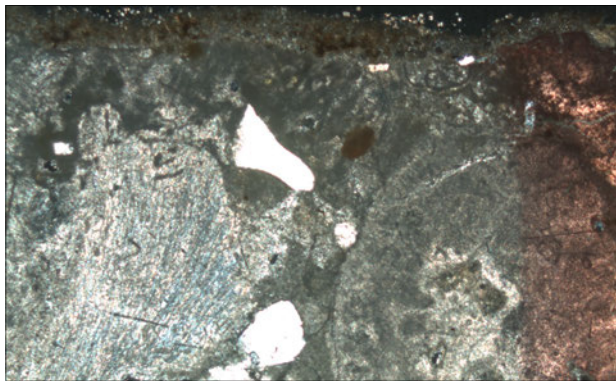


Figura 422. Microfotografía de la muestra CM002 (NC, 5x)

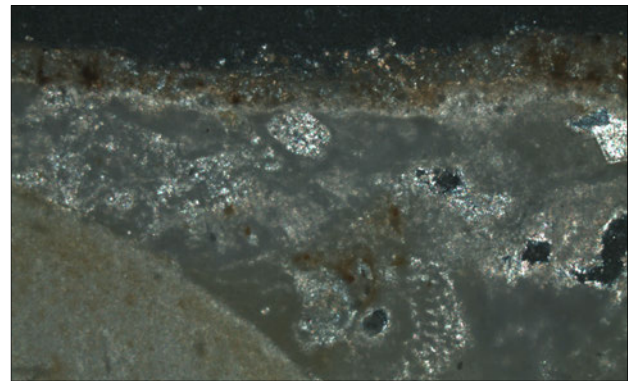


Figura 423. Microfotografía de la muestra CM002 donde se aprecia la secuencia de capas (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Microconglomerado – biomicrita empaquetada – rudstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra muy continua con un grosor medio de unas 180 $\mu\text{m}$
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Limpio
<b>Nº DE CAPAS</b>	2
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: capa bastante compacta y homogénea compuesta por pequeños cristales; impregnada de óxidos de hierro. Capa 2: capa compuesta por pequeños cristales idiomorfos; textura crisp-tocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: continua; 150 $\mu\text{m}$ Capa 2: discontinua; 0 - 50 $\mu\text{m}$
<b>NOTAS</b>	

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

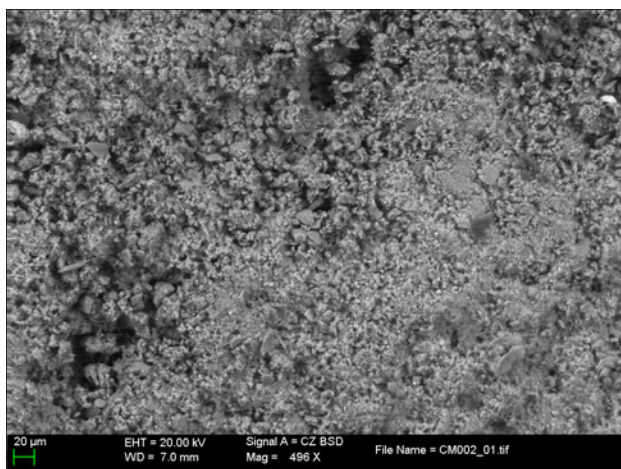


Figura 424. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x500)

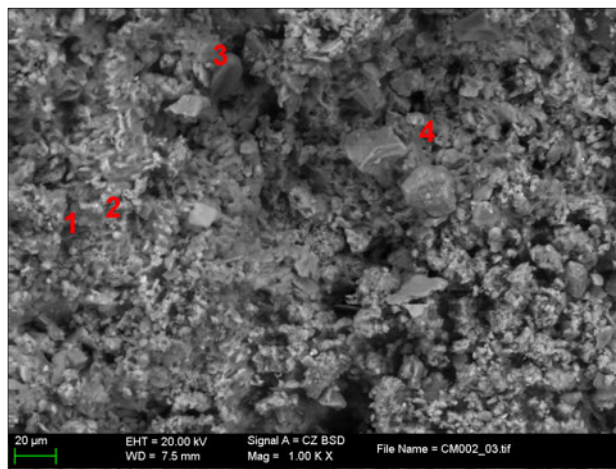


Figura 425. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x1000) donde se aprecia la presencia de distintos tipos de actividad biológica (1 y 2: bacterias; 3 y 4: restos orgánicos sin identificar)

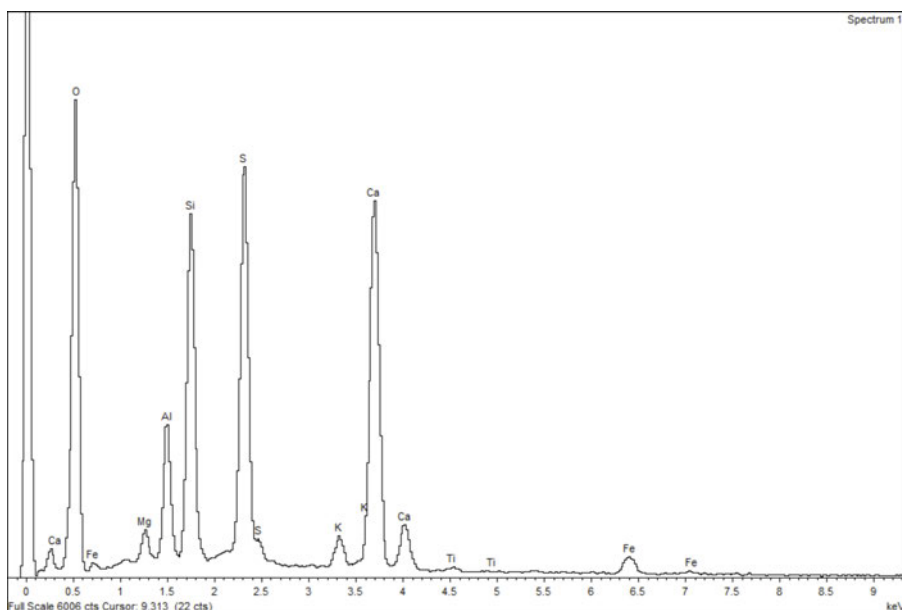


Figura 426. Espectro de dispersión de energías de la muestra CM002. Composición elemental mayoritaria: Ca, S, Si, Al, Mg, K, Fe y Ti

El espectro EDX general de la superficie de la muestra CM002, sugiere que está compuesta nuevamente por calcio (Ca) y azufre (S). Del mismo modo que en ocasiones anteriores, se detecta la presencia de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg) y potasio (K) y pequeñas cantidades de hierro (Fe) y titanio (Ti).

Los análisis EDX puntuales de algunas partículas identificadas en la superficie de la costra, detectan la presencia acusada de Fe y Ti. Además, las observaciones llevadas a cabo a mayor aumento han permitido identificar la presencia de actividad biológica de distinta índole (Fig. 425).

*Ficha petrológica | soporte pétreo*

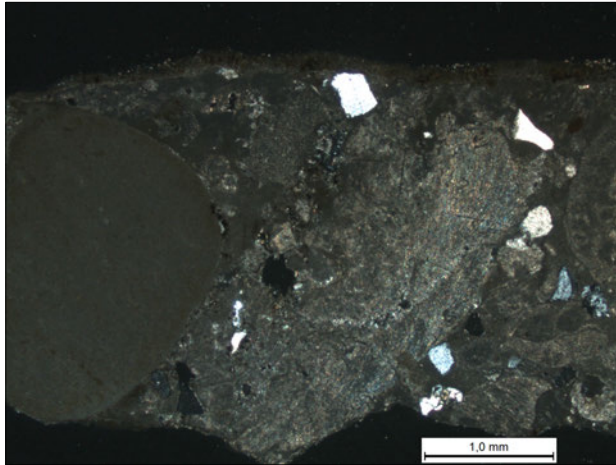


Figura 427. Microfotografía de la muestra CM002 donde se aprecia la textura general del soporte (NC, 2.5x)

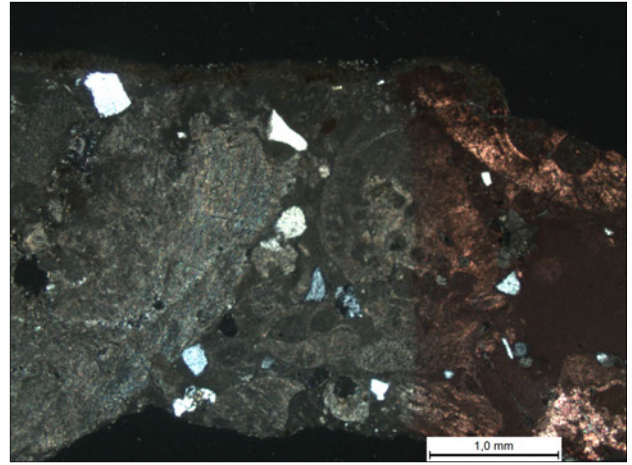


Figura 428. Microfotografía de la muestra CM002 parcialmente teñida con alizarina (NC, 2.5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Rudstone	
	Folk	Biomicrita empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Briozoos Algas rodoíceas Foraminíferos etc	
	No-esqueléticos	-	
	Detríticos	Pequeños granos de cuarzo dispersos por la matriz (angulosos en su mayoría, aunque algún cristal es isomorfo – Jacintos de Compostela) Clastos compuestos por fragmentos de carbonatos y otras rocas (granitoides); redondeados	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita Óxidos de hierro impregnados en la matriz	
<b>CEMENTO</b>		-	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug y fenestral
		Fisura	-
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Microconglomerado Porosidad muy baja	

## anexo 9 - Ficha petrológica

Muestra	CM003
Abrigo	Cueva del Mediodía
Localización	Entrada del abrigo, a mano izquierda; altura media



Figura 429. Localización general de la zona de muestreo



Figura 430. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | Costra

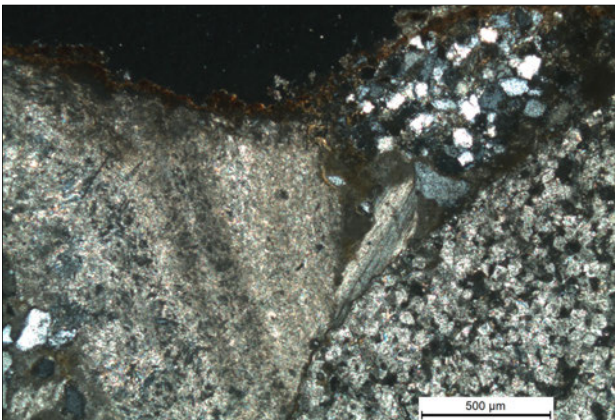


Figura 431. Microfotografía de la muestra CM003 donde se aprecia la distribución general de la costra (NC, 5x)

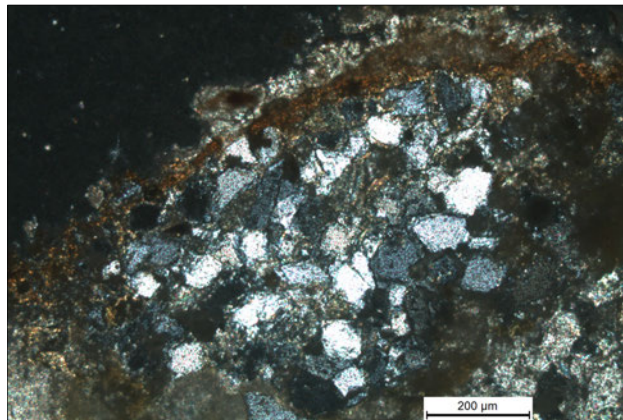
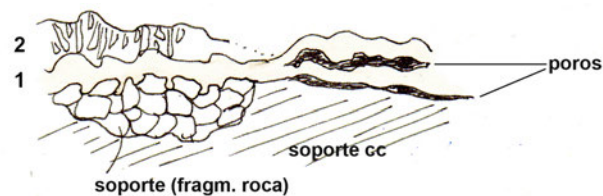


Figura 432. Detalle de la figura anterior donde se observa la disposición y morfología interna de la costra (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Microconglomerado – biomicrita empaquetada - rudstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Recubrimiento discontinuo con un grosor medio de 100 µm
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto penetrante; hay zonas donde no hay contacto debido a la presencia de fisuras / huecos
<b>Nº DE CAPAS</b>	2
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: se presenta bastante compacta, aunque hay zonas donde aparecen desdoblamientos; su color sugiere que su composición es de óxidos de hierro Capa 2: irregular; no se tiñe con alizarina; crecimiento de pequeños cristales perpendicular a la capa 1; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: bastante continua; ≈ 15 – 200 µm Capa 2: discontinua (aparece intermitentemente); ≈ 50 – 100 µm

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



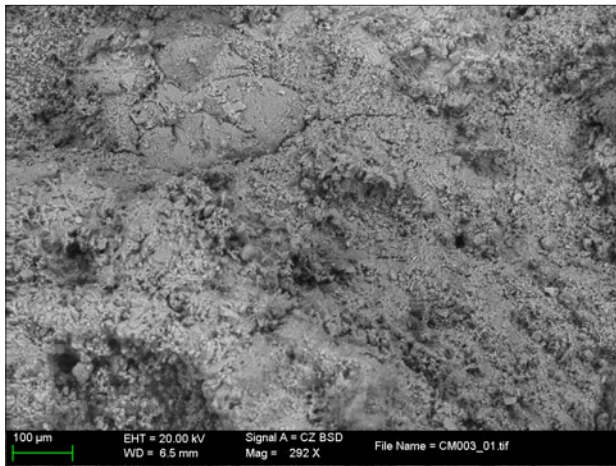
*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra*

Figura 433. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x500) donde se aprecian las distintas formas cristalinas presentes en la misma, así como algunas grietas que indicarían el avanzado estado de deterioro que sufre la muestra

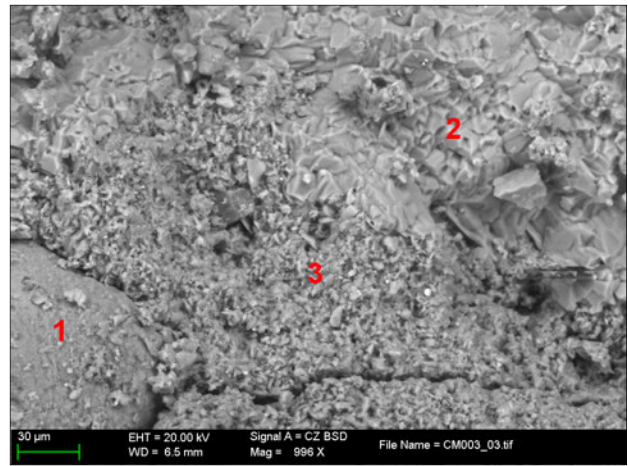


Figura 434. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x1000) donde se aprecia la presencia de distintos tipos de cristales

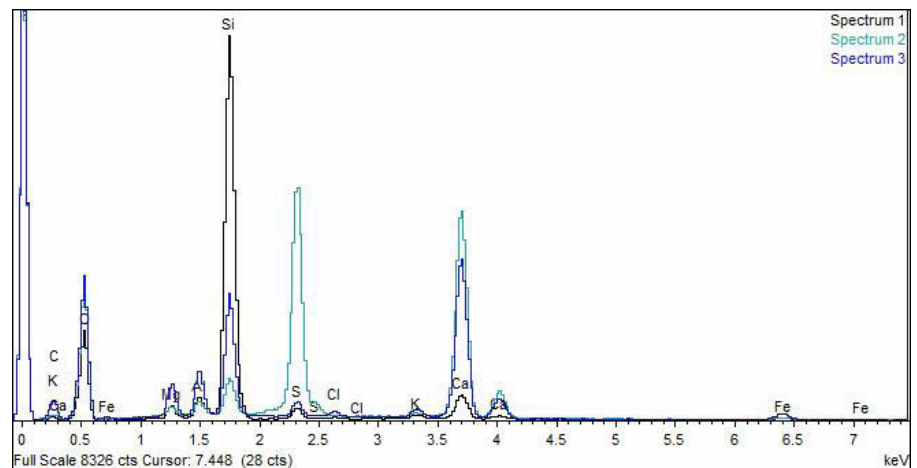


Figura 435. Espectros EDX de la adquiridos en los puntos 1, 2 y 3 de la imagen SEM de arriba a la derecha

La observación y análisis de la superficie de la muestra mediante el SEM (arriba) permite identificar hasta 3 tipos de formas / cristalizaciones con composiciones diferenciadas: 1) formaciones de aspecto geliforme con presencia de silicio (Si) y oxígeno (O) como elementos mayoritarios -cuarzo-; 2) aglomeraciones de cristales de tamaño considerable compuestos esencialmente por calcio (Ca) y azufre (S) –sulfato cálcico: yeso–; y 3) recubrimiento formado por cristales de tamaño muy pequeño, compuestos en su mayoría por calcio (Ca), carbono (C) y oxígeno (O) - lo que podría sugerir la presencia de oxalatos. En los tres casos se detecta la presencia de hierro (Fe) lo que explicaría, entre otras cosas, el color anaranjado de la costra.



## Ficha petrológica | soporte pétreo

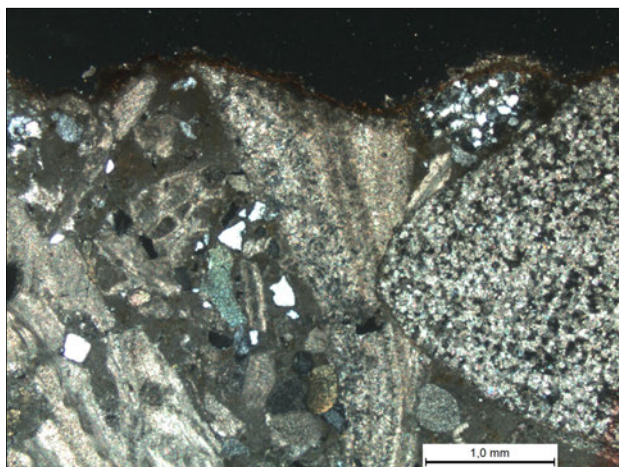


Figura 436. Microfotografía general de la muestra CM003 (NC, 2.5x) donde se observa la textura general de la muestra

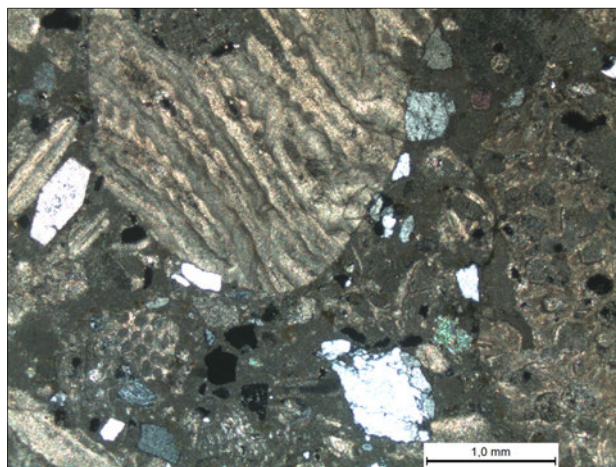


Figura 437. Microfotografía de detalle de la muestra CM003 (NC, 2.5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Rudstone	
	Folk	Biomicrita empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Algas rodofíceas Briozoos ...	
	No-esqueléticos	-	
	Detriticos	Pequeños granos de cuarzo dispersos por la matriz (angulosos en su mayoría, aunque algún cristal es idiomorfo – Jacintos de Compostela) Clastos redondeados de carbonatos y otros fragmentos de rocas (granitoides) Glauconi	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita Óxidos de hierro impregnando en la matriz	
<b>CEMENTO</b>		Algo de microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug, móldica y fenestral
		Fisura	Si
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Microconglomerado/microbrecha Porosidad muy baja	

## anexo 10 - Ficha petrológica

Muestra	<b>CC001</b>
Abrigo	<b>Cañaica del Calar II</b>
Localización	<b>Parte central, muy cercana a la base del abrigo</b>



Figura 438. Localización general de la zona de muestreo



Figura 439. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

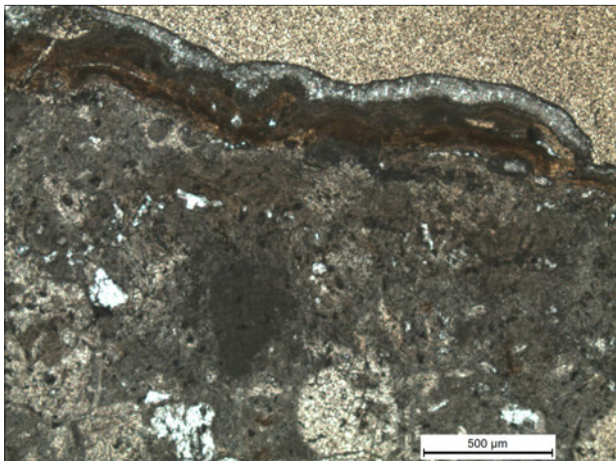


Figura 440. Microfotografía en nícoles paralelos de la muestra CC001 (NP, 5x) donde se aprecia la microestratigrafía de la costra

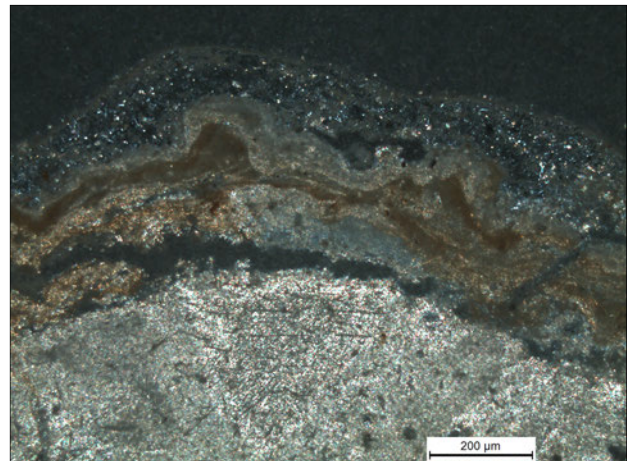
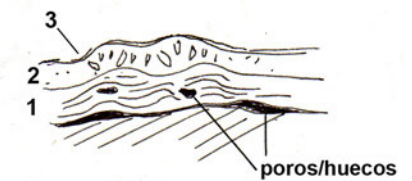


Figura 441. Microfotografía de la muestra CC001 (NC, 10x) donde se aprecia con más detalle la secuencia de capas que componen el recubrimiento, así como la presencia notable de huecos entre las capas 1 y 2

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota empaquetada - wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Discontinua de unas 250 µm
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto limpio aunque con huecos abundantes.
<b>Nº DE CAPAS</b>	3
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio pero con algunos huecos Capa 2 – 3: transicional
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: composición calcita; poros de pequeñas dimensiones abundantes; laminada Capa 2: cristales de tamaño muy reducido; textura criptocristalina; compacta Capa 3: textura criptocristalina; compacta
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: discontinua; ≈ 0 – 275 µm Capa 2: discontinua; ≈ 0 – 100 µm Capa 3: continua; ≈ 10 µm
<b>NOTAS</b>	

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

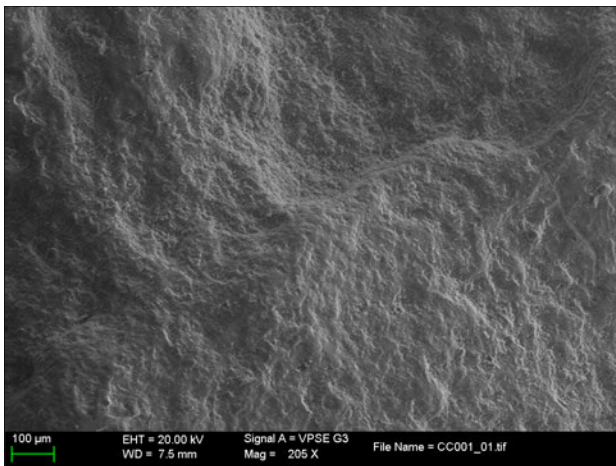


Figura 442. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x200)

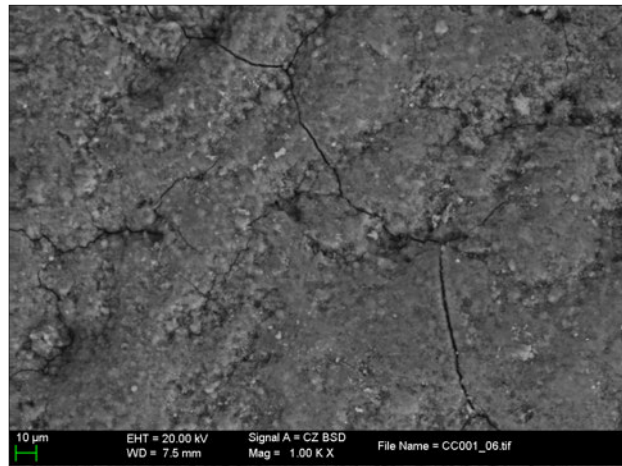


Figura 443. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x1000) en la que se aprecia el proceso de craquelado siguiendo un patrón en mosaico

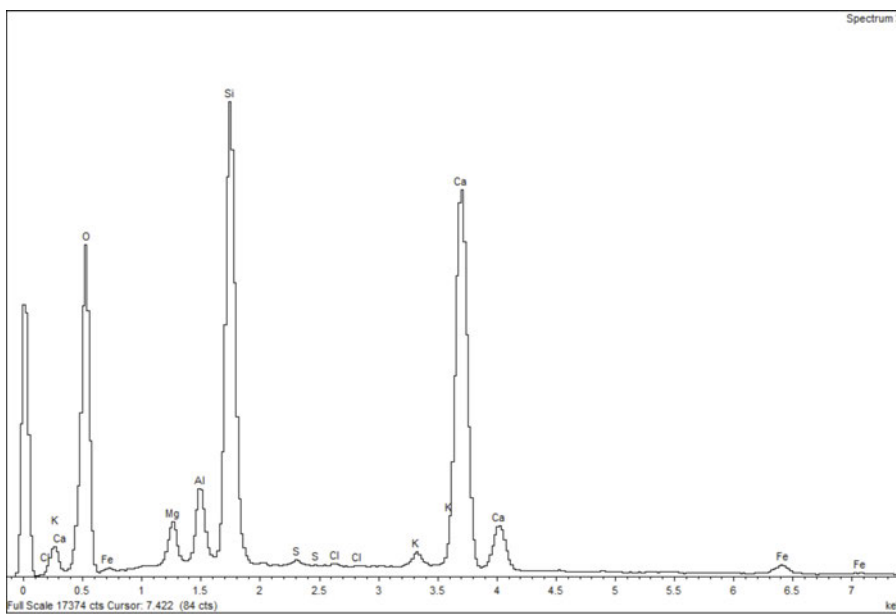


Figura 444. Espectro de análisis puntual de la muestra CC001. Elementos mayoritarios: Si, Ca, Al, Mg, K y Fe

La observación de la superficie de la costra mediante SEM (arriba) permite describirlo como una superficie continua, lisa y homogénea que está sufriendo un proceso de craquelado. El análisis EDX global de dicha superficie detecta la presencia de silicio (Si) y calcio (Ca) como elementos principales e identifica la presencia de otros elementos en menor proporción (aluminio (Al), magnesio (Mg), potasio (K) y hierro (Fe)).

En la observación de la muestra en sección (pág. anterior) se aprecia muy claramente el carácter laminado de la costra y el contacto soporte-costra, que es muy limpio.

*Ficha petrológica | soporte pétreo*

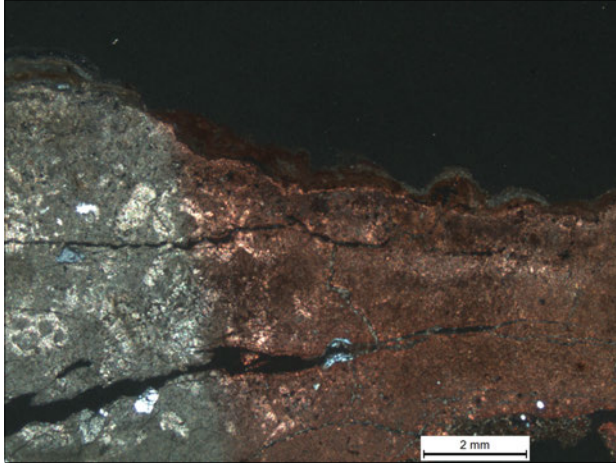


Figura 445. Microfotografía de la muestra CC001 (NC, 2.5x) parcialmente teñida con alizarina

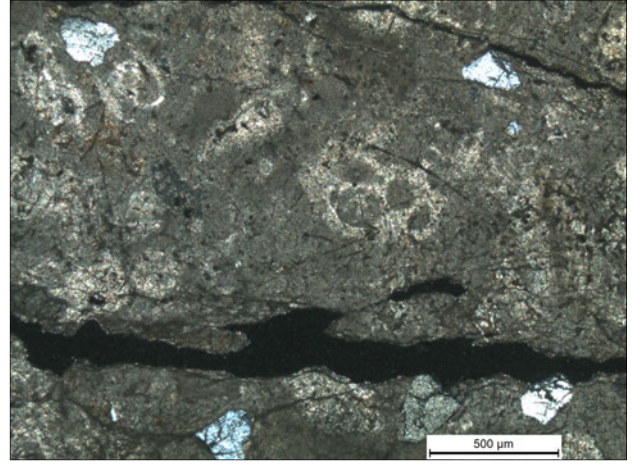


Figura 446. Microfotografía de la muestra CC001 (NC, 5x) donde se aprecia con detalle la textura del soporte y del recubrimiento

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Wackstone	
	Folk	Biomicrocristalina empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Presencia de bioclastos de difícil identificación debido al grado de fragmentación de los mismos	
	No-esqueléticos	-	
	Detriticos	Algún cristal de cuarzo disperso por la matriz (angulosos en su mayoría, ~ 250 µm)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Microcristalina	
<b>CEMENTO</b>		Españita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	Poros redondeados; de dimensiones muy reducidas	
	Post-deposicional	Disolución	Fenestral
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Porosidad muy baja	

## Anexo 11 - Ficha petrológica

Muestra	CC003
Abrigo	Cañaica del Calar II
Localización	Parte central, muy cercana a la base del abrigo (zona similar a la parte central)



Figura 447. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | pátina

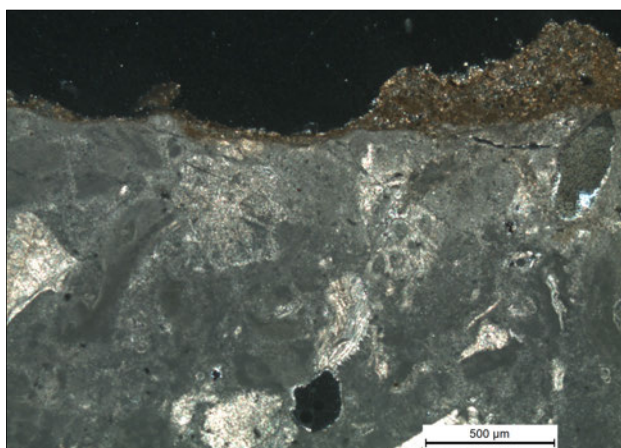


Figura 448. Microfotografía de la muestra CC003 (NC, 5x)

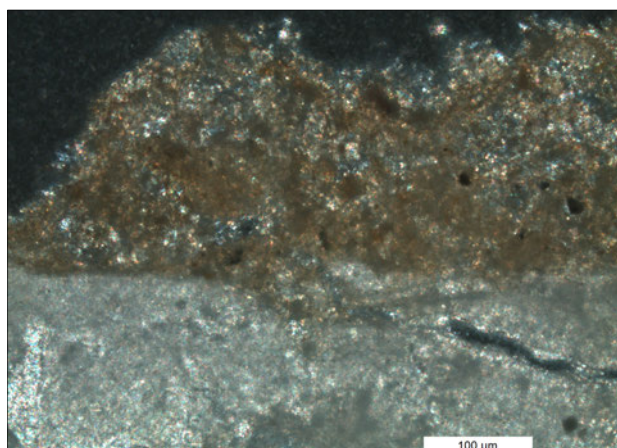


Figura 449. Microfotografía de detalle de la muestra CC003 (NC, 20x) donde se observa el carácter heterogéneo de la pátina

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota empaquetada - floatstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Pátina continua con un grosor medio de 50 $\mu\text{m}$
<b>CONTACTO SUSTRATO - PÁTINA</b>	Contacto limpio
<b>Nº DE CAPAS</b>	1
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: continua pero muy irregular; $\approx 40 - 350 \mu\text{m}$
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: bastante continua; $\approx 15 - 200 \mu\text{m}$ Capa 2: discontinua (aparece intermitentemente); $\approx 50 - 100 \mu\text{m}$
<b>NOTAS</b>	Composición - contiene pequeños cristales (sin identificar) y óxidos de hierro

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la pátina*

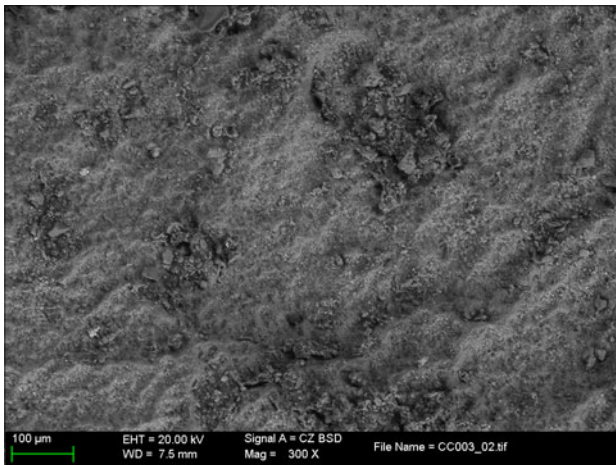


Figura 450. Imagen general de la superficie de la pátina (BSD, x300)

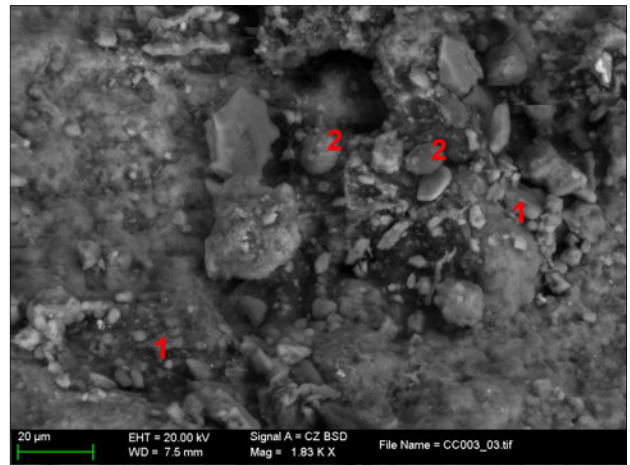


Figura 451. Imagen de detalle de la superficie de la pátina (BSD, x1800) en la que se distinguen distintos "cuerpos" de origen biológico (1: bacterias; 2: polen)

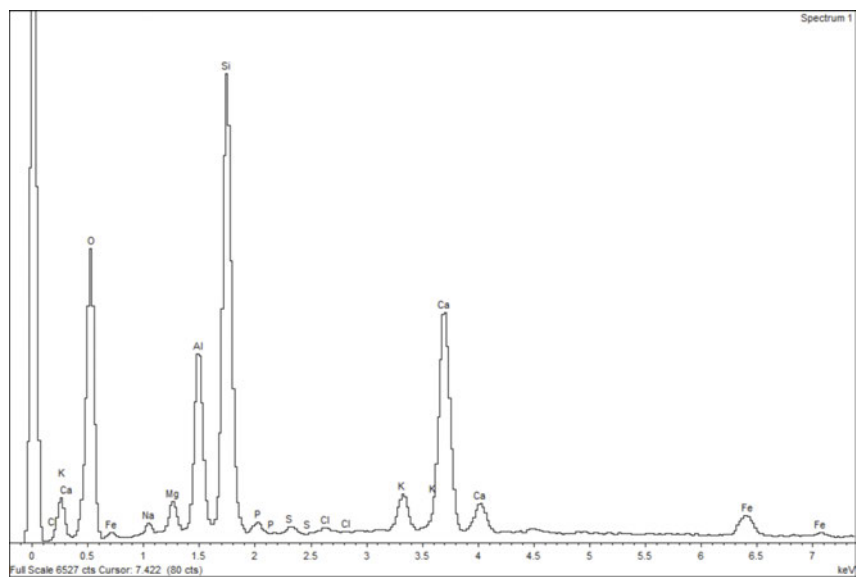


Figura 452. Espectro EDX global de la muestra CC003. Elementos mayoritarios: Si, Ca, Al, Mg, K, P y Fe.

El SEM nos permite describir con detalle la morfología de superficie de la pátina. En este sentido, se ha podido constatar que la superficie de la misma no es continua, identificando una serie de pequeñas oquedades donde se acumula material de origen diverso. Se constata además la presencia de bacterias dentro de dichos agujeros. Estas pequeñas concavidades en la piedra constituyen zonas más alterables que el resto del material y acaban formando las picaduras que, en efecto, se han determinado de visu.

El análisis EDX global de la superficie detecta la presencia de silicio (Si), calcio (Ca) y aluminio (Al) como elementos principales e identifica la presencia de otros elementos en menor proporción (magnesio (Mg), potasio (K) y fósforo (P)). También se detecta la presencia de hierro (Fe) cosa que explica, entre otros factores, el color de la pátina.

Ficha petrológica | soporte pétreo

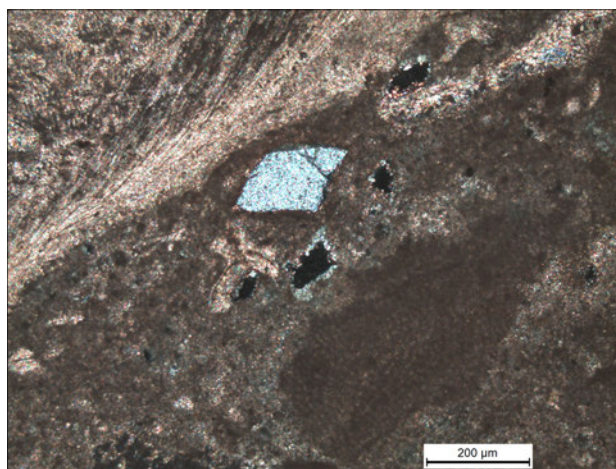
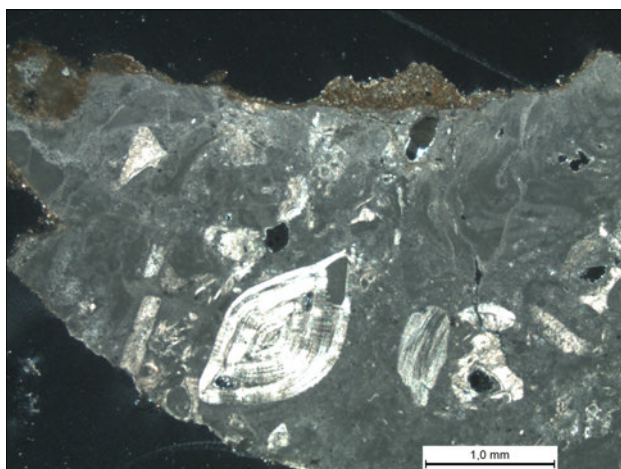


Figura 453. Microfotografía de la muestra CC003 (NC, 2.5x) donde se observa la textura general del soporte

Figura 454. Microfotografía de detalle de la muestra CC003 (NC, 10x) donde se identifica la presencia de bioclastos así como algún grano de cuarzo

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Floatstone	
	Folk	Biomicrocristalina empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Foraminíferos: Nummulites Algas rodofíceas Lamelibrancios	
	No-esqueléticos	-	
	Detriticos	Algún cristal de cuarzo disperso por la matriz	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Microcristalina	
<b>CEMENTO</b>		Microsparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug
		Fisura	-
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Porosidad muy baja	

## Anexo 12 - Ficha petrológica

Muestra	<b>CC006</b>
Abrigo	<b>Cañauca del Calar II</b>
Localización	<b>Parte superior; derecha del abrigo</b>



Figura 455. Localización general de la zona de muestreo

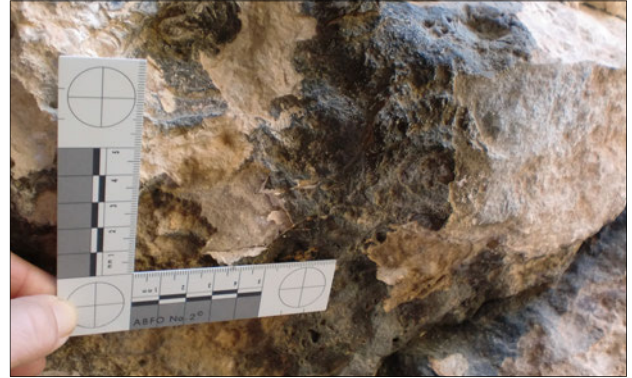


Figura 456. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | recubrimiento

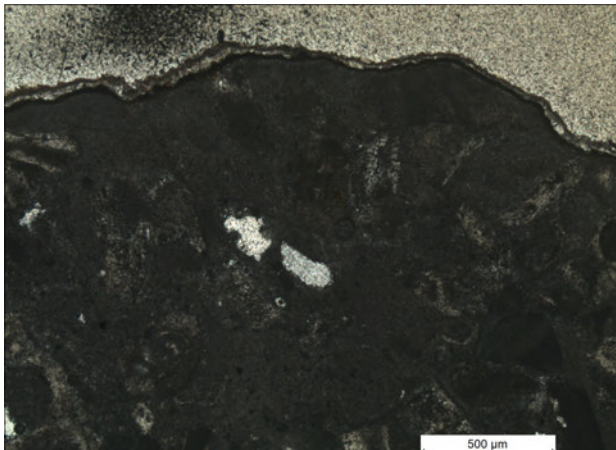


Figura 457. Microfotografía de la muestra CC006 (NP, 5x)

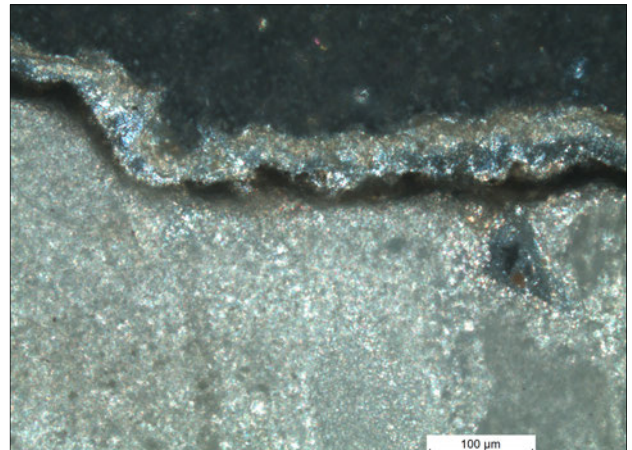
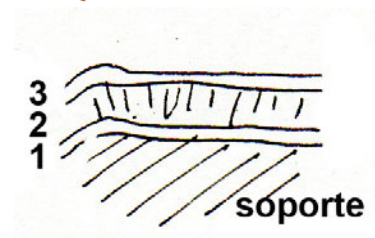


Figura 458. Microfotografía de la muestra CC006 (NC, 20x) donde se distinguen las distintas capas que conforman la costra

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota empaquetada - floatstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra continua y bastante uniforme ( $\approx 75 \mu\text{m}$ )
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto transicional (composición calcita; variación de la medida de grano)
<b>Nº DE CAPAS</b>	3
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio Capa 2 – 3: contacto limpio Capa 1 – 3: hay momentos en que se da este contacto
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: heterogénea; laminada; sin poros Capa 2: homogénea, textura criptocristalina; compacta Capa 3: textura criptocristalina; compacta
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: continua; $\approx 15 \mu\text{m}$ Capa 2: 0 – $30 \mu\text{m}$ Capa 3: continua; $\approx 20 \mu\text{m}$
<b>NOTAS</b>	

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN





### Microscopía electrónica de barrido | superficie del recubrimiento

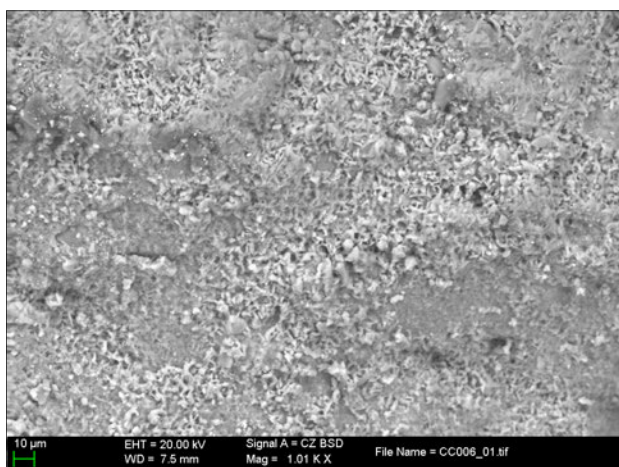


Figura 459. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x1000)

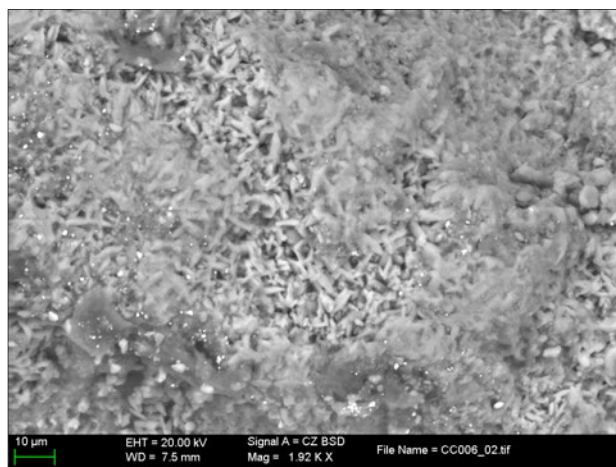


Figura 460. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x2000) donde se aprecia la presencia cristales lenticulares

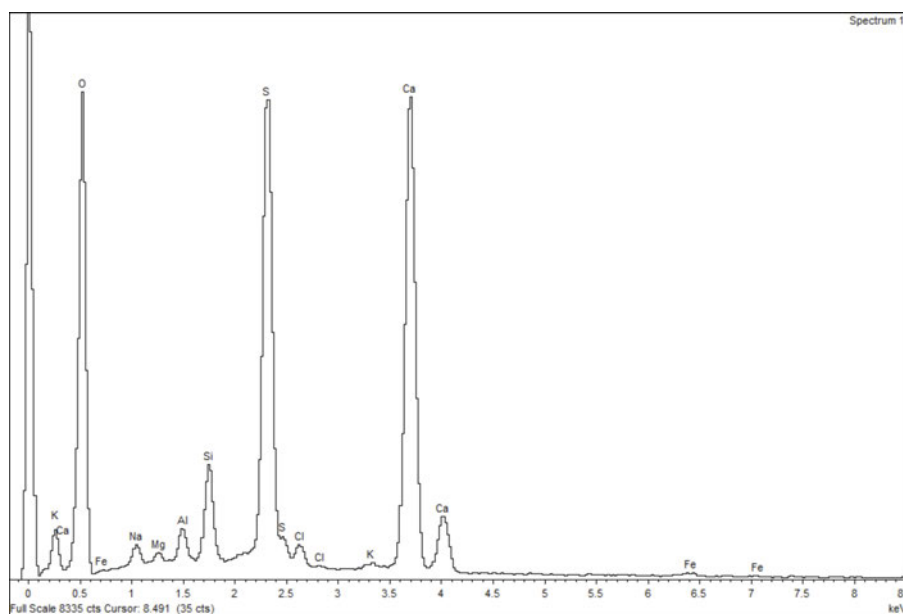


Figura 461. Espectro de análisis puntual de la muestra CC001. Elementos mayoritarios: Ca, S, Si, Al, Na, Mg y Cl.

La observación de la superficie de la costra mediante SEM permite identificar la presencia de un recubrimiento continuo de pequeños cristales. En base a la morfología (Fig. 460) y a la composición de los mismos (Fig. 461) se puede concluir que se trata de una costra compuesta por cristales de sulfato cálcico  $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  de neoformación.

*Ficha petrológica | soporte pétreo*

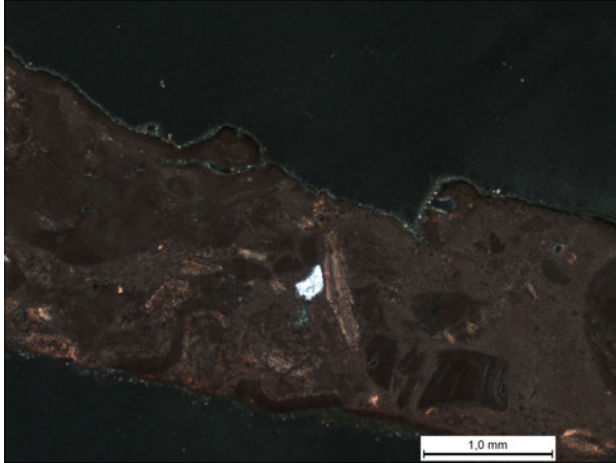


Figura 462. Microfotografía de la muestra CC006 (NC, 2.5x) teñida con alizarina

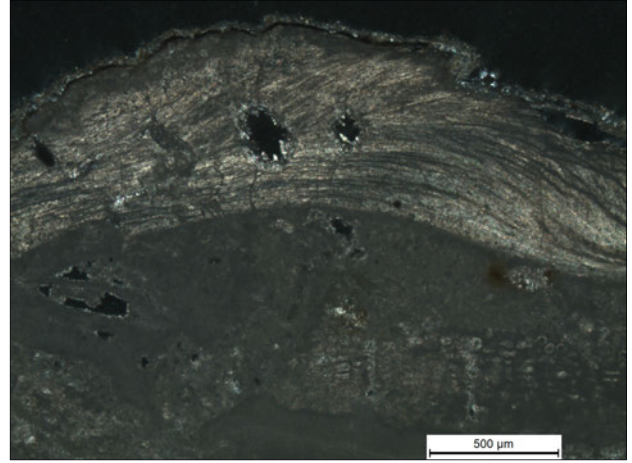


Figura 463. Microfotografía de la muestra CC006 (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Floatstone	
	Folk	Biomicrocristalina empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Foraminíferos: nummulites, rotálidos, etc Algas rodofíceas Bivalvos Gasterópodos	
	No-esqueléticos	-	
	Detríticos	Algún cristal de cuarzo disperso por la matriz	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug
		Fisura	-
<b>OBSERVACIONES</b>	-	Porosidad muy baja	

## Anexo 13 - Ficha petrológica

Muestra	AGM001
Abrigo	Abrigo Grande de Minateda
Localización	Franja superior (por encima de las pinturas)



Figura 464. Localización general de la zona de muestreo

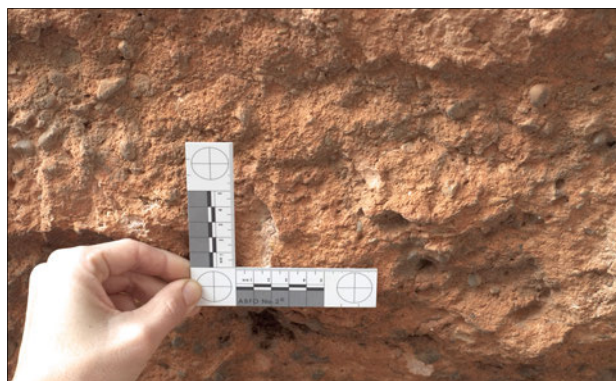


Figura 465. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

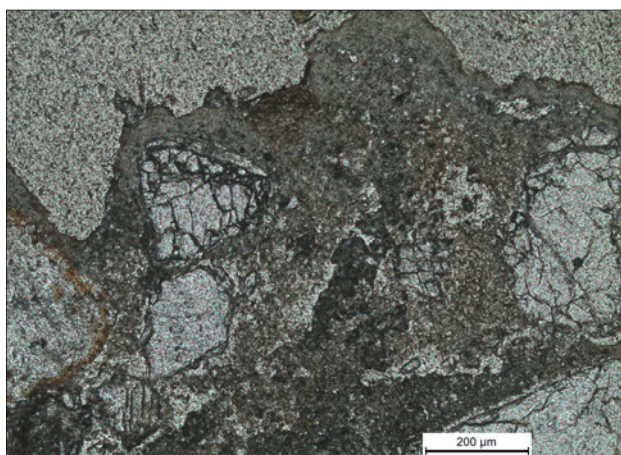


Figura 466. Microfotografía al microscopio óptico de polarización de la sección de la muestra AGM001 (NP - 10x)

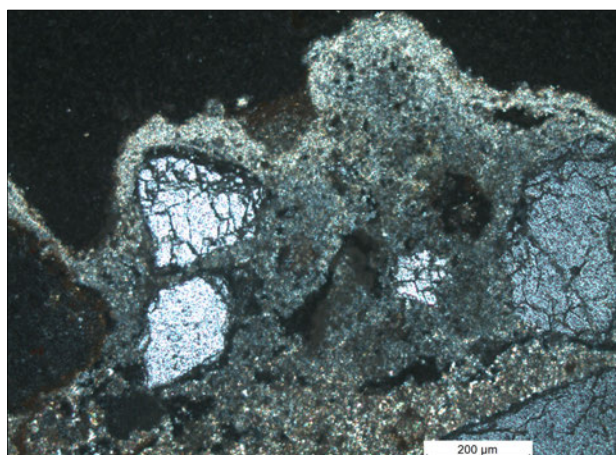
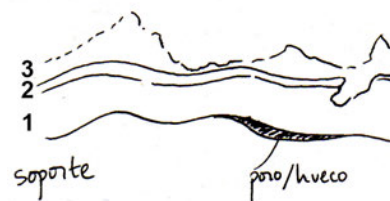


Figura 467. Microfotografía al microscopio óptico de polarización de la sección de la muestra AGM001 (NC - 10x) donde se aprecia con claridad la sucesión de capas

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota - wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra bastante continua de unas 250 µm de grosor medio
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Soporte - capa 1: transicional; algún hueco
<b>Nº DE CAPAS</b>	Se distinguen 3 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 - 2: transicional Capa 2 - 3: interconectadas; algunos huecos
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea; textura criptocristalina; microporosa; presencia de grietas Capa 2: homogénea; textura criptocristalina; microporosa Capa 3: homogénea e irregular
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: bastante continua; 600 µm Capa 2: discontinua; 100 µm Capa 3: 0 - 60 µm. Es una capa muy discontinua
<b>NOTAS</b>	La costra acaba con una fina película de unas 3 µm de grosor. Podría tratarse de algún tipo de recubrimiento orgánico

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



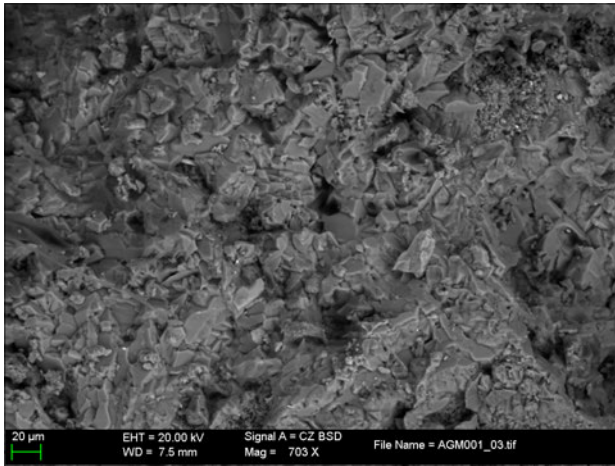
*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra*

Figura 468. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x700)

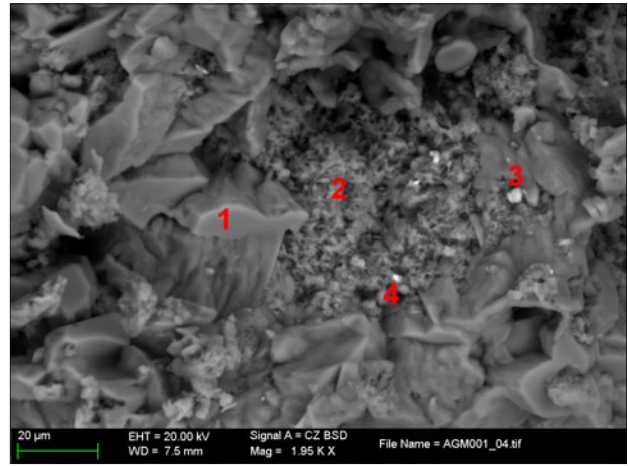


Figura 469. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x2000) donde se aprecia la presencia de distintos tipos de cristales (1, 2 y 3) y se identifica la presencia de bacterias (4)

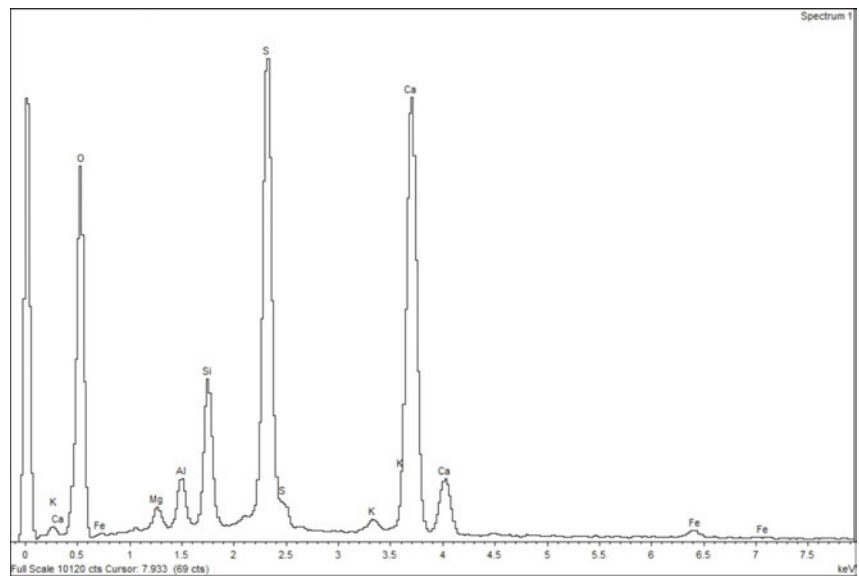


Figura 470. Espectro de dispersión de energías de la muestra AGM001. Composición elemental mayoritaria: Ca, S, Si, Al, Mg, K y Fe

El espectro de análisis puntual de la costra AGM001, sugiere que está compuesta mayoritariamente por calcio (Ca) y azufre (S) lo que indicaría que se está dando un proceso de sulfatación. Además se detecta la presencia de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg) y potasio (K) (lo que podría indicar la presencia de aluminosilicatos) y pequeñas cantidades de hierro (Fe).

El análisis EDX puntual de los puntos 1, 2 y 3 (Fig.468), no incluido, corrobora que la costra está formada por grandes cristales de sulfato calcico, algunas aglomeraciones de aluminosilicatos y presencia de partículas de óxidos de hierro dispersas por la superficie (probablemente de tipo hematites) que producen la pigmentación anaranjada observada a la lupa binocular.

## Ficha petrológica | soporte pétreo

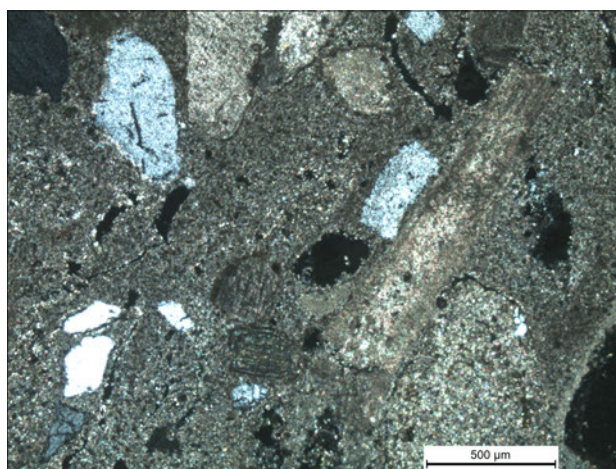
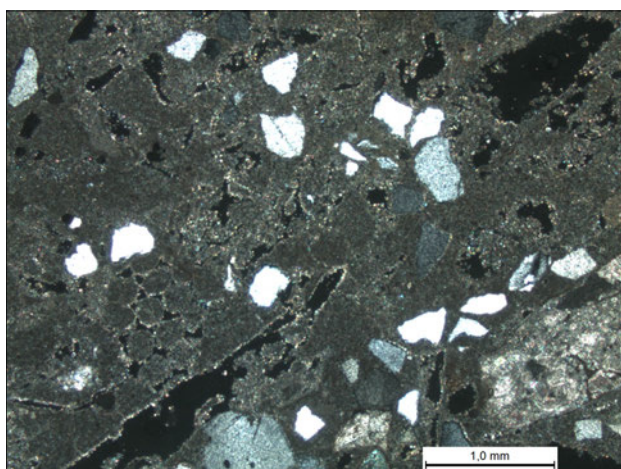


Figura 471. Microfotografía en detalle del soporte de la muestra AGM001 (NC - 5x)

Figura 472. Microfotografía general del soporte pétreo de la muestra AGM001 al microscopio óptico de polarización (NC - 2.5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Wackstone	
	Folk	Intramicrocristal - Biomicrita	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	El contenido fósil es muy bajo y de difícil identificación debido al grado de fragmentación de los bioclastos	
	No-esqueléticos	Presencia de cristales zonados (dolomita?)	
	Detriticos	Cuarzo ( $\approx 400 \mu\text{m}$ ; angulosos)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita La matriz está impregnada de óxidos de hierro	
<b>CEMENTO</b>		Microsparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	Sí, poros de pequeño tamaño e irregulares	
	Post-deposicional	Disolución	Vug; móldica; fenestral
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	El % de cuarzo es mayor que en las muestras AGM003 y AGM005 La porosidad es mayor que en las otras dos muestras	

## Anexo 14 - Ficha petrológica

Muestra	<b>AGM003</b>
Abrigo	<b>Abrigo Grande de Minateda</b>
Localización	<b>Franja superior (por encima de las pinturas)</b>



Figura 473. Localización general de la zona de muestreo

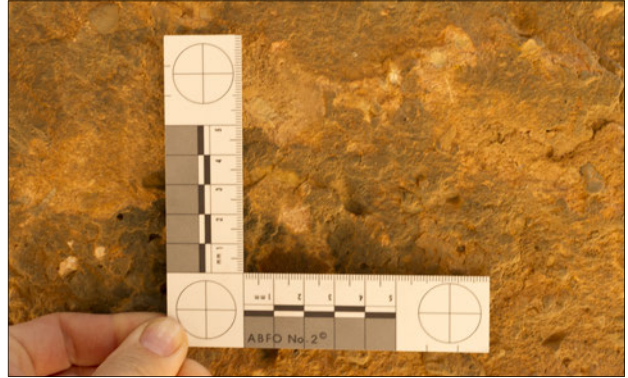


Figura 474. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

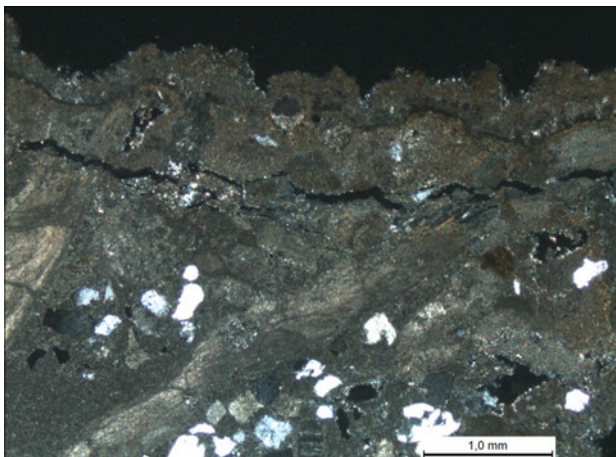


Figura 475. Microfotografía general al microscopio óptico de polarización de la sección de la muestra AGM003 (NC - 2.5x) donde se puede observar la textura y continuidad de la costra. Obsérvese que aproximadamente a un milímetro de profundidad la presencia de fisuras interconectadas es notable lo que podría ocasionar en un futuro la formación de descamación de la superficie de la muestra

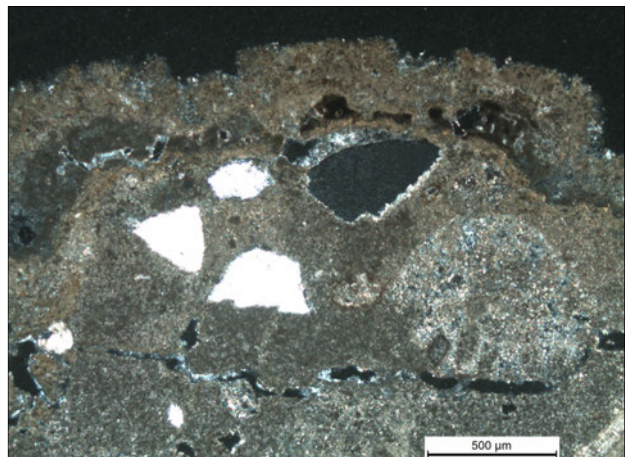
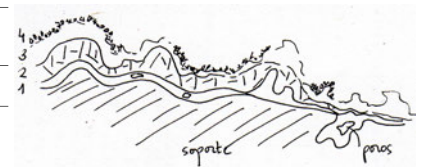


Figura 476. Microfotografía de detalle al microscopio óptico de polarización de la sección de la muestra AGM003 (NC - 5x) donde apreciamos la sucesión de capas de distinta índole (cuatro en total)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Intramicrita/biomícrita - wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra continua, multicapa y de unas 300 µm de grosor medio
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Limpio
<b>Nº DE CAPAS</b>	Se distinguen hasta 4 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 - 2 - 3: interconectadas. Incluso hay momentos en que las capas 2 y 3 se convierten en una sola capa Capa 3 - 4: interconectadas
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea e irregular; textura criptocristalina; a tramos presenta laminaciones; presencia de poros aislados Capa 2: homogénea e irregular; cristales en mosaico; porosidad intergranular Capa 3: homogénea e irregular; textura criptocristalina; ligeramente porosa; contiene pequeños nódulos de óxidos de hierro Capa 4: crecimiento de cristales perpendicular a la capa 3; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: tiene bastante continuidad; 20 - 250 µm Capa 2: muy discontinua; 0 - 250 µm Capa 3: 50 - 350 µm Capa 4: desarrollo de una nueva capa; 0 - 30 µm

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

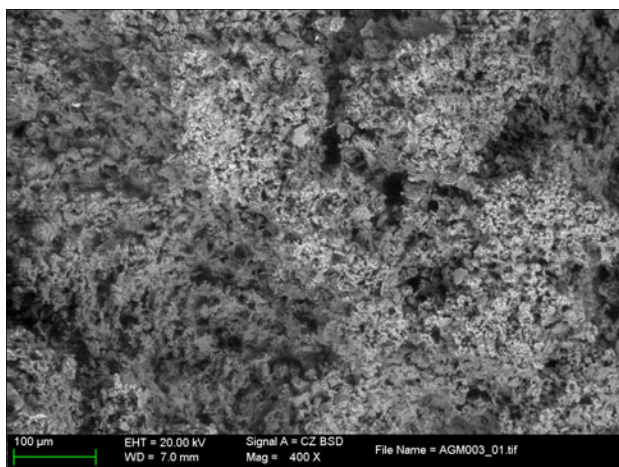


Figura 477. Imagen general de la superficie del recubrimiento (BSD, x400)

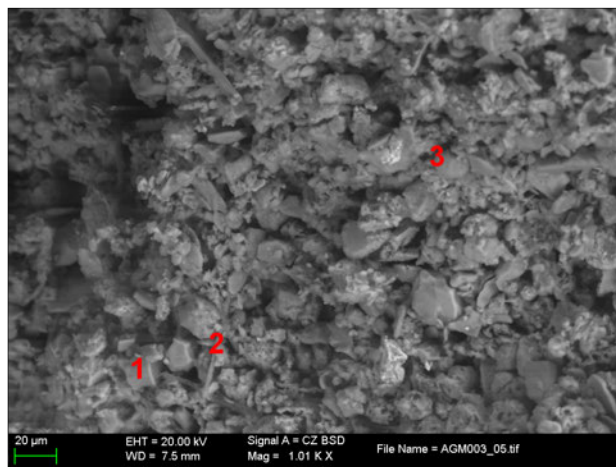


Figura 478. Imagen de detalle de la superficie del recubrimiento (BSD, x1000) donde se aprecian cristales de distinta índole (1 y 2) además de la presencia de partículas de polen (3)

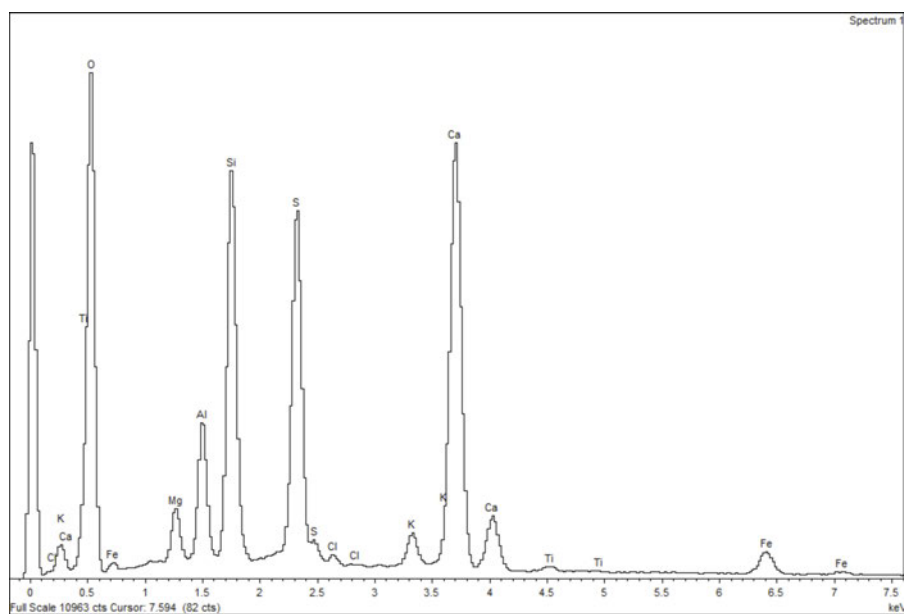


Figura 479. Espectro de análisis puntual de la muestra AGM003. Elementos mayoritarios: Ca, S, Si, Al, Mg, K y Fe

El espectro de análisis puntual de la costra AGM003, sugiere que está compuesta de nuevo por calcio (Ca) y azufre (S). Asimismo, se detecta la presencia de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg) y potasio (K) (lo que podría indicar la presencia de aluminosilicatos) y pequeñas cantidades de hierro (Fe). En este caso, el contenido en Mg es mayor que en AGM001 (lo que posiblemente sugiera un proceso de dolomitización), mientras que la presencia de partículas que contienen Fe es casi nula.

El análisis EDX puntual (no se muestra) de los puntos 1 y 2 (Fig. 478) corrobora que la costra está formada en parte por grandes cristales de dolomita recubiertas por aglomeraciones de pequeños cristales de aluminosilicatos.

*Ficha petrológica | soporte pétreo*

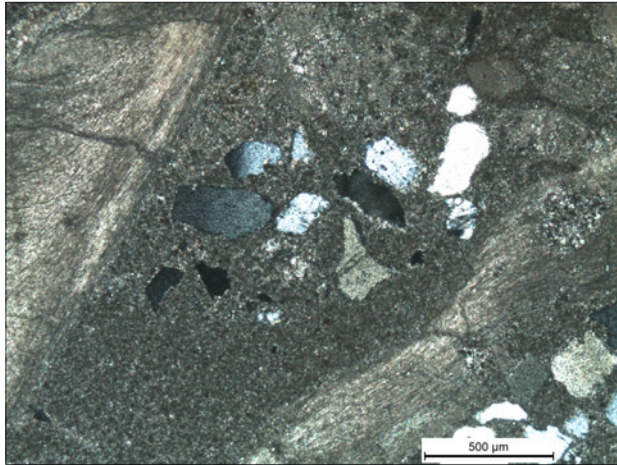


Figura 480. Microfotografía al microscopio óptico de polarización del soporte pétreo de la muestra AGM003 (NC - 5x)

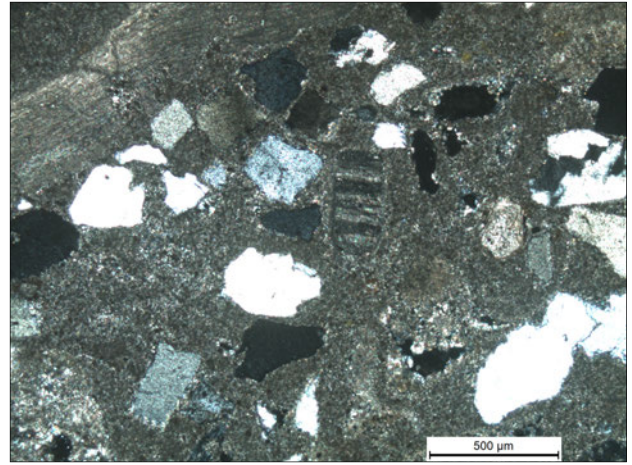


Figura 481. Microfotografía al microscopio óptico de polarización del soporte pétreo de la muestra AGM003 (NC - 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Wackstone	
	Folk	Intramicrocristalina - biomicrita	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	El contenido fósil es muy bajo y de difícil identificación debido al grado de fragmentación de los mismos. Se identifica la presencia de algún bivalvo	
	No-esqueléticos	-	
	Detriticos	Cuarzo (≈400 µm; subangulares)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita La matriz está impregnada de óxidos de hierro	
<b>CEMENTO</b>		Microsparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	Sí, poros de pequeñas dimensiones e irregulares	
	Post-deposicional	Disolución	Vug; maldica; fenestral
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	El % de cuarzo es menor que en la muestra AGM001	



## Anexo 15 - Ficha petrológica

Muestra	<b>AGM005</b>
Abrijo	<b>Abrijo Grande de Minateda</b>
Localización	<b>Derecha del abrijo; franja superior (hacia el techo)</b>



Figura 482. Localización general de la zona de muestreo

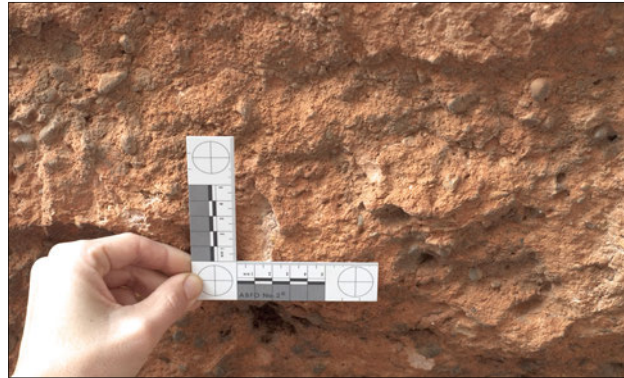


Figura 483. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

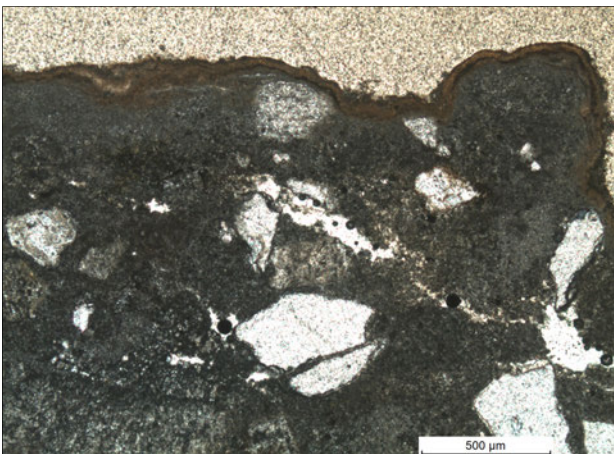


Figura 484. Microfotografía de la muestra AGM005 (NP, 5x) donde se puede observar con claridad la constinuidad del recubrimiento

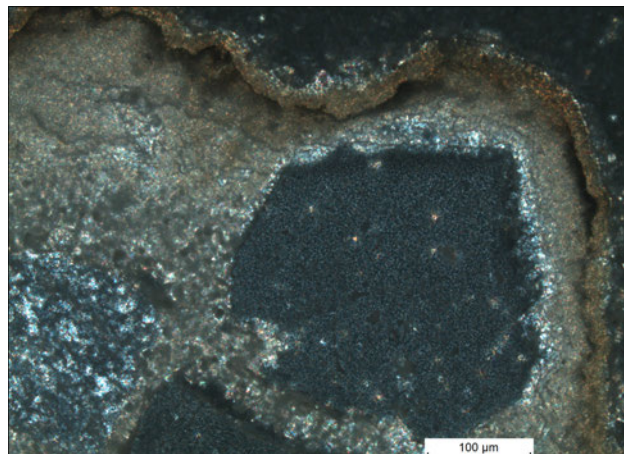
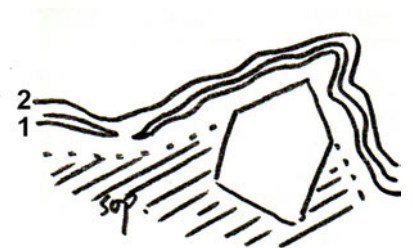


Figura 485. Microfotografía de detalle del recubrimiento (NC, 20x) donde se aprecia la microestratigrafía de la misma

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Intramicrocristalino – wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Recubrimiento continuo de unas 70 µm de grosor medio
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Sop. – capa 1: contacto limpio Sop. – capa 2: a veces es transicional, a veces es limpio
<b>Nº DE CAPAS</b>	2
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea; textura criptocristalina; muy compacta; sin poros Capa 2: homogénea e irregular; textura criptocristalina; muy compacta; sin porosidad intergranular
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: no es continua; 20 – 30 µm Capa 2: continua; 20 – 70 µm
<b>NOTAS</b>	

### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

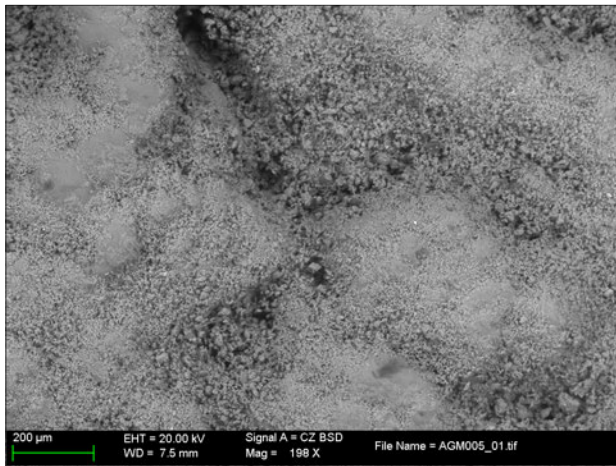


Figura 486. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x200) donde se observa el aspecto geliforme de la costra que, a su vez, está recubierta por aglomeraciones de pequeños cristales

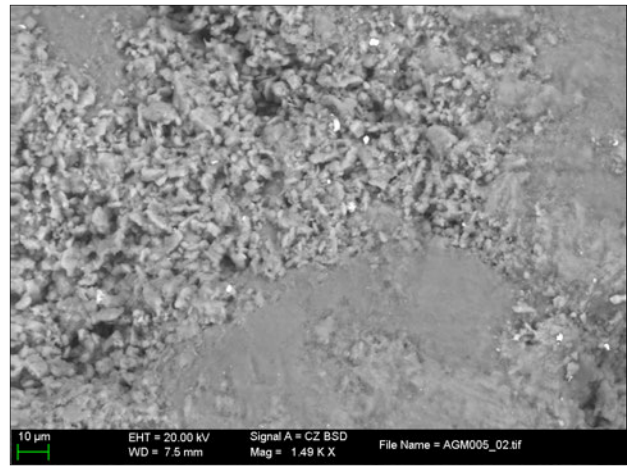


Figura 487. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x1500) donde se aprecian cristales de distinta índole y pequeñas partículas (en blanco) dispersas por la superficie, además de la presencia de filamentos de origen biológico

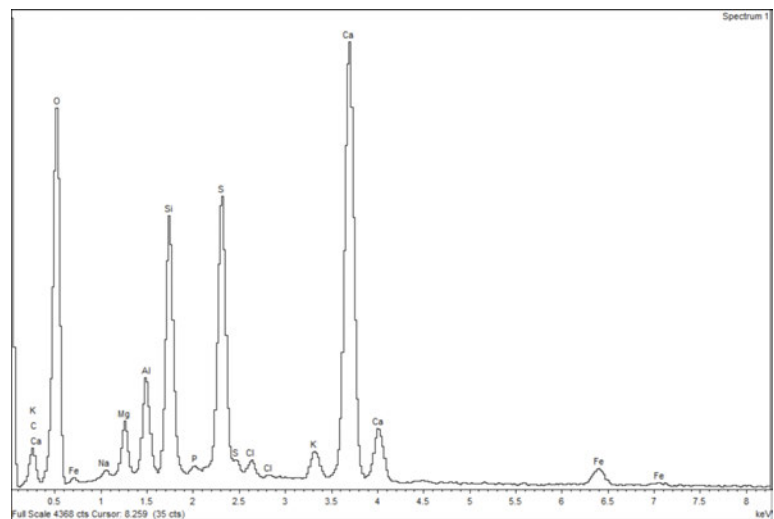


Figura 488. Espectro de análisis puntual de la muestra AGM005. Elementos mayoritarios: Ca, S, Si, Al, Mg, K Cl, Fe, Na y P

El espectro de análisis puntual de la costra AGM005, sugiere que está compuesta por calcio (Ca) y azufre (S) – lo que de nuevo indicaría que se está dando un proceso de sulfatación – y se detecta además la presencia de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) (lo que podría indicar la presencia de aluminosilicatos) y pequeñas cantidades de hierro (Fe). En este caso, también se detecta la presencia de fósforo (P).

El análisis EDX puntual (no se muestra) de las partículas en blanco (Fig. 487) detecta además la presencia de elementos como el plomo (Pb), el bario (Ba), el zinc (Zn) y el cobre (Cu).

Las observaciones al microscopio electrónico de la superficie de la muestra constatan además la presencia de actividad biológica y permiten diferenciar dos tipos de recubrimientos: a) uno inferior, de aspecto geliforme y muy compacto, y b) un segundo recubrimiento, encima del primero, presentándose a modo de aglomeraciones de pequeños cristales. Cabe destacar que la proporción de Fe es mayor en la primera capa (cosa que explica el color anaranjado observado al MOP (Fig. 485).

## Ficha petrológica | soporte pétreo

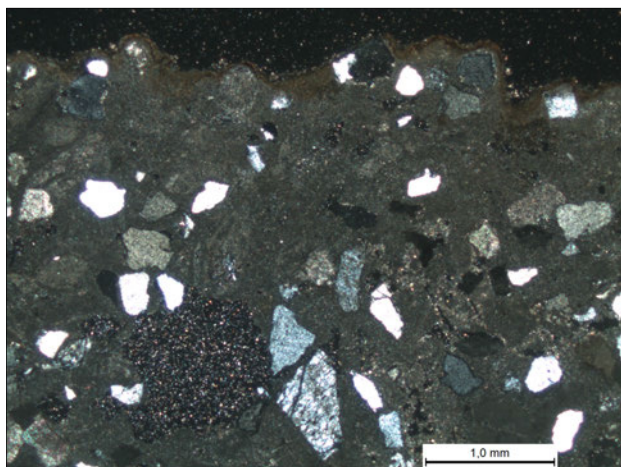


Figura 489. Microfotografía general de la muestra AGM005 (NC, 25x) donde se observa la textura de la muestra

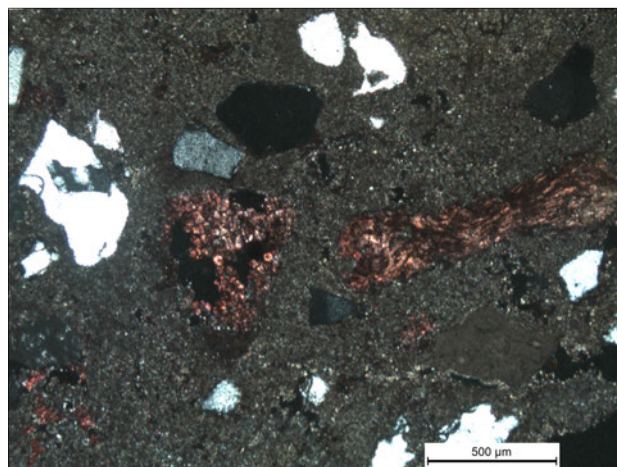


Figura 490. Microfotografía de detalle de la muestra AGM005 (NC, 5x). En colores de interferencia de 1er grado (blancos, grises y negros) se identifican los granos de cuarzo, mientras que en rojo destacan los componentes de carbonato cálcico (teñidos con alizarina)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Wackstone	
	Folk	Intramicrocristalina*	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	El contenido fósil es muy bajo. Se identifica la presencia de algún resto de bivalvo	
	No-esqueléticos	-	
	Detríticos	Cuarzo ( $\approx 400 \mu\text{m}$ ; angulosos)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Microcristalina La matriz está impregnada de óxidos de hierro	
<b>CEMENTO</b>		Microcristalina	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	Sí, poros pequeños e irregulares	
	Post-deposicional	Disolución	Vug; mólida; fenestral
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	El porcentaje de cuarzo es menor que en la muestra AGM001 * Podríamos llamarla biomicrocristalina, aunque el contenido fósil es tan bajo que intramicrocristalina se ajusta mejor	

## Anexo 16 - Ficha petrológica

Muestra	<b>SC001</b>
Abrigo	<b>Solana de las Covachas, zona III</b>
Localización	<b>Mirando al panel, franja superior, parte izquierda del abrigo</b>



Figura 491. Localización general de la zona de muestreo



Figura 492. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

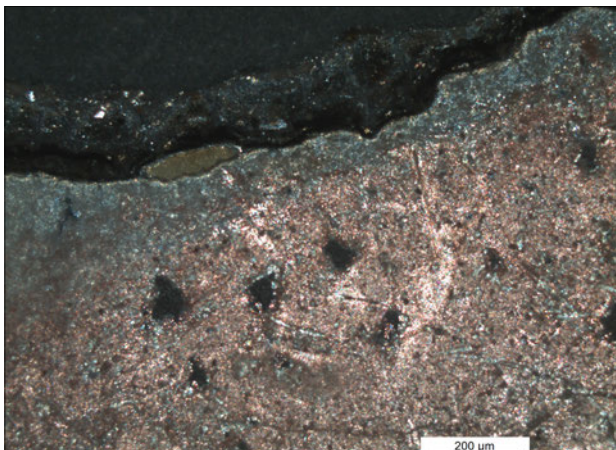


Figura 493. Microfotografía de la sección de la muestra SC001 (NC, 10x)

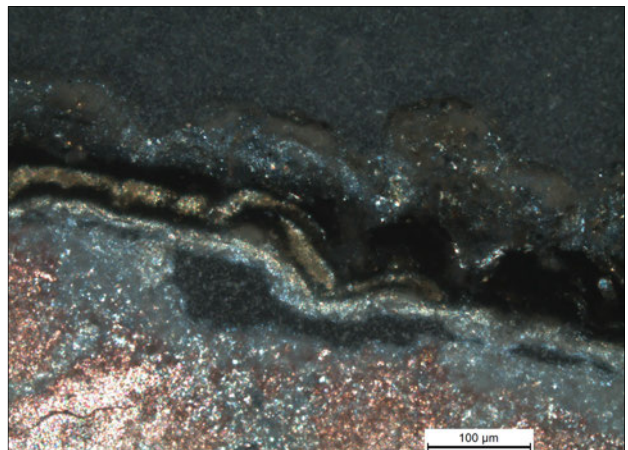


Figura 494. Microfotografía de la sección de la muestra SC001 donde se aprecia en detalle la morfología de la costra (NC, 20x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota poco empaquetada – mudstone / wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra muy continua de unos 200 µm de grosor
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto transicional; en general está bien adherida, aunque hay zonas donde hay muchos poros
<b>Nº DE CAPAS</b>	3 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio Capa 2 – 3: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea; textura criptocristalina Capa 1.1: entre las capas 1 y 2 se observa una fina capa compuesta por pequeños cristales (textura criptocristalina) Capa 2: heterogénea (multi-capas / tapiz algal); presencia de cantos rodados blandos en la base de la capa Capa 3: heterogénea; textura tipo bindstone (organismos incrustantes que fijan el sedimento cubriéndolo); muy porosa
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: discontinua y regular; ≈ 60 µm Capa 2: discontinua e irregular; ≈ 60 µm Capa 3: continua e irregular; ≈ 0 – 80 µm

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

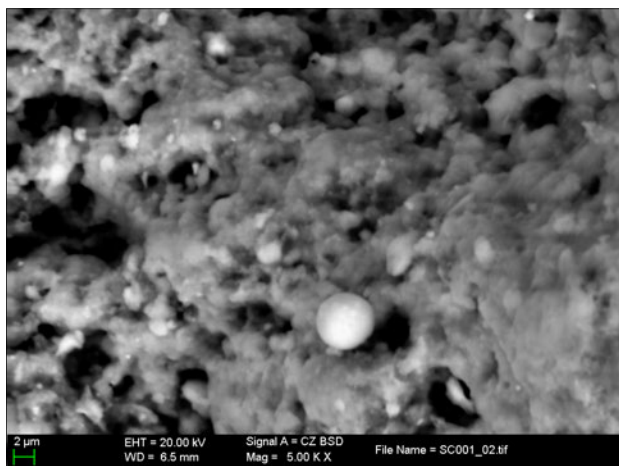


Figura 495. Imagen general de la superficie de la costra (BSD, x1000)

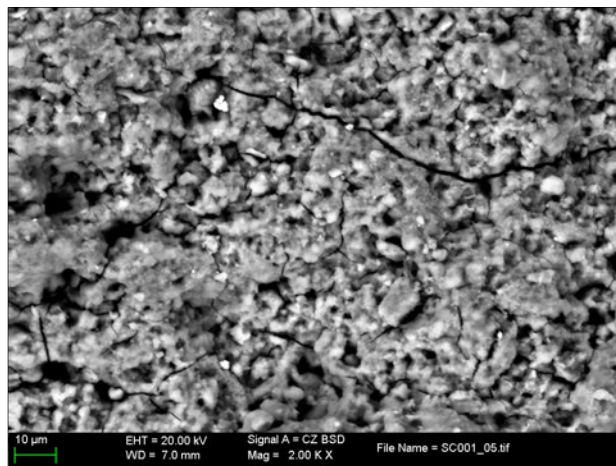


Figura 496. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x5000) donde se identifica la presencia de bacterias

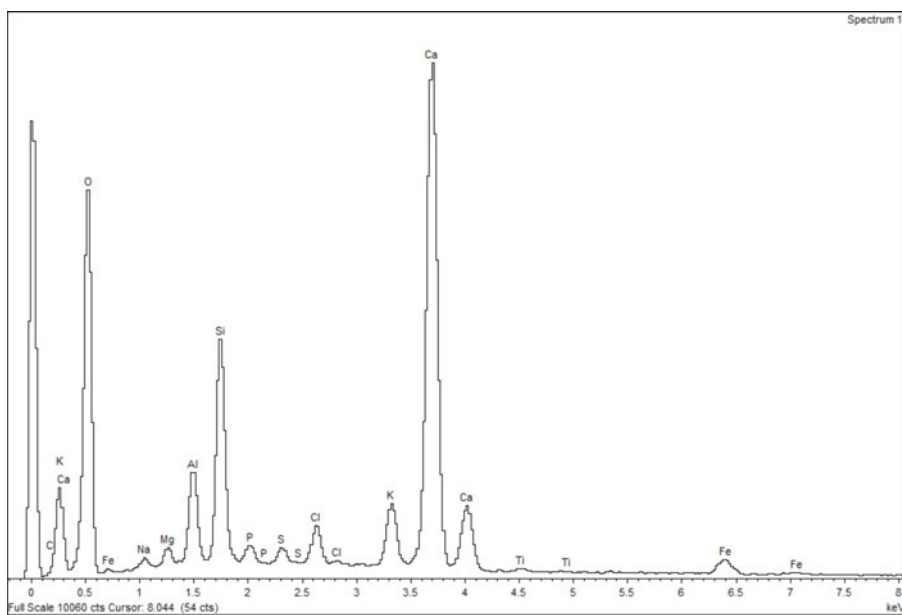


Figura 497. Espectro de dispersión de energías de la muestra SC001. Composición elemental mayoritaria: Ca, Si, Al, K, Cl, Fe, P, S, Mg y Na

La observación de la superficie en detalle permite constatar la presencia acusada de bacterias (Fig. 495). El análisis EDX de la superficie de la costra SC001, detecta mayormente calcio (Ca) y silicio (Si), seguido de elementos como el aluminio (Al), el potasio (K), el cloro (Cl), hierro (Fe), el fósforo (P), el azufre (S), el magnesio (Mg) y el sodio (Na). La presencia de Mg podría indicar que se está dando un proceso de dolomitización.

## Ficha petrológica | soporte pétreo

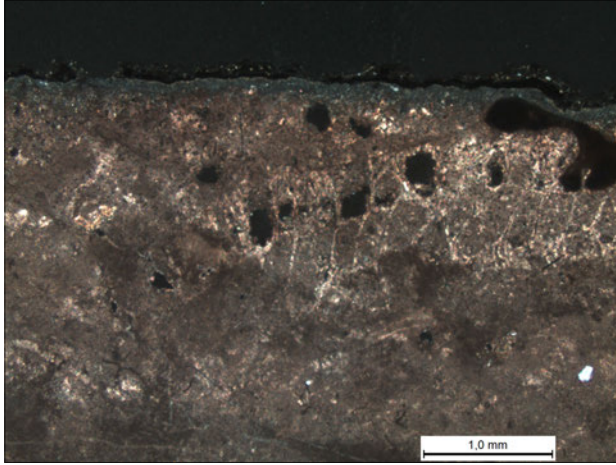


Figura 498. Microfotografía de la sección de la muestra SC001 teñida con alizarina (NC, 2.5x)

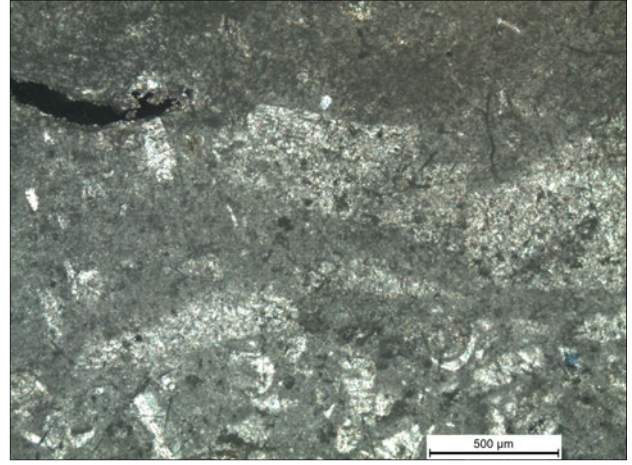


Figura 499. Microfotografía de la sección de la muestra SC001 (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Mudstone / wackstone	
	Folk	Biomicrita / biomicrita poco empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Bioclastos muy fragmentados entre los que se distinguen con claridad fragmentos de briozoos y algún foraminífero bentónico	
	No-esqueléticos	-	
	Detríticos	Algún grano de cuarzo disperso (anguloso; 200 µm)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug y móldica
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	La porosidad es muy baja, aunque los poros tienen un tamaño considerable Presencia de (micro)esparita recristalizada	

## Anexo 17 - Ficha petrológica

Muestra	SC002
Abrigo	Solana de las Covachas, zona III
Localización	Mirando al panel, a una altura media, parte izquierda del abrigo



Figura 500. Localización general de la zona de muestreo

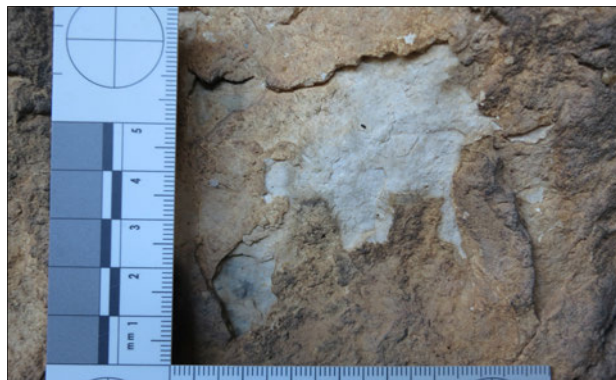


Figura 501. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

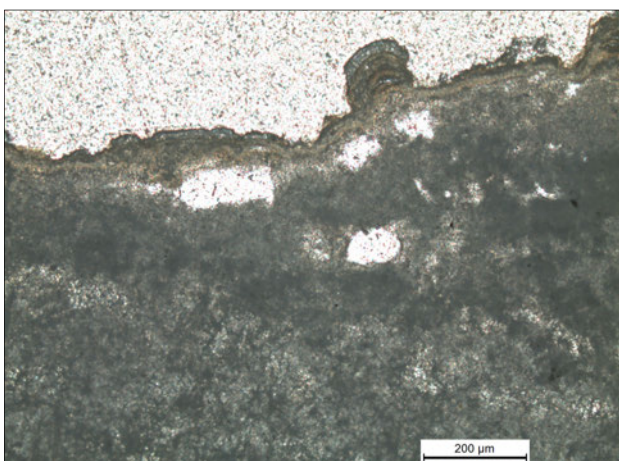


Figura 502. Microfotografía de la sección de la muestra SC002 donde se aprecia en detalle la morfología del recubrimiento (NP, 10x)

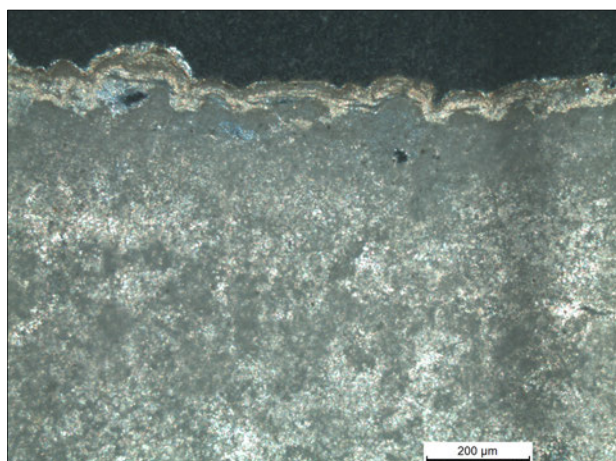


Figura 503. Microfotografía de la sección de la muestra SC002 (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota poco limpia – mudstone / wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra continua de unas 80 μm de grosor medio
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto transicional; en general está bien adherida, aunque hay zonas donde hay muchos huecos
<b>Nº DE CAPAS</b>	2
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio (se aprecia un cambio muy claro en la composición)
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea; textura criptocristalina; porosa Capa 2: heterogénea (multi-capa / tapiz algal); laminada; muy compacta
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: discontinua e irregular; ≈ 0 – 60 μm Capa 2: discontinua e irregular; ≈ 2 – 100 μm
<b>NOTAS</b>	

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra*

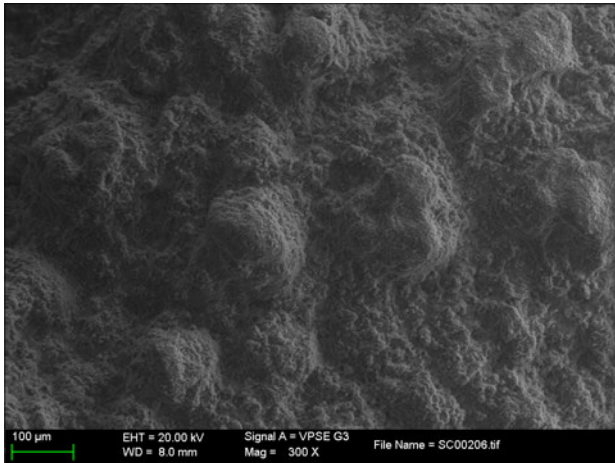


Figura 504. Imagen de la superficie del recubrimiento (BSD, x200) donde se aprecia el aspecto general de la costra

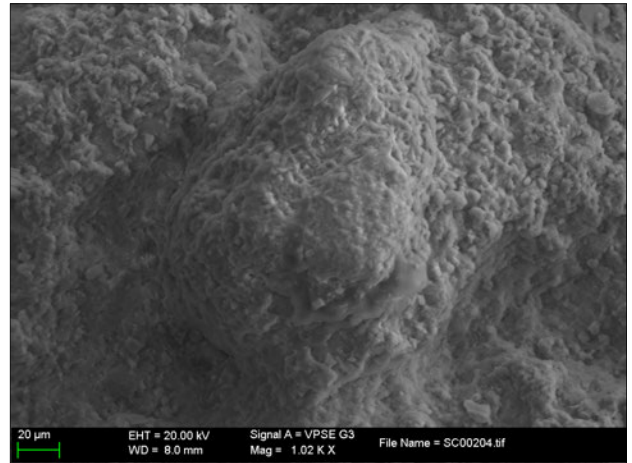


Figura 505. Imagen de detalle de la textura superficial del recubrimiento (BSD, x1000). Este tipo de morfologías nodulares se dan cuando ha habido un proceso de evaporación muy repentino y acusado

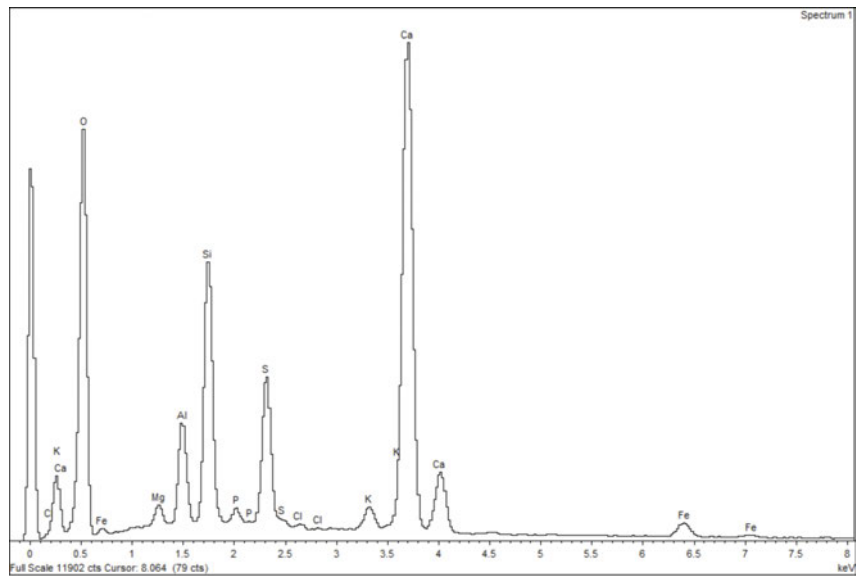


Figura 506. Espectro de dispersión de energías de la muestra SC002. Composición elemental mayoritaria: Ca, S, Si, Al, K, Mg, Fe y P

La observación de la superficie de la costra permite caracterizar con detalle su morfología/textura. En este sentido, diríamos que se trata de una textura nodular, sugiriendo que se ha dado un proceso de evaporación–cristalización muy rápido.

El espectro EDX general de la superficie de la muestra SC002 (Fig. 506), sugiere que está compuesta nuevamente por calcio (Ca) y azufre (S). Del mismo modo que en ocasiones anteriores, se detecta la presencia de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), potasio (K) y pequeñas cantidades de hierro (Fe) y fósforo (P).



*Ficha petrológica | soporte pétreo*

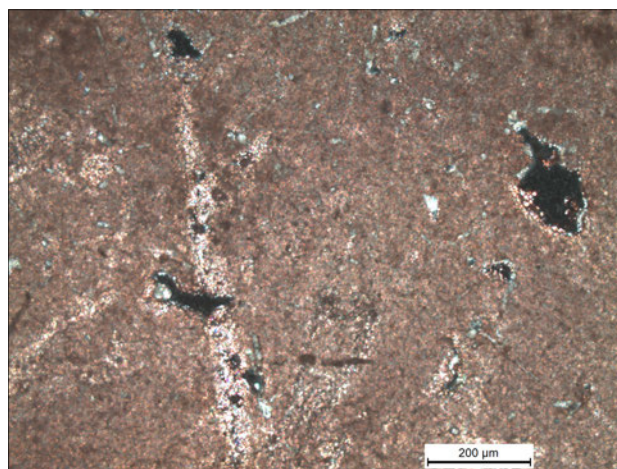
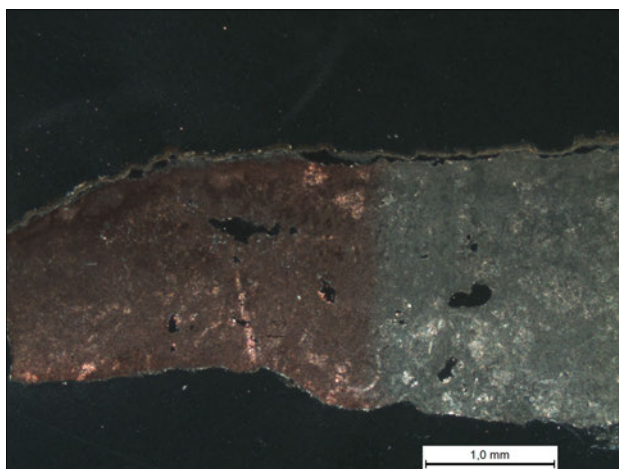


Figura 507. Microfotografía de la sección de la muestra SC002 teñida parcialmente con alizarina (NC, 2.5x)

Figura 508. Microfotografía de la sección de la muestra SC002 (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Mudstone / wackstone	
	Folk	Bioesparita poco limpia	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Presencia de bioclastos muy fragmentados de difícil identificación	
	No-esqueléticos	-	
	Detriticos	Algún grano de cuarzo esporádico	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita	
<b>CEMENTO</b>		Esparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	Sí, poros pequeños e irregulares	
	Post-deposicional	Disolución	Vug y fenestral
		Fisura	-
<b>OBSERVACIONES</b>	-	La porosidad es muy baja pero los poros son de un tamaño considerable (de entre 200 y 500 µm de ancho) Presencia de esparita recristalizada	

## Anexo 18 - Ficha petrológica

Muestra	<b>SC003</b>
Abrigo	<b>Solana de las Covachas, zona III</b>
Localización	<b>Mirando al panel, en la base de la parte izquierda del abrigo</b>



Figura 509. Localización general de la zona de muestreo

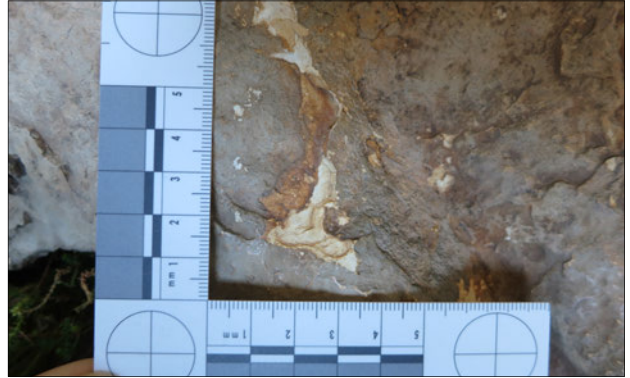


Figura 510. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

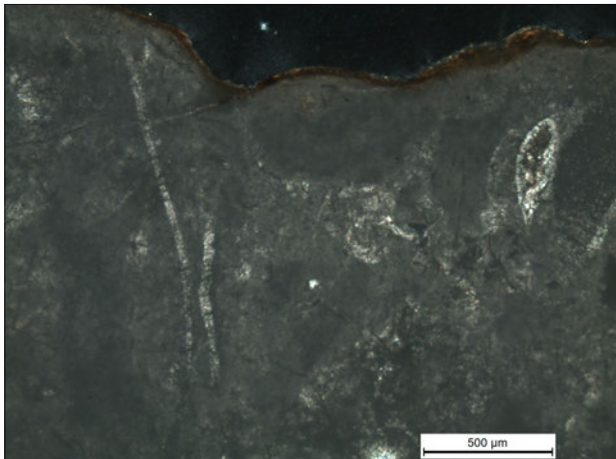


Figura 511. Microfotografía de la sección de la muestra SC003 (NC, 5x)

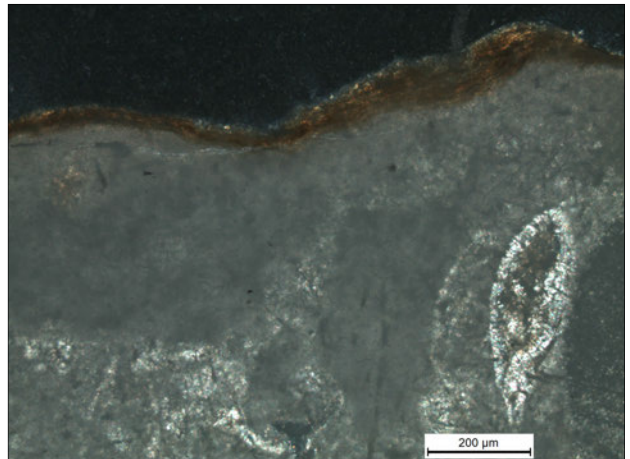


Figura 512. Microfotografía de la sección de la muestra SC003 donde se aprecia la morfología del recubrimiento (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota poco empaquetada- mudstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra muy fina y continua
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto limpio; en general está bien adherida, no se aprecian huecos
<b>Nº DE CAPAS</b>	2 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: heterogénea (multi-capas) Capa 2: homogénea; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: continua e irregular; ≈ 30 – 60 µm Capa 2: discontinua; ≈ 0 – 30 µm
<b>NOTAS</b>	Tanto su composición como su morfología y textura son muy similares a la muestra SC007 (Solana de Las Covachas VI).

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

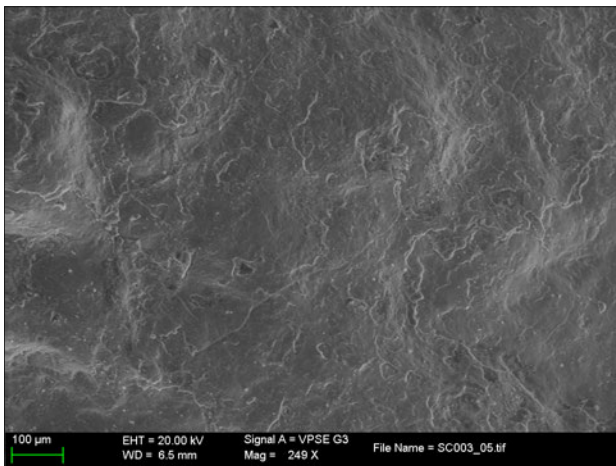


Figura 513. Imagen de la superficie de la costra (BSD, x300) donde se aprecia como esta está sufriendo varios procesos de deterioro

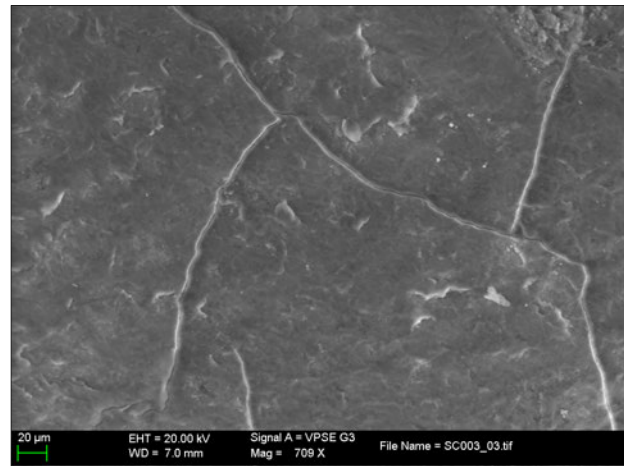


Figura 514. Imagen de detalle de la superficie de la costra (BSD, x700) en la que se aprecia el proceso de craquelado siguiendo un patrón en mosaico

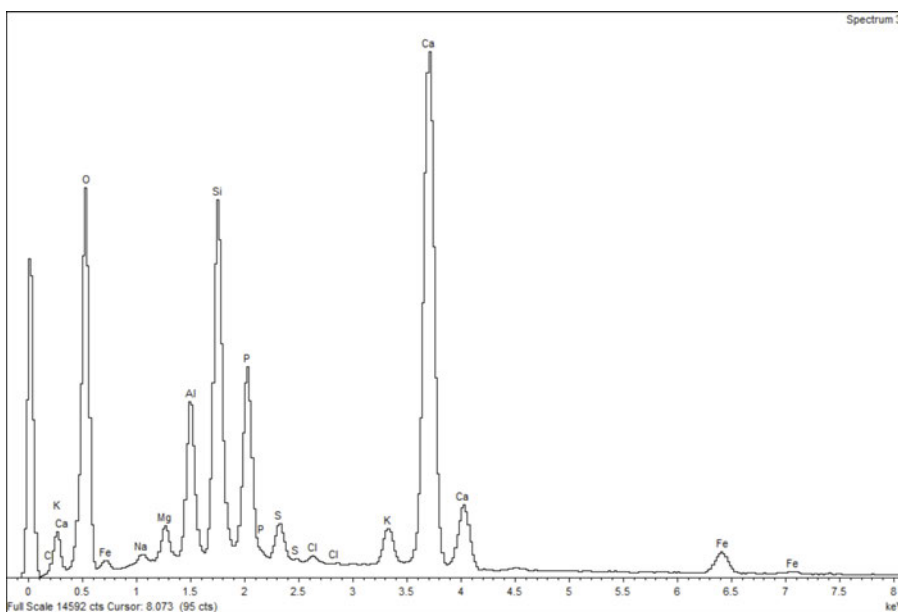


Figura 515. Espectro de dispersión de energías de la muestra SC003. Composición elemental mayoritaria: Ca, Si, P, Al, S, K, Mg y Fe

La observación de la superficie de la costra pone de manifiesto que esta está sufriendo un proceso de craquelado y descamación. No se aprecian ni partículas ni bacterias en superficie.

El espectro EDX de la superficie de la costra, sugiere que está compuesta mayoritariamente por calcio (Ca), silicio (Si) y fósforo (P). También se detecta la presencia de aluminio (Al), azufre (S), potasio (K), magnesio (Mg) y hierro (Fe).

## Ficha petrológica | soporte pétreo

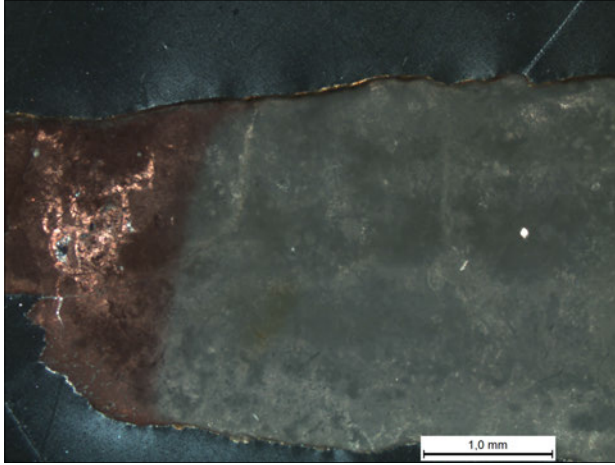


Figura 516. Microfotografía de la sección de la muestra SC003 teñida parcialmente con alizarina (NC, 2.5x)

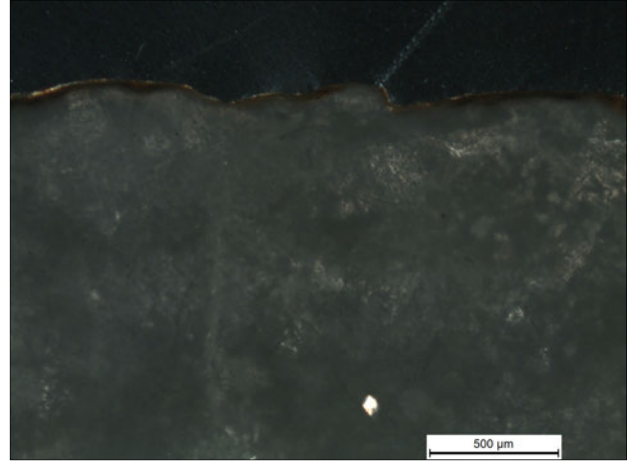


Figura 517. Microfotografía de la sección de la muestra SC003 (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Mudstone	
	Folk	Biomicrota poco empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Presencia de algún resto fósil de muy difícil identificación entre los que se observa algún foraminífero y un fragmento de briozoo	
	No-esqueléticos	-	
	Detriticos	Algún grano de cuarzo esporádico	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita Óxidos de hierro impregnando la matriz	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Móldica
		Fisura	Sí, aunque recristalizadas
<b>OBSERVACIONES</b>	-	La porosidad es muy baja	

## Anexo 19 - Ficha petrológica

Muestra	<b>SC006</b>
Abrigo	<b>Solana de las Covachas, zona VI</b>
Localización	<b>Mirando al panel, techo parte derecha del abrigo</b>



Figura 518. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

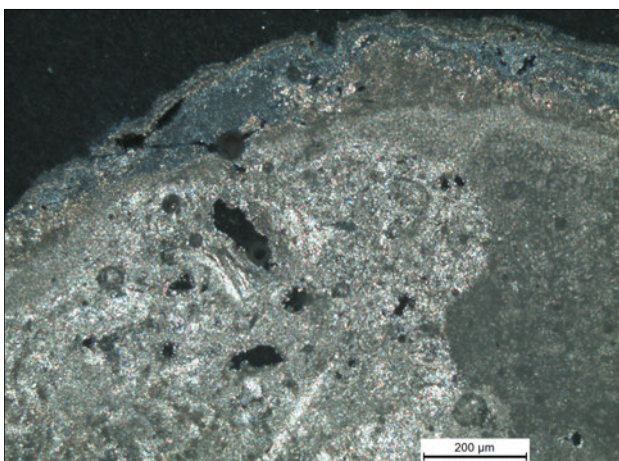


Figura 519. Microfotografía de la sección de la muestra SC006 donde se aprecia la morfología de la costra (NC, 10x)

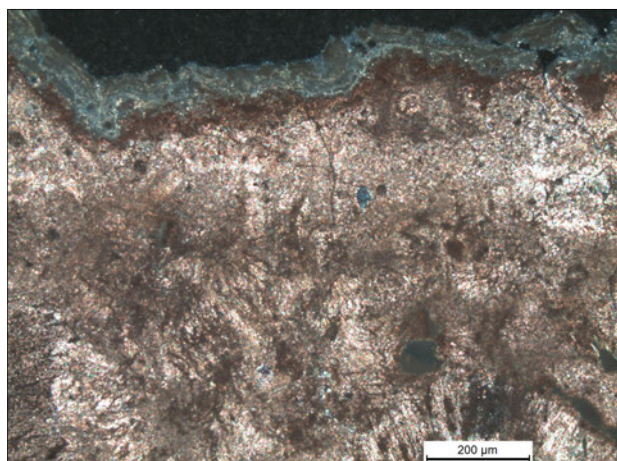


Figura 520. Microfotografía de la sección de la muestra SC006 teñida con alizarina (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrota empaquetada - wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra bastante continua y heterogénea con algunos poros aislados y con un grosor de unas 50 $\mu\text{m}$
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto limpio; en general está bien adherida, no se aprecian huecos
<b>Nº DE CAPAS</b>	3 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto interconectado Capa 2 – 3: contacto interconectado
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: heterogénea; porosa Capa 2: heterogénea; porosa Capa 3: heterogénea; porosa
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: discontinua e irregular; $\approx 0 - 100 \mu\text{m}$ Capa 2 – 3: bastante continua; $\approx 50 - 70 \mu\text{m}$
<b>NOTAS</b>	2 – 3 pueden llegar a ser una sola capa. Parece un tapiz algal

### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra*

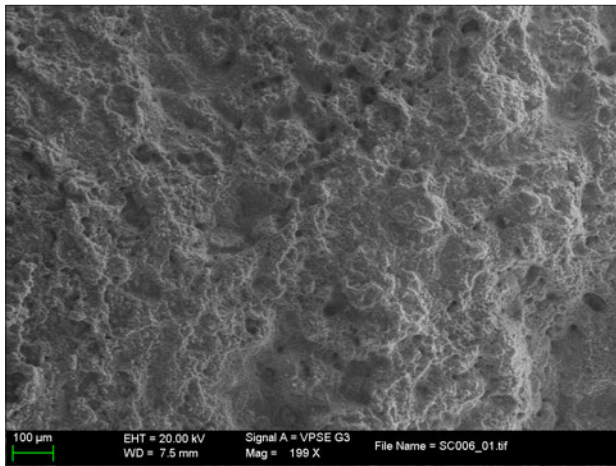


Figura 521. Imagen de la superficie de la muestra (SE, x200) donde se denota la presencia de pequeñas oquedades

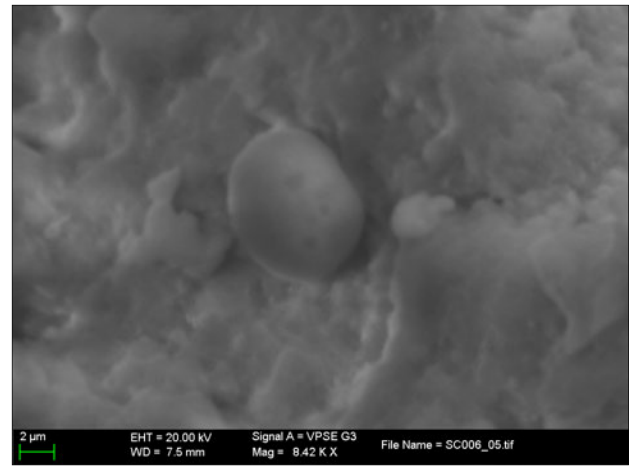


Figura 522. Imagen de detalle de una bacteria (SE, x8500)

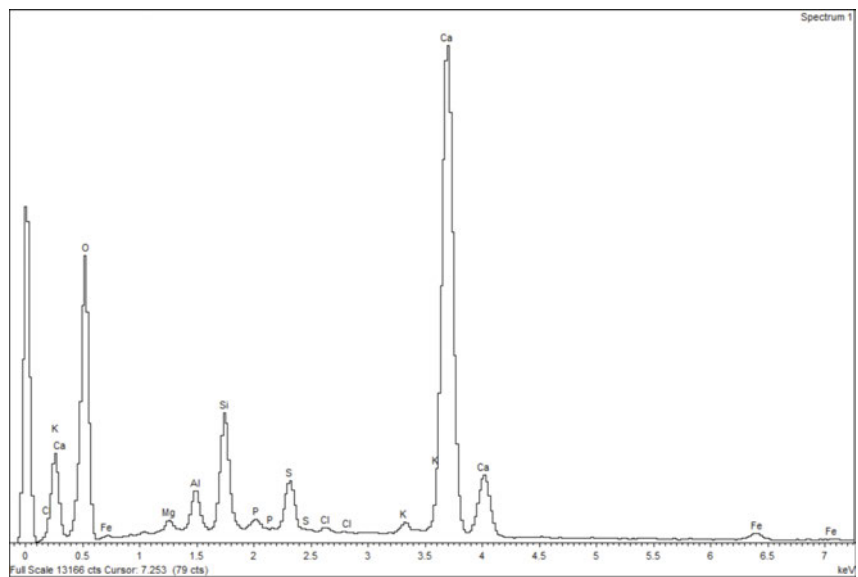


Figura 523. Espectro de dispersión de energías de la muestra SC006. Composición elemental mayoritaria: Ca, Si, S, Al, P, K y Fe

La observación de la superficie de la costra mediante SEM permite constatar que ésta se encuentra en un estado relativamente avanzado de desarrollo. Además se identifica la presencia notable de bacterias (Fig. 522).

El espectro EDX de la superficie de la costra (Figura 523), sugiere que está compuesta mayoritariamente por calcio (Ca), silicio (Si), azufre (S), aluminio (Al), fósforo (P), potasio (K) y hierro (Fe).

### Ficha petrológica | soporte pétreo

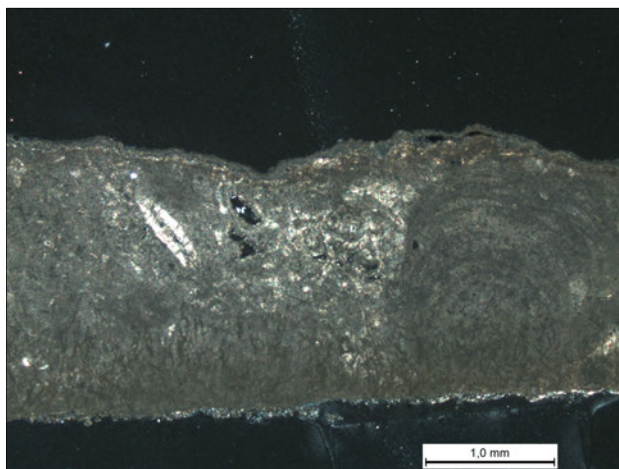


Figura 524. Microfotografía de la sección de la muestra SC006 (NC, 2.5x)

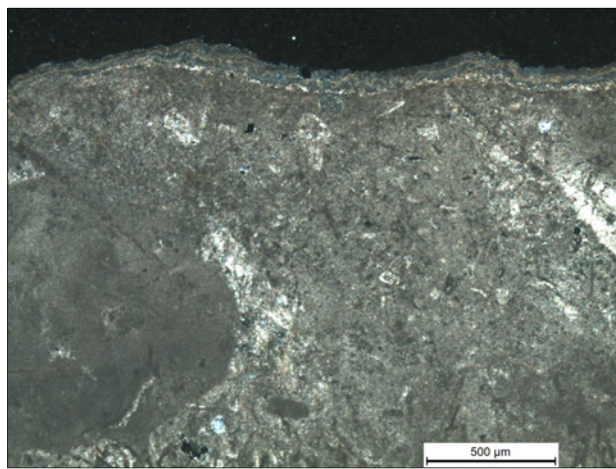


Figura 525. Microfotografía de la sección de la muestra SC006 (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Wackstone	
	Folk	Biomicrita empaquetada	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Presencia notable de bioclastos entre los que se distinguen con claridad los fragmentos de algas rodofíceas además de algún foraminífero	
	No-esqueléticos	-	
	Detríticos	Algún grano de cuarzo esporádico	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	La porosidad es muy baja	

## anexo 20 - Ficha petrológica

Muestra	<b>SC006</b>
Abrigo	<b>Solana de las Covachas, zona VI</b>
Localización	<b>Parte central del panel</b>

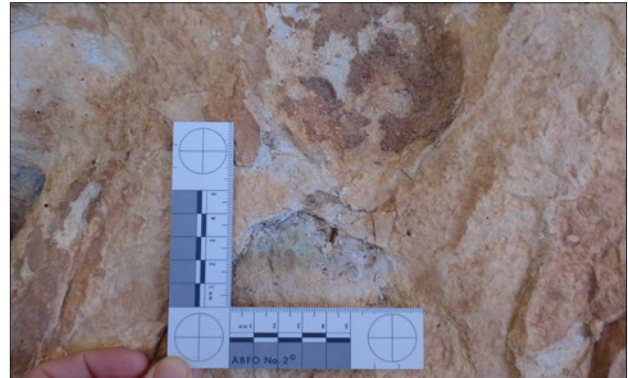


Figura 526. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

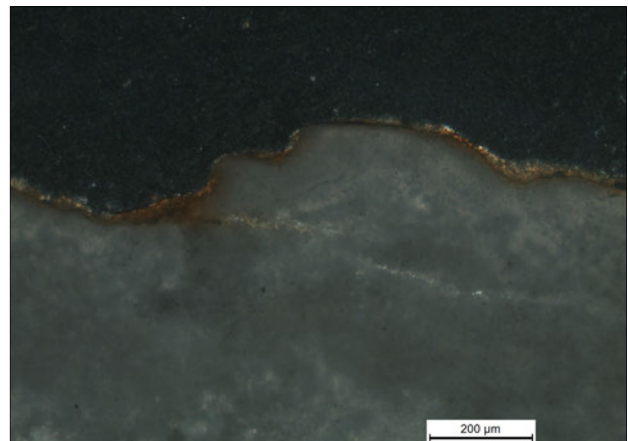
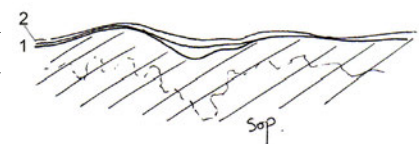


Figura 527. Microfotografía de la sección de la muestra SC007 donde se aprecia la morfología de la costra (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrita – bio(micro)esparita poco limpia - wackstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra bastante continua con un grosor medio de unas 30 µm
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto limpio; en general está bien adherida, no se aprecian huecos
<b>Nº DE CAPAS</b>	2 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 1 – 2: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: homogénea Capa 2: homogénea; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 1: continua e irregular; ≈ 0 – 120 µm Capa 2: continua; ≈ 0 – 30 µm
<b>NOTAS</b>	

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN





### Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra

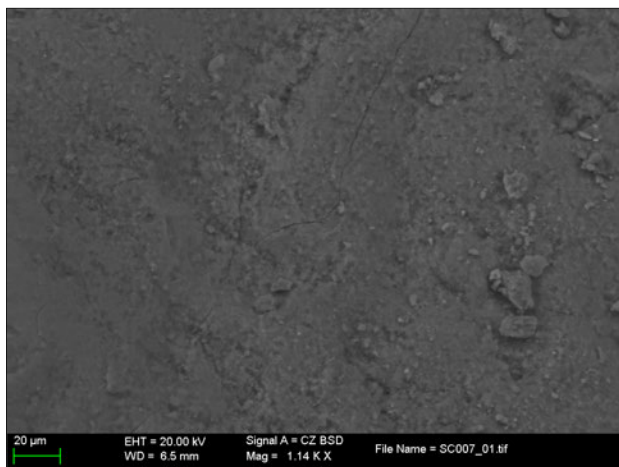


Figura 528. Imagen de la superficie de la costra (BSD, x1000) donde se aprecia como está sufriendo un proceso de craquelado

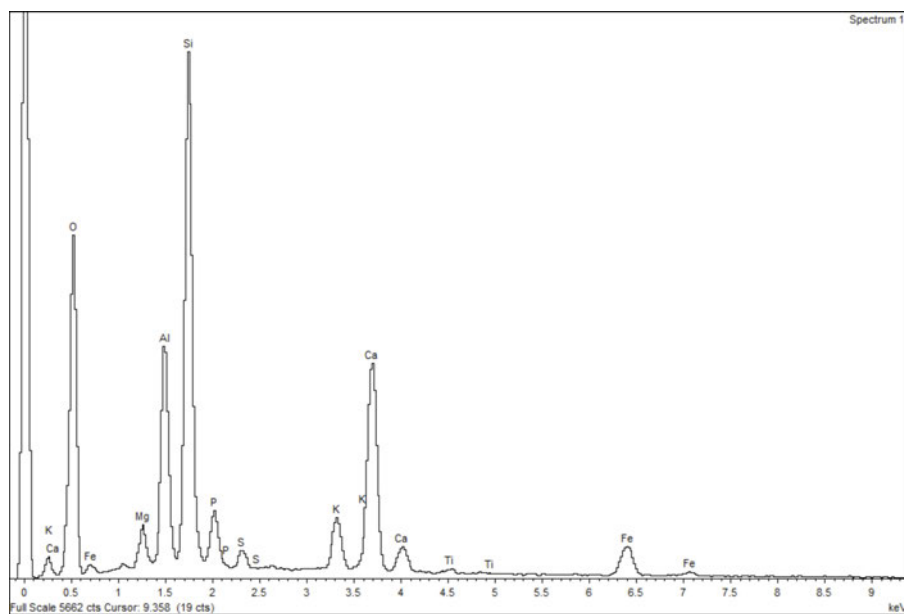


Figura 529. Espectro de dispersión de energías de la muestra SC007. Composición elemental mayoritaria: Si, Ca, Al, P, Mg, K, Fe, S y Ti

El espectro EDX de la superficie de la costra sugiere que está compuesta mayoritariamente por silicio (Si), calcio (Ca) y aluminio (Al). También se detecta la presencia de fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe), azufre (S) y titanio (Ti).

## Ficha petrológica | soporte pétreo

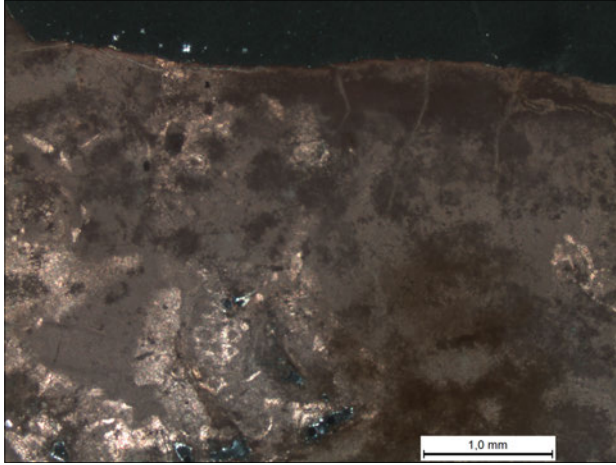


Figura 530. Microfotografía de la sección de la muestra SC007 teñida con alizarina (NC, 2.5x)

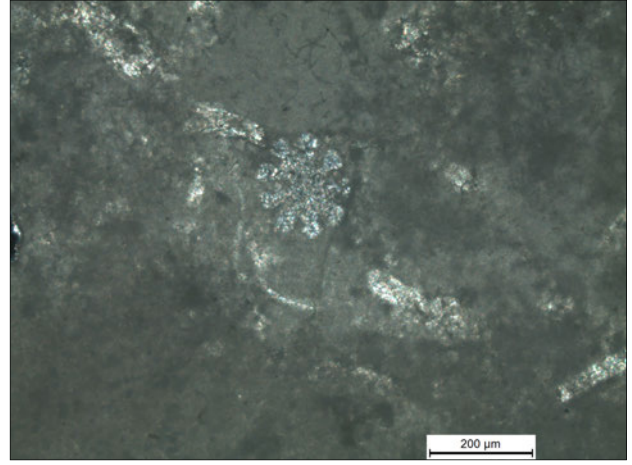


Figura 531. Microfotografía de la sección de la muestra SC007 (NC, 10x) donde se identifica una púa de erizo en la parte central de la imagen

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Wackstone	
	Folk	Biomicro – bio(micro)esparita poco limpia	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Bioclastos de difícil identificación entre los que cabe destacar la presencia de púas de equínidos y algas rodofíceas	
	No-esqueléticos	-	
	Detriticos	-	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita	
<b>CEMENTO</b>		Microesparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug y móldica
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	La porosidad es muy baja	

## Anexo 21 - Ficha petrológica

Muestra	<b>SC008</b>
Abrigo	<b>Solana de las Covachas, zona VI</b>
Localización	<b>Parte central del panel</b>



Figura 532. Localización general de la zona de muestreo



Figura 533. Detalle de la zona de muestreo

### Microscopía Óptica de Polarización (MOP) | costra

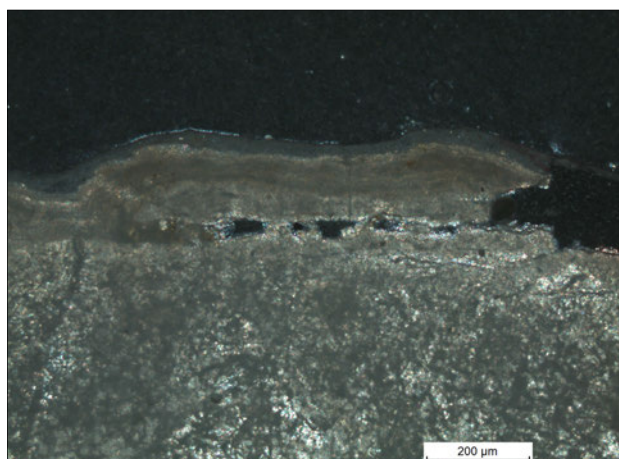


Figura 534. Microfotografía de detalle de la sección de la muestra SC008 (NC, 10x)

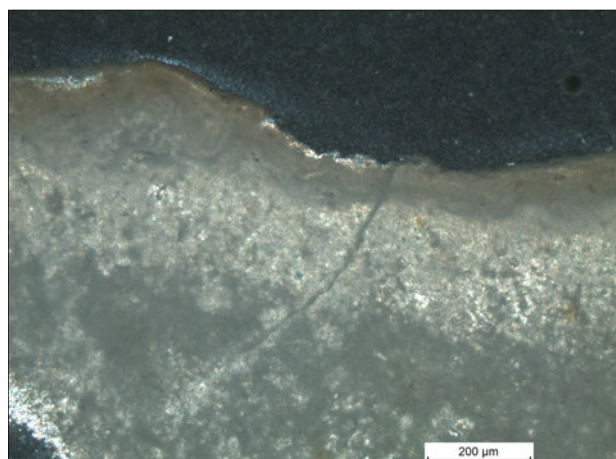


Figura 535. Microfotografía de detalle de la sección de la muestra SC008 (NC, 10x)

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUSTRATO</b>	Biomicrita – bioesparita poco limpia - mudstone
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR MEDIO</b>	Costra discontinua de unas 150 µm de grosor
<b>CONTACTO SUSTRATO - COSTRA</b>	Contacto transicional; en general está bien adherida, aunque hay zonas donde se empiezan a apreciar huecos
<b>Nº DE CAPAS</b>	3 – 4 capas
<b>CONTACTO ENTRE CAPAS</b>	Capa 0 – 1: contacto transicional / interconectada Capa 1 – 2: contacto limpio Capa 2 – 3: contacto limpio
<b>MORFOLOGÍA, TEXTURA Y ESTRUCTURA INTERNA DE LAS CAPAS</b>	Capa 1: heterogénea (multi-capas: tapiz algal) Capa 2: homogénea; textura criptocristalina Capa 3: homogénea; textura criptocristalina
<b>CONTINUIDAD Y GROSOR</b>	Capa 0: ≈ 0 – 80 µm Capa 1: continua e irregular; ≈ 60 – 200 µm Capa 2: discontinua; ≈ 0 – 50 µm Capa 3: continua e irregular; ≈ 50 – 100 µm

#### NOTAS

#### ESQUEMA DE LA SECCIÓN



*Microscopía electrónica de barrido | superficie de la costra*

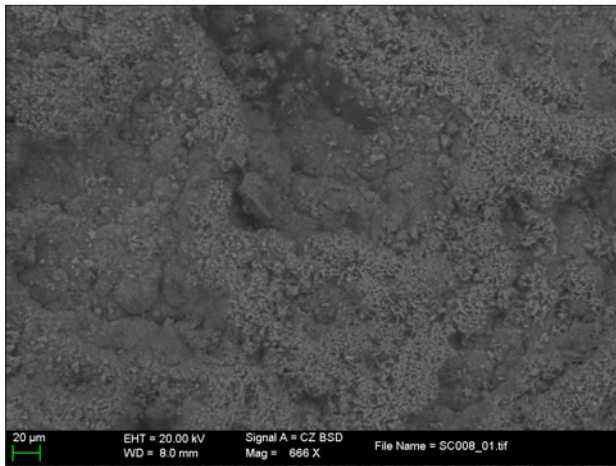


Figura 536. Imagen de la superficie de la costra (BSD, x600)

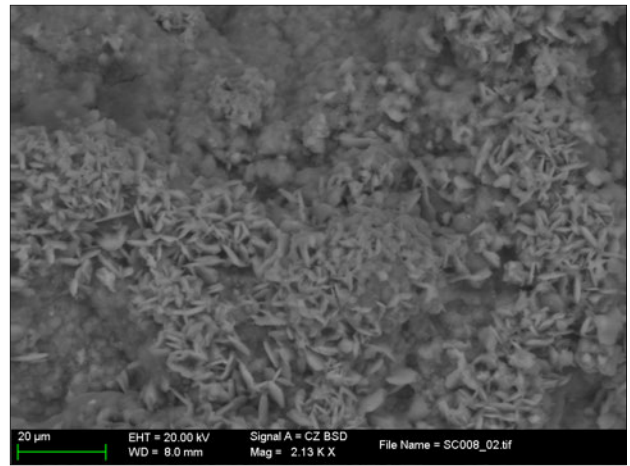


Figura 537. Imagen de detalle (BSD, x2000) donde se aprecia el la presencia de aglomeraciones de cristales discoidales típicos de la neoformación de yeso

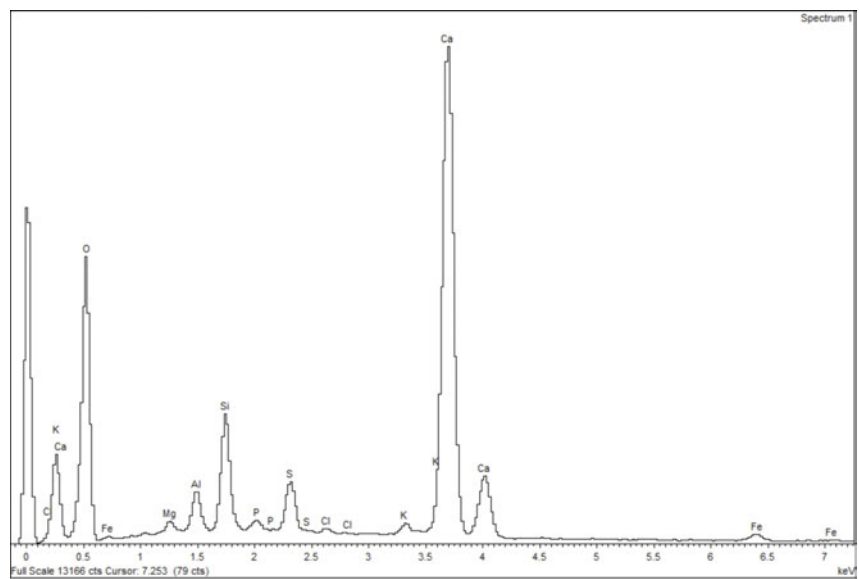


Figura 538. Espectro de dispersión de energías de la muestra SC008. Composición elemental mayoritaria: Ca, S y Si

Como se puede apreciar en las imágenes captadas en modo de electrones retrodispersados (Fig. 536 y 537) la costra se constituye en su mayoría de cristales de sulfato cálcico ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) de neoformación. El espectro EDX de la superficie de la pátina, corrobora dicha afirmación y además detecta la presencia de silicio (Si).

*Ficha petrológica | soporte pétreo*

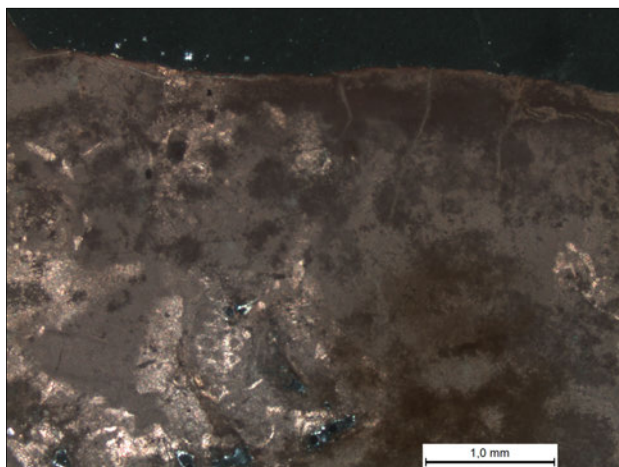


Figura 539. Microfotografía de la sección de la muestra SC008 (NC, 2.5x)

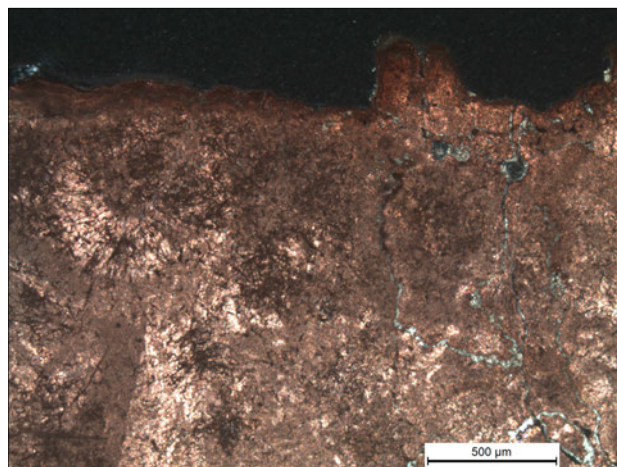


Figura 540. Microfotografía de la sección de la muestra SC008 teñida con alizarina (NC, 5x)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	Dunham	Mudstone	
	Folk	Biomicrita – bioesparita poco limpia	
<b>COMPONENTES TEXTURALES</b>			
<b>GRANOS</b>	Esqueléticos	Presencia no muy abundante de bioclastos. También se identifica algún foraminífero bentónico	
	No-esqueléticos	-	
	Detríticos	Pequeños granos de cuarzo dispersos por la matriz (angulosos)	
<b>MATRIZ</b>	Composición y medida de grano	Micrita	
<b>CEMENTO</b>		Esparita	
<b>POROSIDAD</b>	Deposicional	-	
	Post-deposicional	Disolución	Vug y fenestral
		Fisura	Sí
<b>OBSERVACIONES</b>	-	-	



Excmo. Ayuntamiento de  
Jumilla

